



Nº 13



GÉNIE RURAL



012

MÉCANIQUE AGRICOLE

Comprenant L'ÉTUDE DES MOTEURS ET DES MACHINES
MOTRICES EMPLOYÉES EN AGRICULTURE ET LEUR
INSTALLATION DANS LES FERMES.

A L'USAGE

DES ÉLÈVES DES ÉCOLES D'AGRICULTURE & DES EXPLOITANTS

PAR

L. FONTAINE

Ancien Élève de l'École nationale d'Agriculture de Grand-Jouan
Professeur à l'École pratique des Faurelles

PREMIER FASCICULE

*Mécanique générale. Manèges, leur installation et leurs
principales applications en Agriculture.*

ANGOULÊME. — IMPRIMERIE TH. VOLEAU, 15, RAMPE D'AGUESSEAU

—
1895



A Monsieur GADAGÉ, Ministre de l'Agriculture

Monsieur LE MINISTRE,

Dans la petite publication que je vous offre aujourd'hui, j'ai essayé de condenser des idées pratiques sur l'emploi des forces dont dispose l'Agriculture.

J'ai insisté sur la nécessité d'utiliser le plus de force mécanique possible, afin que le cultivateur puisse transformer industriellement dans la ferme, ses produits en leur donnant une plus-value. Les circonstances économiques influent tellement sur la production du sol, que nos régions agricoles ont été obligées d'orienter leurs cultures. Dans cette division de travail, la machine joue un rôle prépondérant, et la Ferme de l'Avenir, qu'elle soit grande ou petite, nous représentera une usine dans toute l'acceptation du mot.

On peut prévoir que la lutte que soutient notre agriculture, deviendra encore plus aiguë. Pour nous, la victoire restera à celui qui saura utiliser les forces naturelles, dont la captation est souvent facile et peu coûteuse.

Veuillez agréer, je vous prie,
Monsieur LE MINISTRE,
mes sentiments de dévouement, et l'hommage de mon profond respect.

L. FONTAINE.

tation de son emploi n'est plus possible, nos constructeurs fournissent à l'heure actuelle des instruments excellents. Mais hélas ! il y a beaucoup d'entraves, dont la principale est l'ignorance.

Les connaissances en mécanique agricole sont encore très peu vulgarisées. On enseigne bien dans nos Ecoles d'agriculture et dans la plupart des traités de génie rural, le mécanisme et le fonctionnement d'une machine, mais on reste trop dans le domaine de la description. Il arrive presque toujours que des Elèves appelés à faire des installations sont incapables de les mener à bien ; il leur manque des données pratiques. Cet état de choses est très regrettable, parce que les propriétaires s'adressent à des ingénieurs.

Toutes ces considérations nous ont engagé à commencer la publication d'un ouvrage de mécanique agricole. L'esprit qui nous a toujours guidé dans sa rédaction, a été de placer à côté des descriptions de machines, des exemples d'application ou d'installation, pouvant servir au besoin au propriétaire.

Enfin, nous avons voulu diviser notre traité en plusieurs fascicules, pour permettre à l'acheteur, de choisir celui renfermant les machines qu'il aura besoin de connaître.

Si notre travail peut être de quelque utilité à un élève d'école d'agriculture ou à un humble cultivateur, nous en serons très heureux.

L. FONTAINE.

MÉCANIQUE AGRICOLE

Utilité de la Mécanique en Agriculture. — Le cultivateur a besoin de quelques notions de mécanique pour établir les machines dans sa ferme. (Manèges, machines à vapeur, roues hydrauliques, etc.) Le chef d'exploitation n'est pas toujours expérimenté sur les questions de mécanique, aussi s'adresse-t-il au constructeur. Celui-ci dresse, d'après les données du propriétaire, un avant-projet.

Les appareils installés ne sont souvent pas en rapport avec les besoins de l'exploitation ; quelquefois, des calculs hasardeux les mettent dans l'impossibilité de fonctionner, faute de suffisance de force. On est alors obligé d'apporter certaines dispositions qui ne sont plus en rapport avec les anciennes. Le constructeur incrimine les défauts de ses machines à un malentendu. Celui-ci vient généralement du chef d'exploitation, dont les premières données de l'installation lui ont échappé.

Puis, nous voyons chaque jour se produire de véritables abus dans les dépenses exagérées auxquelles certains constructeurs entraînent les agriculteurs pour la pose et l'agencement des machines. Beaucoup de fermes perfectionneraient leur outillage d'intérieur si les frais de pose n'étaient aussi élevés.

On doit donc protester en faveur du cultivateur, et s'attacher à faire disparaître ces forces nuisibles qui entravent la marche du progrès. Nous pensons que la vulgarisation de quelques données pratiques sur l'établissement des machines de ferme, produirait un très bon effet auprès des propriétaires. Elles leur permettraient de pouvoir se rendre compte de la force que peut donner tel ou tel moteur ; ou quel travail peut fournir une force donnée, agissant sur telle ou telle machine motrice.

Définition de la Mécanique. — La Mécanique est l'étude des forces et des mouvements qu'elles produisent.

Des Machines et des causes qui président dans leur bon fonctionnement. — Une machine est formée par l'assemblage de leviers mis en mouvement par des forces, dans le but de transformer celles-ci en travail utile.

Force. — On entend par force toute cause qui produit ou qui est susceptible de produire un mouvement. Un cheval qui traîne une voiture, la vapeur qui actionne le piston d'une machine à vapeur, l'eau qui fait tourner la roue d'un moulin, le vent qui met en mouvement les ailes d'un moulin, sont des forces.

Moteur. — Le corps qui produit une force quelconque est appelé *moteur*. Un cheval, l'eau, la chaleur, etc., sont des moteurs. Parmi ces moteurs il en est d'animés, c'est-à-dire possédant la vie, tels sont les animaux. D'autres sont inanimés ou naturels, tels sont : les ressorts, la pesanteur, l'air, l'eau, la chaleur et l'électricité. Ces moteurs fournissent à très bon marché les forces nécessaires pour actionner nos machines. Aussi, l'homme ne cesse-t-il de les utiliser au moyen de *machines réceptrices*, comme les moulins à vent, les machines à vapeur, les roues hydrauliques, etc.

Nature des Forces. — Une force est dite *puissance* lorsqu'elle produit du mouvement ; elle est dite *résistance* lorsqu'elle tend à arrêter le mouvement.

Le cheval qui tend à entraîner une charge, est une force *puissance* ; le frottement qui s'exerce aux points où les roues touchent le sol, est une force *résistance*. Ceci est très important, car on dit souvent d'une machine qu'elle est d'un rendement de 70 pour 100. Cela veut dire que, sur 100 kilogrammètres de travail fournis, 70 seulement sont utilisés pour produire du travail utile. Les 30 autres kilogrammètres ont été absorbés par le frottement.

Mesure des Forces. — Pour comparer les forces entre elles suivant leur intensité, il a fallu les mesurer et les rapporter à une unité. On se sert, pour cela, d'un appareil appelé *dynamomètre*, composé en principe d'un ressort ou lame. En tirant au milieu de cette lame, elle fléchira d'autant plus que la force appliquée sera plus grande. A cette lame est fixé un crayon qui enregistre par un trait noir la flexion du ressort, sur une bande de papier blanc, se déroulant uniformément. De cette façon, on a pu voir qu'un cheval, un mulet ou un âne, attelés à différentes machines, peuvent exercer, par seconde, les efforts moyens consignés dans le tableau suivant :

Nature des machines.	Poids ou effort moyen exercé	Vitesse par seconde
Un cheval attelé à une voiture et allant au pas. . . .	70 kilog.	90 cent.
— — — à un manège	45 —	90 —
Un bœuf — — — — —	60 —	60 —
Un mulet — — — — —	30 —	90 —
Un âne — — — — —	14 —	80 —

Travail d'une Force. — Toutes les fois qu'une force quelconque parcourt un certain espace, on dit qu'il y a production de *travail mécanique*. Donc, le *travail d'une force constante est égal au produit de la force, exprimé en kilogrammes, par le chemin parcouru suivant la direction de la force, exprimé en mètres*. Si l'on représente par *F* la force, et par *e* le chemin parcouru (fig. 1), le travail développé s'exprimera par la formule suivante :

$$\text{Travail} = F \times e$$

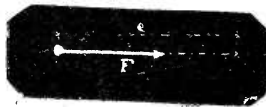


Fig. 1. — Représentation graphique du travail d'une force.

1^{er} Exemple. — Quel est le travail développé par un cheval exerçant un effort de 45 kilog. par seconde, marchant à une allure de 0 m. 90 et pendant une heure?

En appliquant la formule précédente, on a :

$$\text{Travail} = 45 \times 0 \text{ m. } 90 \times 3.600 = 145.800 \text{ kilogrammètres.}$$

2^e Exemple. — Quel est le travail exercé pendant une heure par un bœuf tournant à un manège d'un diamètre de 6 mètres; ce bœuf fait deux tours par minute et exerce une traction de 60 kilog. par seconde?

Ce problème est un peu plus compliqué que le précédent ; mais il se réduit à chercher les valeurs de F et de e , puis à appliquer la formule précédente. $F = 60$ kilog., $e = 2\pi R \times 2 \times 60 = 6 \times 3,1416 \times 2 \times 60 = 2260 \text{ m. } 80$. D'où le travail $T = 60 \times 2260,80 = 135,648$ kilogrammètres.

Energie. — L'énergie d'un moteur est la capacité de travail qu'il peut effectuer. Elle se mesure au kilogrammètre; ainsi on dit qu'un cheval peut produire 2.168.000 kgm. de travail par jour. L'énergie d'un moteur peut être en *mouvement* (*énergie actuelle ou visible*), quand il y a dépense de force; ou au contraire cette énergie peut être en réserve, on l'appelle *énergie potentielle* ou de *position*. La somme de ces deux énergies constitue l'énergie totale du moteur.

Exemple. — Un cheval peut produire 2.168.000 kgm. d'énergie totale par jour, s'il travaille une seconde il dépensera 63 kgm., qui constitueront l'énergie actuelle ou visible, il ne lui restera plus que 2.167.937 kgm. en énergie potentielle ou de réserve.

Unités de Mesure du Travail mécanique. — On emploie souvent dans la pratique les expressions de kilogrammètre, de cheval-vapeur, etc. Le *kilogrammètre* est le travail qu'il faut développer, pour élever à un mètre de haut, dans une seconde, un poids de 1 kilog. On représente cette unité par les lettres *kmg*. La production du travail demande une dépense de chaleur; une *calorie* produit 425 kilogrammètres de travail.

Le *Cheval-Vapeur* équivaut à 75 kilogrammètres. On dit souvent qu'un moteur est de la puissance de six chevaux; cela veut dire que le travail dynamique produit par ce moteur, en une seconde, équivaut à $75 \times 6 = 450$ kilogrammètres. On a $450/75 = 6$ chevaux-vapeur.

Il ne faut pas confondre le cheval-vapeur avec le cheval de nos fermes, parce qu'il ne donne pas par seconde 75 kmg. Au manège, un cheval de moyenne force ne peut donner que 40.5 kilogrammètres par seconde, pendant huit heures. En réalité, ce cheval ne représente donc que $40.5/75 = 0.54$ de cheval-vapeur.

On voit par là que, pour un travail soutenu pendant 8 heures, il faut presque deux chevaux pour produire le même travail qu'un cheval-vapeur.

Voici, d'après le tableau suivant, le travail que peut fournir un moteur animé dans un temps donné :

Moteurs et Machines	Effort moyen par seconde	Vitesse par seconde	Travail par seconde	Durée du travail journalier	Quantité de travail journalière
Un cheval attelé à une voiture et allant au pas.	70	90 cent.	63 kgm.	10 heures	2.168.000 kgm.
Un cheval attelé à un manège et allant au pas.	45	90	40,5	8	1.166.400
Un bœuf attelé à un manège et allant au pas.	60	60	36	8	1.036.800
Un mulet attelé à un manège et allant au pas.	30	90	27	8	777.600
Un âne attelé à un manège et allant au pas.	14	80	11,2	8	322.560

Ces chiffres sont à considérer lorsqu'on veut établir des machines actionnées par des moteurs animés. Suivant la force exigée, on mettra 1, 2 ou 3 animaux.

Peu d'expériences ont été faites jusqu'ici sur la force exigée par les différentes machines d'intérieur de ferme.

Ainsi, la Société des Agriculteurs de France a fait des expériences dynamométriques sur les batteuses à grand travail, en 1880. Il résulte de ces expériences, que le travail exigé par kilog. de gerbe de blé battu a varié entre de 525 à 680 kilogrammètres, et pour le seigle de 455 à 900 kilogrammètres. Ces écarts sont dûs à la longueur de la paille et à son état de siccité.

D'après M. Ringelmann, les grands coupe-racines demanderaient un travail de un cheval-vapeur ou 75 kilogrammètres par seconde, pour couper 3.000 kilog. de betteraves à l'heure.

Le concassage des grains est une opération importante dans les fermes, un kilogramme d'avoine, de fève et de lin, exigerait, suivant Héryé-Mangon :

Nature du Grain	Kilogrammètres dépensés par kilo de grain avec les broyeur-concasseurs	
	A bras	A vapeur
Avoine.	932	1380
Fèves.	454	484
Graines de lin.	1812	1832

Le broyage du tourteau exigerait par kilog. une dépense de force de 40 kgm. à bras, 120 à 220 kgm. à la vapeur.

Pour un hache-paille, il faut compter sur une dépense de force de 400 à 600 kilogrammètres par kilog. de paille coupée à 1 centimètre de longueur ; et de 200 à 300 kgm. si les morceaux sont de deux centimètres. D'après ces chiffres il faudrait, pour une longueur de 1 centimètre, 400 à 600 kgm. ; pour une longueur de 2 centimètres, 200 à 300 kgm. ; pour une longueur de 4 centimètres, 100 à 150 kgm. ; pour une longueur de 8 centimètres, 50 à 75 kgm.

Connaissant ces chiffres, il est très facile de trouver le nombre de chevaux ou la force que doit posséder un moteur pour mettre en marche des machines. Supposons par exemple qu'on ait un hache-paille débitant 400 kilog. de paille à l'heure ;

cette paille est coupée à un centimètre de longueur ; quel sera le nombre de chevaux qu'il faudra atteler à un manège pour le mettre en marche ?

Cherchons d'abord la quantité de paille coupée par seconde ; celle-ci sera : $400/3.600=0$ kil. 111.

Comme il faut 600 kilogrammètres pour couper 1 kilog. de paille, 111 gr. exigeront donc un travail de $600 \times 0.111=66.60$ kmg. par seconde.

Comme un cheval au manège ne fournit que 40 kmg. 5 de travail, pour donner 66 kmg. 60, il faudra $66.60/40.5=1$ cheval 64, ou en chiffre rond 2 chevaux. Dans notre calcul nous n'avons pas fait entrer en ligne de compte le frottement qui absorbe 30 % du travail moteur.

Poncelet. — Le Poncelet vaut 100 kilogrammètres ou 1 kilowatt par seconde.

Ampère. — Unité d'intensité des appareils électriques. L'Ampère s'entend par seconde ; l'Ampère-heure est donc un ampère pendant une heure. Son sous-multiple est le milliampère. On se sert, pour mesurer l'intensité des courants électriques, de l'Ampèremètre.

Coulomb. — Quantité d'électricité traversant un conducteur pendant une seconde, lorsque l'intensité est de 1 ampère. 1 ampère-heure vaut donc 3.600 coulombs.

Volt. — Unité de force électro-motrice ou pression dans les appareils électriques.

Watt. — Unité de travail électrique obtenue en multipliant l'intensité du courant (ampères) par sa force électro-motrice (volts). Le watt égale environ 1 dixième de kmg. (9.81). Il faut 736 watts pour un cheval-vapeur ou 75 kmg. On mesure le travail électrique par un appareil appelé wattmètre. Le kilowatt vaut 1000 watts, soit 98 kmg. L'hectowatt vaut 100 watts, ou 9,8 kilogrammètres par seconde.

Ohm. — Unité de résistance à la propagation du courant électrique, il équivaut à une colonne de mercure de 1 millimètre carré de base et de 106 centimètres de haut, ou à 100 mètres de fil télégraphique de 4 millimètres de diamètre.

Farad. — Unité de capacité électrique. Un Farad vaut 1 volt et correspond à une quantité d'électricité égale à 1 coulomb.

Levier. — Le levier est une machine simple, constituée par une barre rigide en bois, en fer, etc., mobile autour d'un axe fixe reposant sur un point d'appui. L'exemple le plus simple de levier que présente la pratique, est la pince des carriers. Elle se compose (fig. 2) d'une barre de fer A B, reposant par son axe O, sur un point d'appui.

Quand les ouvriers veulent soulever un fardeau, ils appuient en A avec un effort P, le fardeau appliqué en B, offre une résistance Q. La force P constitue la puissance ; la force Q la résistance.

On peut voir dans la figure 2 que le point d'appui O divise en deux parties inégales le levier A B, la portion A O est beaucoup plus longue que O B. Ceci est nécessaire pour que les deux bras de levier O a et O b soient inégaux, afin de permettre à un ouvrier exerçant un effort P de 45 kilog. par

exemple, de soulever un fardeau Q, d'un poids de 500 kilog. *Le bras de levier d'une force, par rapport à un point, est la perpendiculaire abaissée de ce point sur la direction de la force.* Ainsi, le bras de levier de la force P est la ligne O a ; celui de Q, la ligne O b. Nous verrons bientôt qu'il faut tenir compte pour établir l'équilibre d'une machine : 1° de la puissance et de la résistance ; 2° de la longueur des bras de levier.

On distingue dans les machines, trois espèces de leviers :

1° Le levier du premier genre, dans lequel le point d'appui se trouve placé entre la puissance et la résistance (ex. : fig. 2),

2° Le levier du deuxième genre, qui a la résistance située entre le point d'appui et la puissance (ex. : la brouette) ;

3° Le levier du troisième genre, dont la puissance est située entre la résistance et le point d'appui (ex. : pincettes).

Ces quelques mots sur le levier étaient nécessaires pour bien faire saisir à nos lecteurs l'important chapitre des moments des forces et de l'équilibre dynamique des machines dont nous allons nous occuper maintenant.

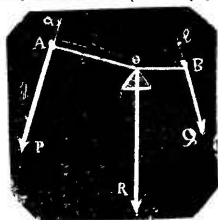


Fig. 2. — Levier de premier genre.

Moment d'une Force. — Le moment d'une force sert pour les calculs des leviers et pour établir l'équilibre entre les puissances et les résistances d'une machine. Il ne faut pas confondre le moment d'une force avec son travail. Un *moment* s'exprime en *kilogrammes*, tandis qu'un *travail* s'exprime en *kilogrammètres*.

Le moment d'une force par rapport à un point, est égal à l'intensité de la force, multipliée par la longueur du bras de levier sur lequel elle agit. Soit P (fig. 2), l'intensité de la force ; Oa, la longueur du bras de levier, on aura :

$$\text{Moment de } P = P \times Oa. \quad (1)$$

Exemple. — Quel est le moment d'une force de 45 kilog., exercée par un cheval sur la flèche d'un manège ayant 3 mètres de longueur ? Si l'on remplace dans la formule (1), P et Oa par leur valeur, on a : $P=45$ kilog., $Oa=3$, d'où

$$\text{Moment de la force} = 45 \times 3 = 135 \text{ kilog.}$$

Voyons maintenant à quoi sert la connaissance du moment d'une force et son application dans la pratique.

Equilibre du Levier. — **Le Levier ne multiplie pas la Force.** — **Ce que l'on gagne en Force on le perd en Vitesse et réciproquement.** — Le levier étant soumis d'une part à l'action d'une force dite *puissance*, et d'autre part à l'action d'une force dite *résistance*, pour qu'il soit en équilibre, il faut et il suffit : 1° que ces deux forces soient dans un même plan avec le point d'appui ; 2° que leurs intensités soient en raison inverse de leurs bras de levier ; 3° qu'elles tendent à faire tourner le levier en sens contraire. On démontre en mécanique que lorsque deux forces admettent une résultante unique, cette résultante se trouve dans le plan des composantes. Donc, pour que les deux forces P et Q (fig. 2) aient une résultante R

passant par le point O, il faut d'abord qu'elles soient dans un même plan avec le point d'appui.

2° Pour établir le deuxième point d'équilibre, on se base sur le théorème des moments énoncé précédemment. Si nous nous servons toujours de la figure 2, nous voyons que pour qu'il y ait équilibre, il faut que le moment de la puissance P soit égal au moment de la résistance Q, ou :

$$P \times Oa = Q \times Ob \quad (1)$$

D'où l'on tire le principe suivant : dans une machine quelconque, pour qu'il y ait équilibre, il faut que le moment de la puissance soit égal au moment de la résistance.

De l'égalité (1), on tire la suivante :

$$\frac{P}{Q} = \frac{Ob}{Oa} \quad (2)$$

ce qui revient à dire que la puissance P et la résistance Q sont en raison inverse de leurs bras de levier. Plus le bras de levier Oa sera grand, plus P sera petit ; et plus Ob sera petit, plus Q sera grand. La réciproque est vraie. Avec l'égalité (1), on peut facilement trouver la valeur de l'un des membres. Cherchons celle de P, on a :

$$P = \frac{Q \times Ob}{Oa} \quad (3)$$

Exemple. — Soient $Q=450$ kilog., $Ob=0$ m. 05, $Oa=2$ mètres : on demande quelle sera la force P que devra développer un ouvrier pour maintenir le levier en équilibre ? Si nous remplaçons dans la formule (3) les lettres par leur valeur, on a :

$$P = \frac{450 \times 0,05}{2} = 11 \text{ kil. } 25$$

Ainsi à l'aide d'un bras de levier de 2 mètres, et en exerçant une pression de 11 kil. 25, un ouvrier peut soulever un poids de 450 kil., n'est-ce pas merveilleux ? On peut encore réduire l'effort à exercer en augmentant le bras de levier. Si nous faisons celui-ci égal à quatre mètres, l'ouvrier n'exerce plus que 5 kil. 625 de pression. Le levier lui aurait-il donné de la force ? On est tenté de le croire à priori, et c'est de cette erreur qu'ont été enfantés tant de problèmes irréalisables ! Nous allons prouver par un exemple que le levier ne crée pas de force ; il permet tout simplement de mieux l'utiliser.

Il faut faire intervenir ici la question de travail et, si nos lecteurs se rappellent ce que nous avons dit à ce sujet, ils ont vu que celui-ci était égal à l'intensité de la force, multipliée par le chemin parcouru, ou $T=F \times e$. Dans le produit $F \times e$, on peut diminuer ou augmenter l'un des facteurs, et augmenter ou diminuer de la même quantité l'autre facteur, sans que la somme de travail soit changée. Si F diminue, e augmente, et réciproquement.

Premier exemple. — On trouve souvent en pratique des exemples de ce genre. 1° Quel est le moment d'une force de 60 kilog. exercée par un bœuf sur la flèche d'un manège de 2 m. 50

de longueur, marchant à une allure de 0 m. 60 par seconde;
2° quel est le travail produit par tour de piste ?

Moment de l'effort (60 kilog.) = $60 \times 2^m 50 = 150$ kilog.

Circonférence décrite sur la piste ($2\pi R$) = $2 \times 2 \text{ m. } 50 \times 3,1416 = 15 \text{ m. } 70$.

Temps employé à parcourir la piste = $\frac{15 \text{ m. } 70}{0 \text{ m. } 60} = 26$ secondes

10 tierces.

Travail par seconde, $60 \times 0 \text{ m. } 60 = 36$ kilogrammètres.

Travail produit par tour = $36 \times 26' 10'' = 942$ kilogrammètres.

Deuxième exemple. — Si au lieu de faire agir notre bœuf sur une flèche de 2 m. 50, nous l'attelons à une flèche de 5 m., nous voyons que l'espace à parcourir sur la piste est double. Par conséquent, le facteur e dans la formule du travail doublant, il faut que le deuxième facteur F diminue de la même quantité pour que la somme de travail ne change pas. Le bœuf n'aura plus à produire qu'un effort de 30 kilog.

Voici les chiffres que nous obtiendrons :

Moment de l'effort (30 kilog. et flèche de 5 m.) = $30 \times 5 = 150$ kilog.

Circonférence décrite sur la piste ($2\pi R$) = $2 \times 5 \times 3,1416 = 31^m 40$.

Temps employé à parcourir la piste = $\frac{31 \text{ m. } 40}{0 \text{ m. } 60} = 52$ secondes

20 tierces.

Travail par seconde, $30 \times 0 \text{ m. } 60 = 18$ kilogrammètres,

Travail produit par tour = $18 \times 52.20 = 942$ kilogrammètres.

Donc, en doublant un bras de levier sur lequel agit une force, on voit :

- 1° L'effort employé devient deux fois moindre ;
- 2° Le moment de l'effort devient double ;
- 3° Le chemin parcouru devient double ;
- 4° Le temps employé à parcourir le chemin devient double ;
- 5° Le travail produit dans les deux cas reste le même.

De ce qui précède, on a tiré les principes suivants : *le levier ne multiplie pas la force, il n'en permet qu'une meilleure utilisation ; 2° dans le travail, ce que l'on gagne en force, on le perd en vitesse ; et réciproquement, ce que l'on gagne en vitesse on le perd en force.*

Equilibre des Machines à Leviers multiples. — **Conséquences pratiques qui s'y rattachent.** — Lorsqu'on a des résistances considérables à vaincre avec une faible force, comme le cas se présente dans les machines motrices, au lieu d'employer des leviers très longs, qui deviendraient embarrassants, on fait usage de plusieurs leviers appelés *leviers multiples*. Ceux-ci ajoutés les uns à la suite des autres, forment un système qui doit être en équilibre ; c'est-à-dire que le moment de la puissance doit être égal au moment de la résistance. Pour établir l'équilibre, il suffit de faire séparément celui de chaque levier et de multiplier entre eux les moments affectés à la puissance et les moments affectés à la résistance.

Exemple. — Nous avons choisi pour établir l'équilibre d'une machine à leviers multiples, l'exemple du manège qui est actuellement une machine agricole très répandue dans nos fermes.

Voici en quelques mots l'explication du schéma de la figure 3,

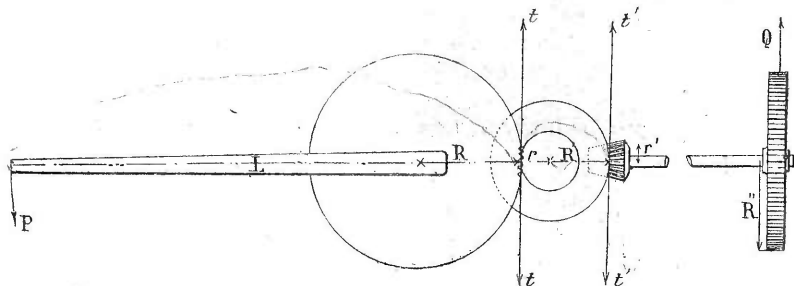


Figure 3. — Schéma d'un manège vu en plan.

représentant en plan un manège. En L se trouve la flèche sur laquelle on attelle un animal ou puissance P. Cette flèche communique le mouvement à la couronne dentée R, qui engrène avec un pignon r, sur l'axe duquel est fixée une roue d'angle R', commandant un pignon r', qui transmet à son tour le mouvement à l'arbre de couche portant à son extrémité une grande roue dentée R''. Au premier coup d'œil, il est facile de distinguer les leviers simples qui composent ce système ; ce sont : LR, r'R', r'R''. Il nous reste à déterminer les puissances et les résistances qui sont appliquées à chaque extrémité de ces leviers.

Dans le levier LR, la puissance est P, la résistance t, occasionnée par la réaction que produit par contre-pression le pignon r. Dans le levier r'R', la puissance est t, donnée par la couronne R ; la résistance t', due au pignon r'. Dans le levier r'R'', la puissance est t', et la résistance Q. Connaissant ces données, il est facile d'établir le moment de ces trois leviers. On a successivement :

$$\begin{aligned} P \times L &= t \times R \\ t \times r &= t' \times R' \\ t' \times r' &= Q \times R'' \end{aligned}$$

D'où

$$P \times L \times t \times r \times t' \times r' = t \times R \times t' \times R' \times Q \times R''.$$

Si l'on fait disparaître dans les deux membres de cette égalité les termes semblables, il vient :

$$P \times L \times r \times r' = Q \times R \times R' \times R''.$$

Par conséquent,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R \times R' \times R''}{L \times r \times r'}$$

L'équilibre du manège s'exprime donc en disant que la puissance P est à la résistance Q, comme les rayons des roues

R, R', R'', sont à la longueur du bras de levier de la puissance L, multipliée par les rayons des pignons commandés r, r'

En examinant l'égalité précédente, on voit que la force P, nécessaire à mettre en mouvement le manège, sera d'autant plus petite, que la longueur de la flèche L, et les rayons r et r' seront plus grands. En pratique, on est obligé de les réduire à un minimum, pour obtenir une grande vitesse afin d'actionner les batteuses, hache-paille, coupe-racines, etc.

Dans ce cas, ce que l'on perd en force, on le gagne en vitesse.

Problème relatif à l'équilibre du Manège. — Pour terminer cette causerie sur l'équilibre, nous allons donner une application en nous servant des mêmes lettres que précédemment. — A quelle résistance Q peut faire équilibre une puissance P de 60 kilog. ; L ayant une longueur de 5 mètres ; R 0 m. 40 ; r 0 m. 08 ; R' 0 m. 10 ; r' 0 m. 07 et R'' 0 m. 30 ?

De l'équation

$$\frac{P \times R \times R' \times R''}{Q \times L \times r \times r'}$$

on tire la valeur suivante de Q :

$$Q \times R \times R' \times R'' = P \times L \times r \times r' ; \text{ et } Q = \frac{P \times L \times r \times r'}{R \times R' \times R''}$$

En remplaçant les lettres par leur valeur il vient :

$$Q = \frac{60 \times 5 \times 0,08 \times 0,07}{0,40 \times 0,10 \times 0,30} = 140 \text{ kilog.}$$

Utilisation du Travail par les Machines réceptrices.
— Ce que l'on entend par le Rendement dans une Machine. — Une machine réceptrice, manège, roue hydraulique, moteur à vapeur, etc., ne rend pas intégralement sous forme utilisable tout le travail qu'elle a reçu d'un moteur. Une partie de ce travail est absorbée inutilement en frottement par les organes de la machine: crapaudines, bielles, coussinets, etc.

Si pour bien nous faire comprendre de nos lecteurs nous prenons l'exemple d'un cheval attelé à un manège, produisant un travail de 40,5 kilogrammètres par seconde, nous voyons que cette machine réceptrice rendra en travail utilisable non pas 40 kgm. 5, mais les 70 pour 100 de cette quantité. Ou,

$$\frac{70 \times 40,5}{100} = 28 \text{ kgm. } 35.$$

Il s'en suit que le travail total T_m, ou 40 kgm. 5 = travail utilisable T_u, ou 28 kgm. 35 + travail de frottement T_p, ou 12 kgm. 15. D'où l'on peut tirer l'équation du travail dans une machine par la formule suivante :

T_m, travail moteur = T_u, travail utile + T_p, travail résistant.
Ou, T_m = T_u + T_p. (1)

Si dans cette formule (1) nous divisons les deux membres de l'égalité T_m , et T_u+T_p , par T_m , nous aurons :

$$\frac{T_m}{T_m} = \frac{T_u}{T_m} + \frac{T_p}{T_m} \text{ ou, } 1 = \frac{T_u}{T_m} + \frac{T_p}{T_m}. \quad (2)$$

Si de la formule (2), nous tirons la valeur de $\frac{T_u}{T_m}$, on a :

$$1 - \frac{T_p}{T_m} = \frac{T_u}{T_m} \text{ ou, } \frac{T_u}{T_m} = 1 - \frac{T_p}{T_m}.$$

Le rapport $\frac{T_u}{T_m}$, est ce que l'on appelle le rendement d'une machine, que l'on exprime de la façon suivante: *le rendement d'une machine est le rapport entre le travail utile et le travail moteur.* Ce rapport est toujours inférieur à l'unité, comme on peut le voir dans la formule (3). Plus le frottement sera petit, plus le rendement de la machine sera grand, et réciproquement, plus ce frottement sera grand, moins le rendement sera élevé.

Exemple. — Soit un moteur fournissant 100 kilogrammètres à une machine réceptrice ; 30 kgm. sont absorbés par le frottement. Quel sera le rendement de cette machine? Il suffit de remplacer les lettres de la formule (3), par leur valeur. On a :

$$\text{Rendement} = 1 - \frac{30}{100} = 1 - 0,30 = 0,70 \text{ ou, } 70 \text{ pour } 100$$

Voici quelques chiffres qu'il est bon de consulter quand on établit des machines réceptrices :

Rendement de différentes machines réceptrices

Manège à piste circulaire.	70 à 80	pr 100
Manège à plan incliné.	70 à 80	—
Roue hydraulique à palettes planes en dessous.	25 à 30	—
Roue hydraulique à aubes courbes Poncelet	60 à 65	—
Roue hydraulique à palettes avec vanne.	60 à 70	—
planes de côté.	avec déversoir.	55 à » —
Roue hydraulique Sagebien.	75 à 90	—
Roue à augets.	65 à 75	—
Roue pendante.	40 à »	—
Turbine système Fontaine.	65 à 70	—
Turbine système Jonval Kœcklin.	72 à 75	—
Turbine système Fourneyron.	65 à 70	—
Pompe à chapelet incliné.	40 à »	—
Pompe à chapelet vertical.	70 à »	—
Pompe à piston plongeur.	60 à 75	—
Pompe ordinaire de bonne construction.	50 à 75	—
Pompe rotative de Greindl et autres.	80 à »	—
Pompe centrifuge.	50 à 60	—
Noria.	80 à »	—
Roue élévatoire à godets.	80 à »	—
Roue élévatoire à palettes.	70 à 75	—
Bélier hydraulique.	65 à 80	—
Pressoir à bras à écrou mobile.	25 à 30	—

D'après le tableau qui précède, on peut voir que le travail nuisible T_p , d'une machine, peut absorber 25 à 75 pour 100 du travail moteur T_m . Les résistances utiles T_u , représentant le travail vraiment utilisable, sont données par les différences qui existent entre 100 et les nombres 25 et 75, c'est-à-dire 75 et 25 de rendement pour 100.

En conséquence, dans les installations agricoles, où les machines sont commandées par des récepteurs, manèges, roues hydrauliques ou autres, il faut tenir compte du travail utilisable T_u . Il ne suffit pas, en effet, de savoir qu'un cheval peut fournir par seconde un travail de 40,5 kilogrammètres, ou qu'une rivière est capable de donner 1.000 chevaux-vapeur. Il faut, en outre, tenir compte de la machine réceptrice que l'on emploie pour transformer en effet utile toutes ces forces. Avec un peu d'exercice on arrivera facilement à se servir des chiffres que nous donnons plus haut. Un simple exemple fera saisir le lecteur.

Supposons qu'une rivière donne 1.875 kilogrammètres de travail par seconde, on demande : 1° quel travail utilisable peut produire une roue à palettes planes en dessous ; 2° en chevaux-vapeur.

1° Le rendement de la machine réceptrice en question varie entre 25 et 30 pour 100 ; admettons le chiffre 30.

Donc pour 100 kilogrammètres, on aura 30 kgm. de travail utilisable ;

$$\text{Pour 1 kilogrammètre, on aura } \frac{30}{100} ;$$

$$\text{Et pour 1.875 kilogrammètres, on aura } \frac{30 \times 1875}{100} = 562 \text{ kgm. 5.}$$

2° Pour avoir en chevaux-vapeur, il suffit de diviser par 75, puisque 75 kilogrammètres représentent le cheval-vapeur.

$$\text{Ou, } \frac{562,5}{75} = 7 \text{ chevaux, 5.}$$

Détermination de la Force et du Rendement des Machines réceptrices. — La force et le rendement des machines réceptrices se déterminent au moyen de certains appareils appelés dynamomètres. Ces questions sont de haute importance, puisque de la bonne construction d'une machine dépend son rendement. Le Ministère de l'agriculture en a compris toute l'importance ; pour étudier les machines agricoles au point de vue qui nous occupe, il a créé à Paris, 47, rue Jenner, une station d'essai de machines, à la tête de laquelle se trouve M. Ringelmann, professeur à l'École de Grignon.

L'emploi des dynamomètres à l'heure actuelle est tellement commun, que nous n'hésitons pas à les décrire, afin d'en démontrer l'importance pratique. Toutes les bonnes maisons de construction livrent aujourd'hui leurs machines après un essai dynamométrique exécuté devant l'acheteur.

1^o **Frein dynamométrique de Prony.** — Cet appareil, inventé par Prony dont il porte le nom, sert à déterminer le travail disponible que peut fournir une machine motrice. Il est d'un maniement très simple et sa construction ne nécessite qu'un simple charron de village.

Il se compose d'un levier en bois KK (fig. 4), de longueur variable (2 mètres par exemple), portant à l'une de ses

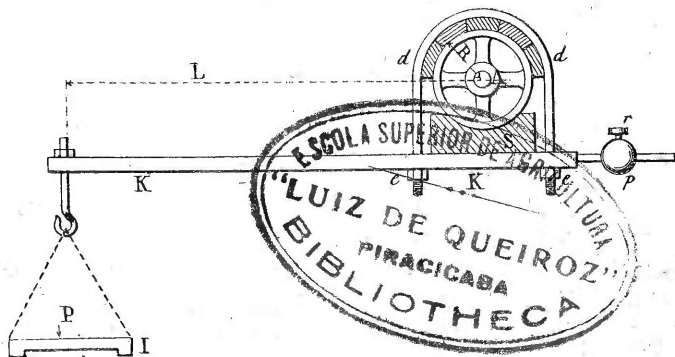


Fig. 4. — Frein dynamométrique de Prony.

extrémités une bride cintrée *dd*, munie de petits sabots de bois; les deux bouts de cette bride sont filetés et munis d'écrous *ee*. Un autre sabot *S* entoure la partie inférieure de la poulie *A*. Les extrémités du levier *KK* portent : 1^o un poids en fonte *p*, pouvant se déplacer sur une petite tige de fer et fixé par une vis *r*; 2^o un crochet auquel on suspend au moment de l'expérience un plateau *I*, destiné à recevoir des poids.

Application du Frein pour déterminer la Force d'une Machine à vapeur. — Dans une machine à vapeur, la force utilisable s'exerce tangentiellement à la poulie de commande; elle constitue ce que l'on est convenu d'appeler la force de la machine. Pour déterminer celle-ci au moyen du frein, on cale sur l'un des bouts de l'arbre de couche, une petite poulie *A* (fig. 4), dont le diamètre varie entre 0 m. 25 à 0 m. 30. C'est sur cette poulie que l'on place le frein. Avant l'expérience, il faut connaître le nombre de tours que doit faire la machine lorsqu'elle fonctionne régulièrement en commandant une batteuse, par exemple, ou une série d'appareils: c'est ce qu'on appelle sa *vitesse de régime*. Supposons, pour notre explication, que celle-ci soit de 120 tours par minute.

Le frein étant posé sur la poulie *A*, et muni de son plateau *I*, on le ramène horizontal au moyen du poids *p*. Ceci fait, on met en marche en ouvrant complètement le robinet distributeur de vapeur. La vitesse croît graduellement et atteint le chiffre de 200 tours par minute; on a eu soin de ne placer aucune courroie. Puisque la vitesse de régime est de 120 tours, il faut absorber par frottement, au moyen du frein, 80 tours.

Pour cela, il suffit de serrer graduellement les écrous *ee*; mais par suite du frottement qui s'opère sur la roue A, le levier KK est entraîné dans un mouvement de rotation. On l'empêchera de suivre ce mouvement en plaçant des poids P sur le plateau I, de façon à le maintenir horizontal.

Continuant à serrer les écrous et à mettre des poids, la vitesse se ralentit progressivement et arrive bientôt à descendre à 120 tours. Ce point obtenu, on a toutes les données pour déterminer la force de la machine. Disons d'abord que pendant toute la durée de l'expérience on devra verser continuellement de l'eau de savon sur la poulie A, au moyen d'une ouverture pratiquée à la partie supérieure de la bride *dd*.

Il nous reste à faire le calcul du travail de frottement. Soient P le poids agissant à l'extrémité du levier LL, compté à partir du centre de la poulie A jusqu'au crochet du plateau I; R, le rayon de la poulie A; *n*, le nombre de tours de cette poulie.

Le travail de frottement est représenté par la formule suivante :

$$T_f, \text{ travail de frottement} = F \times \frac{2\pi Rn}{60}, \quad (1) \quad \text{ou en divisant par}$$

$$2 = F \times \frac{\pi Rn}{30}. \quad (2)$$

Dans la formule (1), F=force de frottement; $2\pi R$ =espace parcouru par la force pendant un tour de poulie; *n*=nombre de tours par minute; 60 nombre de secondes par minute.

Mais si on regarde bien le dessin de la figure 4, on voit que la force P agissant sur le levier LL, doit faire équilibre à la force de frottement F, agissant suivant un levier R. Donc, en faisant l'équilibre du système, on a :

$$P \times LL = F \times R.$$

En remplaçant $F \times R$ par sa valeur $P \times LL$, dans la formule (2), on obtient la valeur du travail de frottement ou la force de la machine.

$$T_f = \frac{P \times LL \times \pi \times n}{30}. \quad (3)$$

Dans cette égalité tous les termes sont connus, comme on peut le voir dans l'exemple suivant.

Application. — On demande quelle est la force d'une machine à vapeur : 1° en kilogrammètres; 2° en chevaux-vapeur. Le levier LL étant de 1 m. 50 de longueur; P de 6 kilog.; *n* de 120 tours; π de 3,1416. En remplaçant les lettres par leur valeur dans la formule (3), on a :

$$T_f, \text{ force de la machine} = \frac{6 \times 1,50 \times 3,1416 \times 120}{30} = 113,09 \text{ kgm.}$$

En divisant ce nombre par 75, on aura la force de la machine en chevaux-vapeur. Ou,

$$\frac{113,09}{75} = 1 \text{ cheval-vapeur, } 48.$$

Manivelle dynamométrique. — La manivelle dynamométrique est un dynamomètre, servant à déterminer la force et le travail que nécessitent les instruments de rotation actionnés à bras. L'homme d'une force moyenne peut exercer sur une manivelle, un effort de 8 à 10 kilog., avec une vitesse de 0 m. 75 à la seconde, soit 25 à 30 tours par minute et pendant 8 heures par jour. Il est toujours intéressant dans une école de pouvoir faire comparer par les élèves la valeur relative d'un hache-paille, d'un coupe-racines, d'une écrémeuse, etc., au point de vue de la force absorbée et du travail produit. La manivelle dynamométrique est donc très utile.

En principe, elle se compose d'un bâti rectangulaire HH,

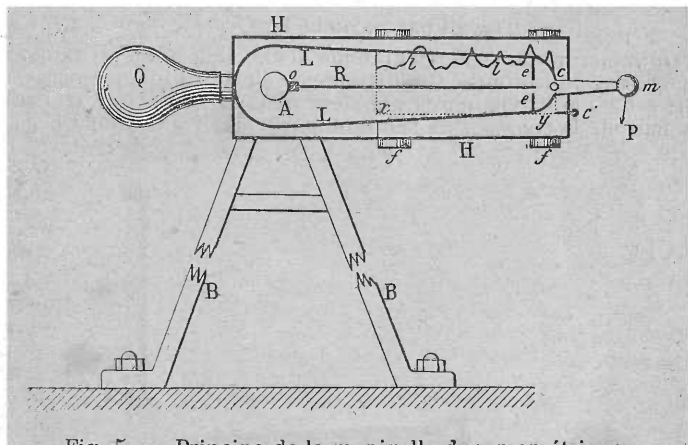


Fig. 5. — Principe de la manivelle dynamométrique et sa disposition sur un appareil en expérience.

muni d'un contre-poids Q (fig. 5), tournant librement sur l'axe A d'un appareil BB, soumis en expérience. L'appareil mesureur de la force se compose d'une lame de ressort R fixée à l'axe rotatif A, au point O. Cette lame est engagée à son autre extrémité entre deux taquets ee, d'un cadre LL, terminé par un maneton m, où s'exerce la pression P, de l'ouvrier. On comprend facilement qu'en appuyant sur m, le ressort s'infléchit et entraîne l'axe A et l'ensemble du dynamomètre.

L'appareil enregistreur de l'effort et du travail comprend deux rouleaux ff, mis en mouvement par des engrenages, et sur lesquels se déroule une feuille de papier. Il est complété par deux crayons : l'un c est fixé au cadre LL, l'autre c' au bâti HH.

Sous l'influence de la flexion du ressort, le crayon c trace sur la bande de papier une courbe dynamométrique ll, tandis que le crayon c' inscrit une ligne droite xy, correspondant à une flexion nulle. La surface llxy représente le travail développé; pour avoir celui-ci en kilogrammètres, on emploie la formule :

$$T = \frac{S}{l \times e}$$

Dans laquelle S représente la surface du diagramme évaluée au planimètre ou par la méthode de Simpson ; l , la flexion du ressort par kilog. de pression ; e la longueur de bande de papier déroulée par mètre de chemin parcouru.

On peut encore calculer ce travail en fonction de l'effort moyen et du nombre de tours effectués pendant l'expérience. Si n est le nombre de tours par minute ; r , le rayon de la manivelle ; e , le chemin parcouru par l'axe du maneton ; on a :

$$e = \frac{\pi r n}{30}$$

D'autre part, si le travail moyen est f , on a :

$$\text{Travail par seconde } T = f \times e.$$

On remarque dans le diagramme d'une manivelle dynamométrique que la courbe U s'abaisse et s'élève périodiquement ; elle est à son maximum de grandeur quand le maneton m est en haut de la course, et à son minimum quand il est à la fin.

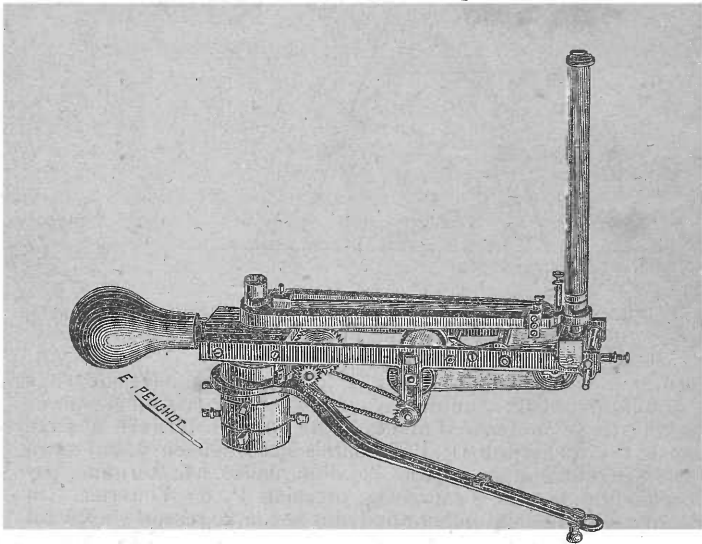


Figure 6. — Vue d'ensemble de la manivelle dynamométrique de M. Digeon (Paris).

La figure 6 représente dans son ensemble la manivelle dynamométrique construite par M. Digeon, de Paris ; elle complète les explications que nous avons données précédemment. Elle est vendue 750 fr.

Dynamomètre de rotation. — Ce dynamomètre sert à mesurer le travail absorbé par une machine rotative (hache-paille, concasseur, applatisseur, etc.), commandée par courroie, et nécessitant des efforts supérieurs à ceux de

l'homme. Le premier appareil de ce genre fut inventé par le général Morin ; depuis il a été considérablement amélioré.

Un des bons dynamomètres est celui de M. Digeon (Paris), représenté par la figure 7. Il se compose d'un bâti en bois II,

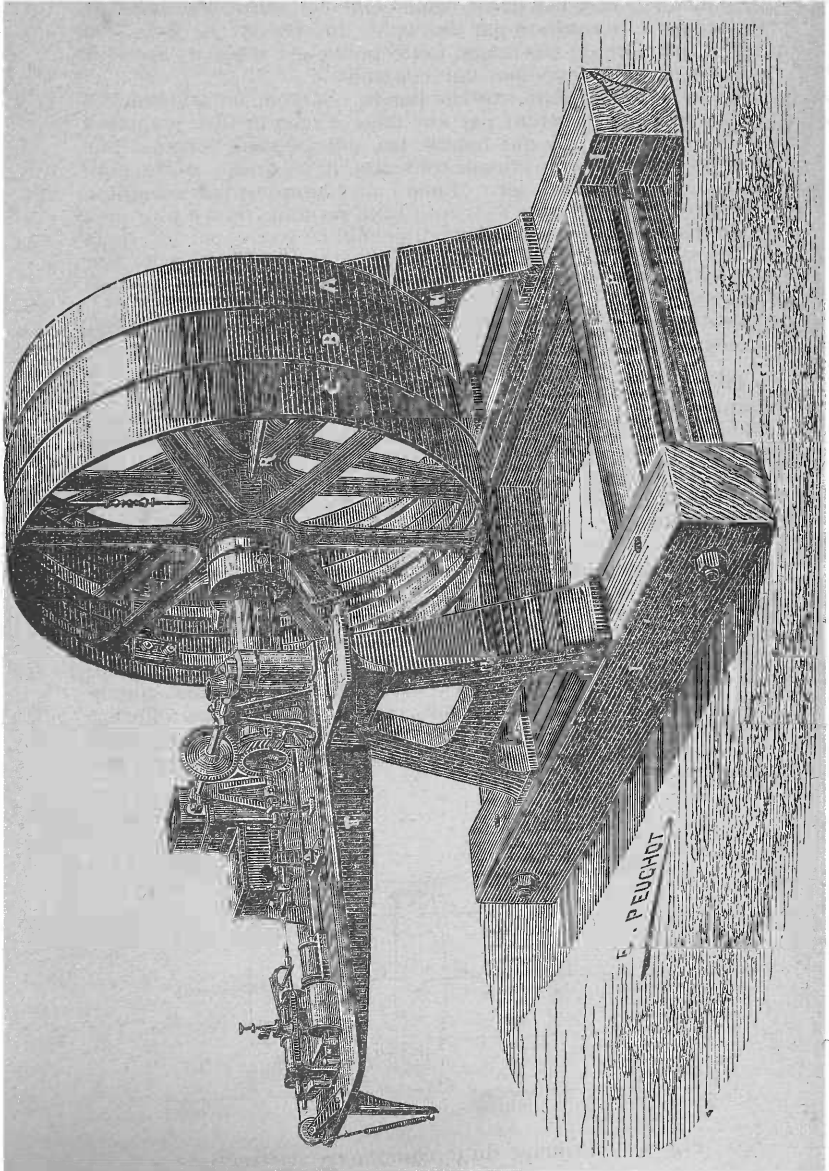


Fig. 7. — Dynamomètre de rotation de M. Digeon (56, rue de Lancry, Paris.)

formant un cadre rectangulaire sur lequel sont montés deux paliers HH, dont celui de gauche supporte une table horizontale en fonte T. Sur les paliers repose un arbre horizontal, muni de trois poulies ; celle de droite A est calée à l'arbre et se relie par courroie au moteur ; celle du milieu B est folle ; enfin celle de gauche C n'est pas calée, mais elle est entraînée dans un mouvement de rotation par une lame de ressort R, fixée sur l'arbre par l'un de ses bouts. Cette poulie est reliée à l'appareil soumis en expérience par une courroie.

La force tangentielle exercée par la courroie se transmet à un appareil enregistreur par une lame d'acier flexible *n* munie à un bout d'un crayon qui inscrit les efforts sous forme d'une courbe. Un deuxième crayon trace une ligne droite correspondant à un effort de zéro. Enfin, un compte-tours complète l'appareil. Pour trouver le travail total produit, on n'a plus qu'à chercher la surface de la figure irrégulière tracée par les deux crayons. Enfin, en comptant le nombre de tours faits par seconde, on a le travail nécessaire dans le même temps pour l'appareil expérimenté.

Le dynamomètre Digeon coûte de 3.000 à 4.500 fr., pour des forces variant entre 4 à 20 chevaux.

Dynamomètres de traction. — Ces dynamomètres sont employés pour mesurer les efforts de traction exercés en ligne droite et le travail produit. On trouve des applications multiples en agriculture dans la traction des instruments traînés par les animaux, tels que : charrues, herses, scarificateurs, voitures, etc., etc. En comparant les efforts nécessaires pour la mise en marche de ces différentes machines, on pourra déterminer leur valeur : moins sera grande la force dépensée pour un travail donné, meilleure sera la machine.

Dans un dynamomètre de traction on a : 1° un organe pour mesurer la force exercée par le moteur ; 2° un organe enregistreur. Le plus ancien dynamomètre enregistreur de traction est celui de Bentall, dont la mesure de la force était donnée par un ressort à boudin. On a reconnu dans les essais, que la flexion de ce ressort n'était pas proportionnelle aux efforts ; aussi l'a-t-on remplacé par l'appareil de Poncelet. Aujourd'hui tous les dynamomètres de traction ont pour base cet organe mesureur.

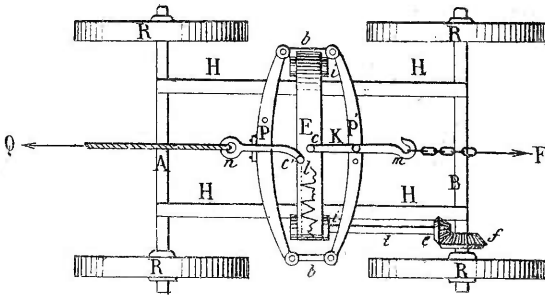


Fig. 8. — Principe du dynamomètre de traction.

La figure 8 donne le principe du dynamomètre de traction construit actuellement. Il se compose d'un bâti rectangulaire H H H H, portant deux essieux A et B, munis de roues R R R R. Sur ce bâti est monté le dynamomètre dont l'appareil mesureur de la force est constitué par deux lames de ressort P P', de la forme d'un solide d'égale résistance (la courbure extérieure est parabolique), et réunies par deux brides articulées bb. Au ressort P est attaché l'instrument expérimenté Q à un anneau n, dont la tige porte un crayon c' ; à P' est fixée la force F, par l'intermédiaire d'un crochet terminant une tige munie d'un crayon C.

L'organe enregistreur se compose d'une bande de papier E s'enroulant sur deux cylindres ii, dont l'un d'eux reçoit un mouvement de rotation par l'arbre t, commandé par un engrenage conique f et e, calé sur l'essieu B.

La force et le travail s'inscriront de la façon suivante : sous l'influence de l'effort exercé par F, le ressort P' s'infléchira et entraînera en avant le crayon c qui tracera sur la bande de papier E en mouvement, une ligne sinueuse l, tandis que le crayon c' inscrira une ligne droite.

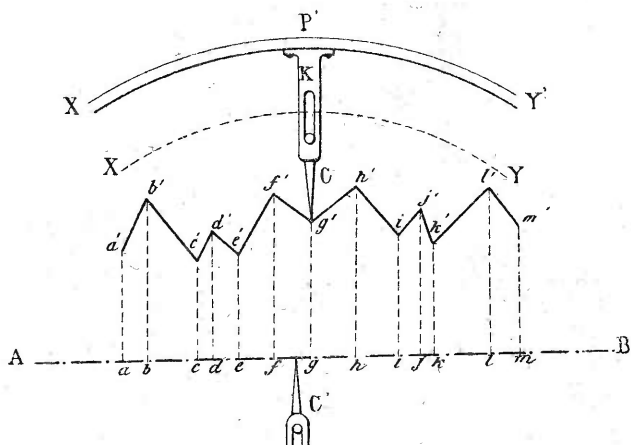


Fig. 9. — Tracé d'une courbe dynamométrique.

La figure 9 donne avec plus de détails les mouvements des crayons. En supposant que le ressort P' occupe au repos la position XY, sous l'influence de la traction exercée par l'animal il passe en X'Y', et le crayon c se déplacera en traçant sur la feuille de papier la ligne sinueuse ou courbe dynamométrique a'b'c'd'e'f'g'h'...m', indiquant une force variable suivant la résistance qu'offre l'instrument traîné ; tandis que le crayon c' tracera une ligne droite am.

Si des points a'b'c'd'...m' on abaisse des perpendiculaires ou abscisses aa', bb', cc', dd'..., mm' sur am, on obtient les efforts exercés en kilogrammes par l'animal. La moyenne de ces lignes

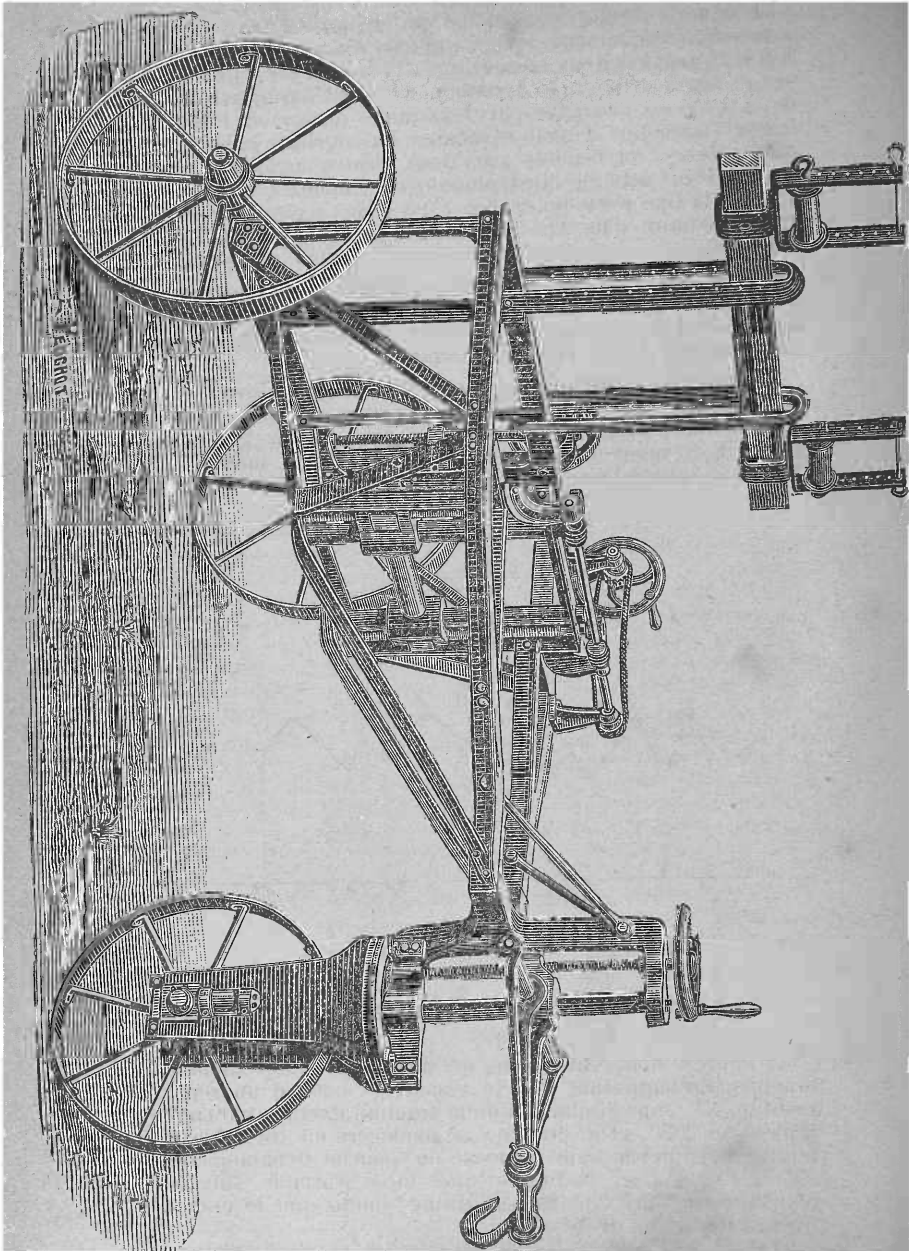


Fig. 10. — Chariot dynamométrique, système Ringelmann, construit par M. Digeon, Paris.

correspond à l'effort moyen F qui, multiplié par le chemin parcouru am dans le temps de l'expérience, donne la valeur du travail total T , ou :

$$T = F \times am, \text{ ou } F \times e.$$

Pratiquement, on détermine l'effort moyen F avec le planimètre de Beuvière.

Aujourd'hui on substitue aux dynamomètres de traction un mouvement d'horlogerie pour dérouler la bande de papier; mais dans ce cas, il ne faut pas d'arrêt dans la traction. Le travail, ici, n'est plus proportionnel à l'espace parcouru, mais au temps; il s'exprime par la formule suivante :

$$T = \frac{A}{l \times e}.$$

A représente la surface de la figure comprise entre la ligne droite et la courbe dynamométrique; l , la flexion du ressort P pour 1 kgr. de pression; e , la longueur de papier déroulée par mètre parcouru. Le planimètre d'Amsler permet de trouver immédiatement la surface A , ou on emploie la méthode de Simpson; l et e sont des tares données par le constructeur.

Le dynamomètre de M. Digeon, très employé aujourd'hui, vaut de 1.100 à 2.500 fr., pour des efforts variant de 300 à 1.600 kilos.

Le chariot sur lequel on installe le dynamomètre est très important. Le meilleur de nos jours est celui de M. Ringelmann, construit par la maison Digeon (*fig. 10*). Sa disposition permet un réglage rapide et il peut servir pour les essais des charrues, des herbes, des voitures, etc. Son prix est de 1.250 fr.

Dynamomètre servant à mesurer la force expansive de la vapeur ou d'un gaz. — Il existe des dynamomètres donnant la pression de la vapeur ou d'un gaz à chaque point de la course du piston, et qui enregistrent automatiquement sous forme d'une courbe, le travail effectué dans le cylindre de la machine considérée. Ces dynamomètres sont appelés *indicateurs de pression, indicateurs dynamométriques*.

Le premier appareil de ce genre fut inventé par Watt; depuis il a été bien perfectionné par Richard, Thompson, Napoli, etc.; on désigne aujourd'hui ces indicateurs sous le nom général d'*indicateurs de Watt perfectionnés*. Celui que nous allons décrire est de Richard, constructeur à Paris, 8, Impasse Fessart.

En principe, cet indicateur se compose de trois parties (*fig. 11*): 1° d'un cylindre où agit la vapeur; 2° d'un appareil enregistreur; 3° d'un réducteur de course.

Le cylindre A est formé d'un tube creux en cuivre, que l'on adapte sur l'une des extrémités du cylindre par une partie filetée N munie d'un robinet O . Dans ce cylindre se meut un piston à tige I , maintenu au bas de sa course pendant le repos par un ressort.

L'appareil enregistreur comprend trois leviers *cac*, articulés ensemble; celui du milieu porte un crayon, et d'un tambour creux sur lequel on tend une feuille de papier maintenue par une lame de ressort. La partie inférieure du tambour porte une gorge e où s'enroule une corde de commande f .

Le réducteur de course comprend deux poulies V et H, en bois à gorge, calées sur un arbre horizontal. La petite est reliée au tambour du réducteur par une corde, et la grande au coulisseau de la bielle, également par une corde.

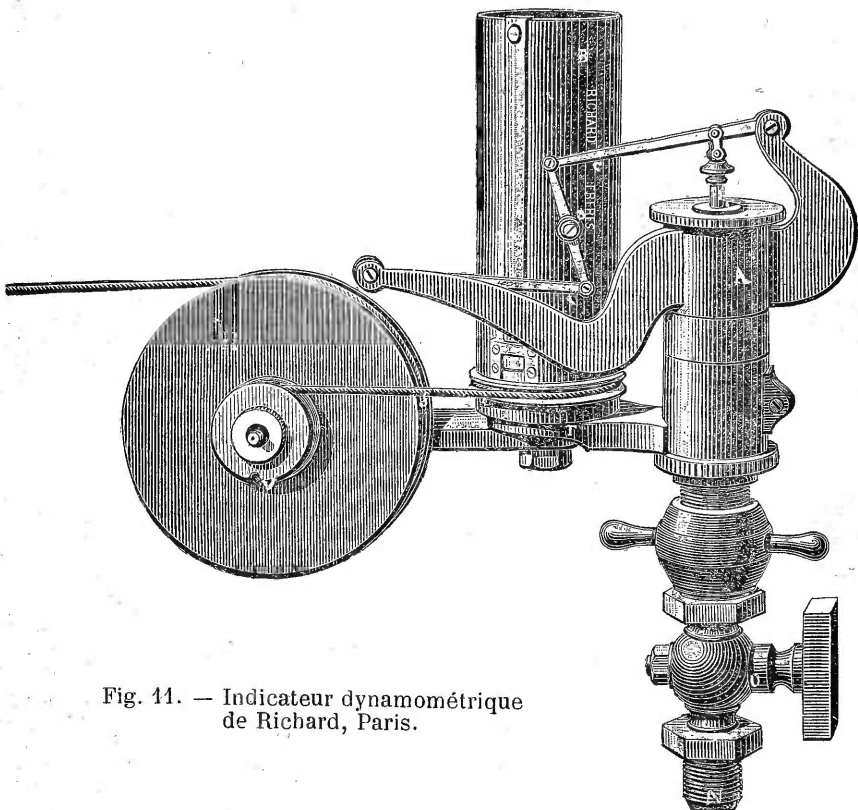


Fig. 11. — Indicateur dynamométrique de Richard, Paris.

Pour se servir de cet appareil, on commence par le visser sur le cylindre dans des ouvertures pratiquées à cet effet, ou dans la tubulure du graisseur. On accroche ensuite l'extrémité de la corde de la grande poulie au coulisseau, en la faisant tendre. Après avoir placé une feuille de papier sur le tambour enregistreur, on met en marche. Le crayon trace sur le papier une ligne horizontale appelée *ligne atmosphérique*, elle correspond au zéro de l'échelle de pression. En ouvrant le robinet de vapeur faisant communiquer le cylindre avec le piston de l'appareil, la vapeur fait soulever celui-ci et communique au crayon une élévation brusque qu'il inscrit sur le papier du tambour sous forme de courbe irrégulière. Lorsque le piston

de la machine a exécuté un mouvement de va-et-vient complet on ferme le robinet ; il ne reste plus qu'à étudier le diagramme inscrit par le crayon.

Si S représente la surface de ce diagramme en millimètres carrés ; m , le déplacement d'un millimètre du ressort en kilogrammètres ; n , le chemin parcouru par le piston de la machine ; le travail en kgm. pour un simple coup de piston sera exprimé par le produit $S \times m \times n$. Enfin si la machine donne pendant l'expérience un nombre double de coups ce piston égal à $2 C$, le travail total sera :

$$T = 2 S m n C.$$

Et en chevaux-vapeur de :

$$T = \frac{2 S m n C}{75} = X \text{ chevaux-vapeur.}$$

Quand on essaie une machine, il est bon de prendre des diagrammes alternativement sur les deux faces du piston, et toutes les cinq minutes, de façon à avoir une moyenne.

Les indicateurs ne sont pas seulement utiles pour connaître le travail développé sur le piston, ils permettent encore de lire sur le diagramme les détails de la distribution. Les constructeurs s'en servent beaucoup pour essayer leurs machines, et même certains d'entre-eux les classent dans leurs catalogues d'après leur *Force nominale*.

L'acheteur ne doit pas s'y tromper, il ne doit faire entrer en ligne de compte que la *Force disponible* à l'arbre de couche. Cette dernière n'est jamais que les 0,80, 0,70, 0,60 ou 0,50 de la force nominale. En calculant ainsi, une machine à vapeur cotée 6 chevaux nominaux, et en prenant le rendement de 0,60, ne peut fournir à l'arbre de couche comme travail disponible que :

$$6 \times 0,60 = 3 \text{ chevaux } 60.$$

Les indicateurs Richard coûtent de 225 à 400 fr., suivant qu'ils sont à un ou plusieurs diagrammes ; ceux de Thompson construits par MM. Schaffer et Budenberg (105, boulevard Richard-Lenoir, Paris) coûtent depuis 90 à 350 fr.

DES MOUVEMENTS

Définition du Mouvement. — Un corps est dit en mouvement quand il occupe successivement divers points dans l'espace. Il est en repos quand il reste constamment à la même place. Pour qu'il y ait mouvement, il faut une dépense de force.

Dans les machines, le mouvement se produit par le déplacement d'un organe. Exemple, le piston d'une machine à vapeur avance sous l'impulsion que lui donne la vapeur.

Vitesse. — La vitesse est l'espace que parcourt un mobile dans une seconde, La seconde est donc l'unité adoptée dans le mouvement. On dit encore que la vitesse est le rapport entre l'espace parcouru e , et le temps t employé à faire ce parcours ;

$$\text{ou, } v = \frac{e}{t}.$$

Trajectoire. — La trajectoire est une ligne qui relierait ensemble les différentes positions que prend le mobile dans son mouvement.

Loi d'un Mouvement. — La loi d'un mouvement est la relation qui lie les espaces aux temps; d'après celle-ci, on peut déterminer la nature du mouvement.

Considération d'un mouvement par rapport à l'espace et au temps. — Un mouvement, pour être défini, doit être considéré par rapport à l'espace que le mobile parcourt et au temps qu'il met pour l'effectuer.

Par rapport à l'espace, on a les *mouvements rectilignes* ou en ligne droite, et les *mouvements curvilignes* ; parmi ceux-ci, les mouvements circulaires seuls nous occupent.

Par rapport au temps, on a les *mouvements uniformes* et les *mouvements variés*.

Mouvement uniforme. — Un mouvement est dit uniforme lorsque le mobile parcourt des espaces égaux dans des temps égaux, quels que soient ces temps. Ainsi un cheval marchant à une allure uniforme et faisant 1 m. 90 par seconde, parcourra 1 m. 90 à la deuxième seconde, 1 m. 90 à la troisième seconde, et ainsi de suite.

Si on désigne par e l'espace parcouru, par t le temps employé, on aura :

$$\frac{e}{t} = v, \text{ ou vitesse par seconde ; et}$$

$$\frac{e}{v} = t, \text{ ou temps ; et}$$

$$e = v \times t.$$

D'où, la loi du mouvement uniforme peut s'exprimer en disant : *les espaces parcourus sont proportionnels aux temps employés à les parcourir.*

Applications. — 1^o Quelle est la vitesse par seconde d'un cheval ayant parcouru 6.840 mètres dans 3.600 secondes ; 2^o quel est le temps employé pour parcourir 38 mètres ; 3^o quel est l'espace parcouru au bout de 30 secondes ?

1^{re} réponse : En appliquant la formule $\frac{e}{t} = v$, on a : $\frac{6840}{3600} =$
1 mètre 90.

2^e réponse. — $\frac{e}{v} = t = \frac{38}{1,90} = 20$ secondes.

3^e réponse. — $e = v \times t = 1,90 \times 30 = 57$ mètres.

Mouvement varié. — Un mouvement est dit varié lorsque les espaces parcourus ne sont plus proportionnels aux temps employés à les parcourir. Il peut être *varié d'une manière quelconque, uniformément varié* ou *périodique*.

Le mouvement uniformément varié seul nous occupe ici. Dans celui-ci, on trouve le *mouvement uniformément accéléré*, et le *mouvement uniformément retardé*, suivant que la vitesse croît ou décroît de quantités égales, dans des temps égaux.

Mouvement uniformément accéléré. — Le mouvement est uniformément accéléré quand la vitesse croît proportionnellement au temps. Si la vitesse au départ de la première seconde est de 2 mètres, à la deuxième seconde elle sera de 4 mètres, à la troisième seconde de 6 mètres, et ainsi de suite. L'accroissement de vitesse ou 2 mètres, que prend le mobile à chaque seconde, se nomme *accélération*; nous la désignerons par la lettre *W*. On peut donc dire que l'accélération est la vitesse que le mobile acquiert pendant la première seconde.

D'où la vitesse au bout d'un temps *t*, dans le mouvement uniformément accéléré, est :

$$v = W \times t \text{ ou } Wt \quad (1).$$

Dans ce même mouvement, l'espace *e*, parcouru dans un temps *t*, est égal à $v \times t$ ou à la surface d'un triangle rectangle ayant pour base *t*, et pour hauteur *v*.

On peut donc écrire encore :

$$e = \frac{v \times t}{2}.$$

Comme $v = W \times t$ (1), il vient :

$$e = \frac{W \times t \times t}{2} = \frac{Wt^2}{2}, \text{ ou } 1/2 Wt^2$$

L'espace parcouru dans un mouvement uniformément accéléré, est donc égal à l'accélération, multipliée par le carré du temps, ce produit divisé par deux.

Applications. — 1^o Quelle est la vitesse d'un mobile ayant une accélération de 4 mètres par seconde, au bout de 10 minutes; 2^o quel est l'espace parcouru ?

1^{re} réponse. — $v = Wt = 4 \times 10 \times 60 = 2.400$ mètres.

2^o réponse. — $e = 1/2 Wt^2 = \frac{4 \times 600 \times 600}{2} = 720.000$ mètres.

Cas d'un mobile ayant déjà un mouvement initial. — Si le mobile possédait déjà un mouvement initial au moment où il est considéré, les formules précédentes devraient être modifiées :

$$v = V_0 + Wt.$$

$$e = V_0 t + 1/2 Wt^2$$



Mouvement uniformément retardé. — Dans le mouvement uniformément retardé, la vitesse décroît proportionnellement au temps. Si la vitesse du mobile est v au moment où on le considère, et la quantité dont elle diminue par seconde soit W , on aura :

au bout de la première seconde une vitesse $v' = v - W$,
 au bout de la deuxième seconde une vitesse $v'' = v - 2W$,
 au bout de la troisième seconde une vitesse $v''' = v - 3W$,
 et au bout d'un temps t , une vitesse égale à :

$$V = v - Wt.$$

L'espace parcouru par seconde varie dans les mêmes proportions, et il est donné par la formule suivante :

$$e = v \times t - 1/2 W t^2$$

Application. — Quelle est la vitesse d'un mobile au bout de 3 secondes, parcourant au moment considéré 50 mètres par seconde, et ayant une diminution d'accélération de 2 mètres par seconde ?

Réponse : $V = 50 - 2 \times 3 = 44$ mètres.

Mouvement de rotation uniforme. — Un corps est animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe, lorsque chaque point de ce corps décrit une circonférence dont le plan est perpendiculaire à l'axe.

Dans le mouvement de rotation, les arcs que décrivent les différentes parties d'un corps sont proportionnels à leurs distances à l'axe.

Soient deux arcs MM' et NN' et ayant pour rayons OM et ON , on aura :

$$\frac{MM'}{OM} = \frac{NN'}{ON}$$

De même les vitesses des différents points d'un corps en rotation sont proportionnelles à leurs distances à l'axe.

$$\text{Ou, } \frac{V}{V'} = \frac{OM}{ON}.$$

Vitesse angulaire. — On appelle vitesse angulaire l'arc parcouru dans l'unité de temps (seconde), par un point situé à l'unité de distance de l'axe (1 m.). On la désigne par ω

La vitesse de rotation d'un point quelconque est égale à la vitesse angulaire multipliée par la distance de ce point à l'axe de rotation. Si on désigne par MM' l'arc parcouru par le point dont on cherche la vitesse de rotation, par r sa distance à l'axe, par NN' ou ω , l'arc parcouru par un corps placé à 1 de distance de l'axe, on aura :

$$\frac{MM'}{NN'} = \frac{r}{1} \text{ ou } \frac{V}{\omega} = \frac{r}{1} \text{ et,}$$

$$V = \omega r.$$

Si on connaît la vitesse V on peut déterminer la vitesse angulaire :

$$\omega = \frac{V}{r}$$

La vitesse angulaire est donc égale à la vitesse de rotation d'un point quelconque, divisée par la distance de ce point à l'axe.

Si on connaît le nombre de tours n par minute d'un corps en mouvement, il est facile de déduire la vitesse angulaire. En

l'arc décrit par un point situé à 1 mètre de l'axe a pour mesure 2π pour chaque tour, pour n tours il est égal à $2\pi n$; l'espace parcouru par seconde ou la vitesse angulaire est donc :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$$

Si la vitesse angulaire était donnée, le nombre de tours effectués par minute est égal à :

$$n = \frac{30\omega}{\pi}$$

Enfin, la vitesse angulaire peut encore s'exprimer en fonction du nombre de degrés dont le corps a tourné ; si n' représente ce nombre de degrés, on aura :

$$\omega = \frac{2\pi n'}{360} = \frac{\pi n'}{30}$$

Pesanteur et lois de la chute des corps. — La pesanteur est une force qui sollicite les corps à tomber vers la terre, et qui détermine ce mouvement quand les corps ne sont pas soutenus. La pesanteur trouve des applications dans le mouvement de l'eau sur les palettes d'une roue hydraulique. Il est donc nécessaire que nous indiquions les lois des corps mis en mouvement par la pesanteur. (1)

1^{re} loi. — *Les espaces parcourus sont proportionnels aux carrés des temps employés à les parcourir.*

2^e loi. — *Les vitesses acquises sont proportionnelles aux temps.*

Si nous désignons par g l'accélération de vitesse que prend le corps à chaque seconde, par h l'espace parcouru, nous aurons :

$$\begin{aligned} \text{Vitesse } v &= gt; & h &= 1/2 gt^2, \text{ d'où l'on tire,} \\ v &= \frac{v}{g}, & v &= \sqrt{2 gh}. \end{aligned}$$

L'accélération g n'est pas la même pour tous les points du globe, elle a son maximum au pôle, c'est-à-dire 9 m. 8314, et son minimum à l'équateur, ou 9 m. 7806. A Paris, elle vaut 9 m. 8088; c'est cette valeur qu'il faut employer dans les calculs.

(1) Ces lois ont été découvertes par le physicien Galilée.

TRANSMISSION DU MOUVEMENT

Organes de Transmission et de Transformation du Mouvement dans les Machines.

Les forces, telles que la contraction musculaire, la vapeur d'eau, l'eau en mouvement, etc., en agissant sur certains organes des machines, leur transmettent un mouvement de nature diverse. Il peut être :

- 1^o Mouvement rectiligne continu,
- 2^o Mouvement rectiligne alternatif,
- 3^o Mouvement circulaire continu,
- 4^o Mouvement circulaire alternatif.

Si on combine les mouvements précédents entre eux, et chacun d'eux avec lui-même, on obtient 16 mouvements en tout. Ainsi le mouvement rectiligne continu donne :

Rectiligne continu.	}	en rectiligne. . . en circulaire. . .	}	continu. alternatif. continu. alternatif.
---------------------	---	--	---	--

Masse d'un corps. — La masse d'un corps est égale à son poids divisé par l'accélération due à la pesanteur. D'où,

$$M = \frac{P}{g}; \text{ comme } g = 9,8088, \text{ il s'en suit que: } M = \frac{P}{9,8088}.$$

Unité de Masse. — L'unité de masse est la masse d'un corps dont le poids est de 9 kgr.8088, ou $\frac{P}{g} = 1$.

Quantité de mouvement. — On appelle quantité de mouvement le produit de la masse M par l'accélération W, qu'elle reçoit; ou MW.

Impulsion d'une force. — On appelle impulsion le produit obtenu en multipliant la force par le temps, ou $F \times t$. On démontre facilement que la quantité de mouvement $MW = Ft$ ou impulsion.

Force vive. — On appelle force vive le produit de la masse d'un corps par le carré de sa vitesse, ou $F = MV^2$

Puissance vive. — La puissance vive est le produit de la masse d'un corps par le carré de sa vitesse, divisé par deux;
 MV^2
 ou $\frac{MV^2}{2}$.

Organes de transmission et de transformation du mouvement. — Les organes principaux servant à la trans-

mission du mouvement dans les machines employées en agriculture, sont : les *arbres*, les *poulies*, les *engrenages*, les *joint*s, les *embrayages* et les *encliquetages*, les *bielles* et les *manivelles*, les *excentriques*.

Arbres de transmission. — Les arbres sont des organes servant à transmettre le mouvement circulaire. Il sont formés d'une pièce à section ronde, quand ils sont en fer, en acier ou en fonte, ou prismatiques quand ils sont en bois. Les arbres en fer se font d'une seule pièce jusqu'à cinq ou six mètres de longueur (*fig. 12*). La partie A forme le corps de l'arbre. Les extrémités EE', se nomment *tourillons*; de chaque côté de

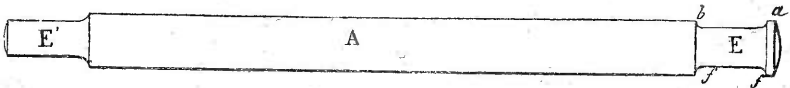


Fig. 12. — Arbre de transmission.

ceux-ci on remarque des saillies *a* et *b*, appelées *épaulements* ou *collets*, destinés à empêcher les mouvements latéraux de se produire, ils se raccordent aux tourillons par un quart de rond appelé *congé* ff. Souvent ces collets sont rapportés sur l'arbre et sont constitués par des bagues d'arrêt vissées (*fig. 13*).

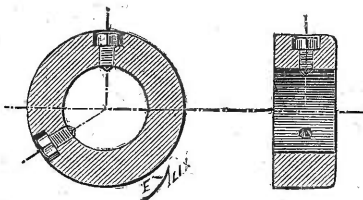


Fig. 13. — Bague d'arrêt Piat.

M. Piat (Paris) les vend de 1 fr. 90 à 12 fr. 50, pour des diamètres d'arbres de 25 à 40 millimètres de diamètre. La même Maison fournit des arbres en fer, tournés, depuis 80 à 45 fr. les 100 kgr., avec des diamètres de 0 m. 03 à 0 m. 10, et dont les longueurs sont comprises entre 4 à 6 mètres.

Le poids du mètre linéaire est compris entre 5 k. 50 à 61 k.

Les arbres se placent horizontalement, on les dit généralement *arbres de couche*, ou verticalement.

Réunion des arbres pour une grande transmission.

— Lorsqu'on a une longue transmission à établir, on est obligé de la sectionner en parties ayant 10 à 12 mètres de longueur, et de les réunir par des manchons. Ceci évite les déformations.

La figure 14 représente un manchon d'assemblage à plateaux, construit par la Maison Piat (Paris, 85, 87, 94, rue Saint-Maur). Les extrémités des deux arbres à réunir portent deux disques en fonte très bien ajustés sur leur face *b*, et s'emboîtant l'un dans l'autre. Ces disques sont reliés par 4 ou 8 boulons de serrage. Il est facile de comprendre que par le mouvement de

rotation les deux arbres sont entraînés. Ce manchon, pris à la Maison Piat, coûte de 22 à 48 fr. pour des arbres ayant de 30 à 65 millimètres de diamètre.

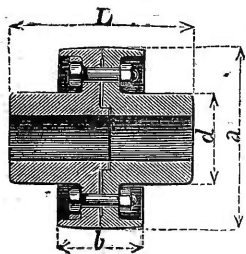


Fig. 14. — Manchon d'assemblage à plateaux (Piat).

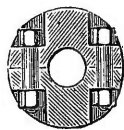
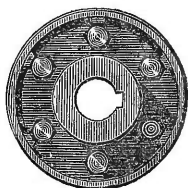


Fig. 15. — Manchon d'assemblage cylindrique (Piat).

La figure 15 représente un genre de manchon très employé. Il est formé de deux parties demi-cylindriques en fonte, emprisonnant les extrémités des arbres. On les réunit par 6 boulons noyés dans des parties creuses. Par un serrage énergique, le mouvement est communiqué à l'arbre de prolongement. Ce modèle se vend à raison de 23 à 48 fr., pour des arbres de 40 à 60 millimètres de diamètre, et pesant de 20 à 52 kil.

En desserrant un manchon on arrête une ou plusieurs sections de la transmission.

Supports des arbres. — Coussinets, paliers et chaises.

— Les arbres de couche reposent, par leurs tourillons, sur des paliers. Le palier ordinaire se compose d'une semelle en fonte boulonnée à un massif en maçonnerie, elle porte deux montants formant le corps du palier, et à la partie supérieure une pièce maintenue par des boulons, appelée *chapeau*. Entre les montants, sont logés deux coussinets en bronze dont l'intérieur est alésé soigneusement, embrassant l'arbre, et l'extérieur polygonal. La longueur des coquilles du coussinet constitue la *portée*.

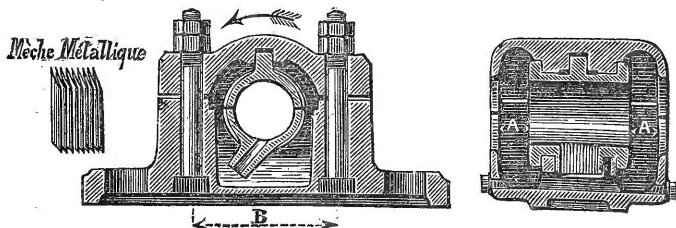


Fig. 16. — Palier graisseur à mèche métallique (Piat).

Le graissage se fait au moyen d'un godet, muni d'une mèche amenant l'huile aux coussinets par un petit conduit.

Pour des arbres de 30 à 60 millimètres de diamètre, la Maison Piat livre ce genre de palier à 10 et 25 fr.

Un système de palier très recommandable est celui représenté par la figure 16. Le coussinet porte de chaque côté, en AA, deux réservoirs remplis d'huile, celle-ci est aspirée à la partie inférieure par une mèche métallique. Le prix varie de 11 à 32 fr. pour les mêmes diamètres que précédemment. Ce système convient surtout pour les arbres tournant rapidement.

Dans beaucoup de cas on remplace les godets graisseurs par des graisseurs en verre ou en métal que l'on visse sur le chapeau du palier.

Les transmissions nécessitent encore des organes en fonte appelés *chaises*, portant des paliers venus de fonte avec elles ou rapportés. Suivant leur destination, ces supports changent de forme, soit qu'on les fixe à un mur, à un poteau ou à un plancher. On a les *chaises à consoles*, qui sont très simples, on les applique aux murs ou à des poteaux espacés de distance en distance. Elles sont formées (fig. 17 et 18) d'une semelle verticale, boulonnée solidement; elle porte un bras horizontal muni d'un palier, et soutenu par une contre-fiche droite ou courbe.

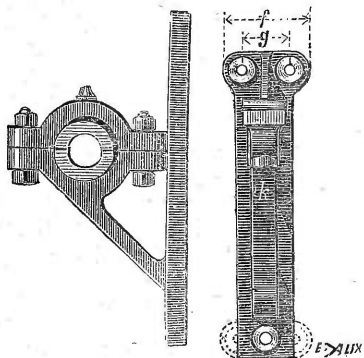


Fig. 17. — Chaise à console simple (Piat)

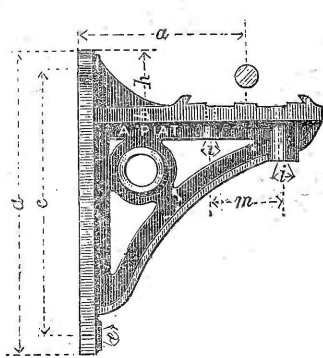


Fig. 18. — Chaise à console avec palier séparé (Piat).

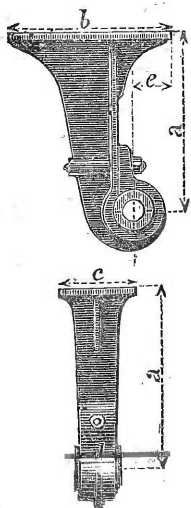


Fig. 19. — Chaise en col de cygne. Élévation et vue de face (Piat).

La chaise en *col de cygne*, comme son nom l'indique, se recourbe à la partie inférieure en col *d* (fig. 19), où passe l'arbre. La partie supérieure se termine en une semelle *b*, boulonnée. Ce système s'emploie surtout pour les arbres fixés au-dessous d'un plancher, et devant commander à droite et à gauche différentes machines.

La *chaise pendante à une jambe* s'emploie aussi pour les transmissions élevées. Elle se compose (fig. 20) d'une jambe verticale portant un bras horizontal *m*, sur lequel se fixe le palier de l'arbre représenté en coupe. La semelle *h* se boulonne au plancher. On peut aussi faire usage dans le même cas de la *chaise pendante à double jambe* (fig. 21).

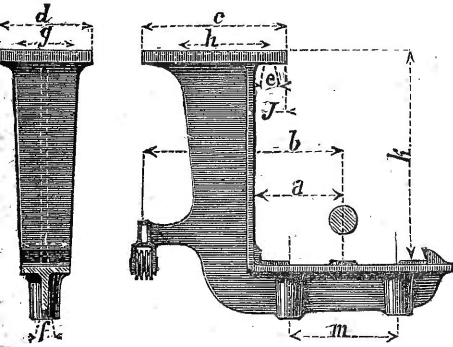


Fig. 20. — Chaise pendante à une jambe
Elévation et coupe (Piat).

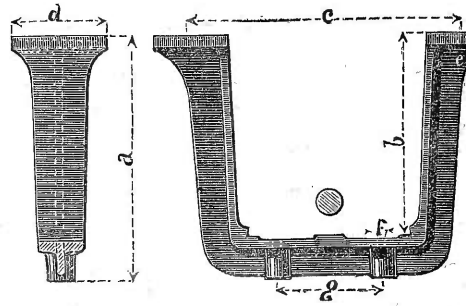


Fig. 21. — Chaise pendante à double jambe
Elévation et coupe (Piat).

La *niche* sert dans le cas où un arbre de transmission traverse un mur épais. La figure 22 montre qu'elle porte inférieurement une semelle *a* ou *d*, où se fixe le palier de l'arbre; la partie supérieure est en voûte.

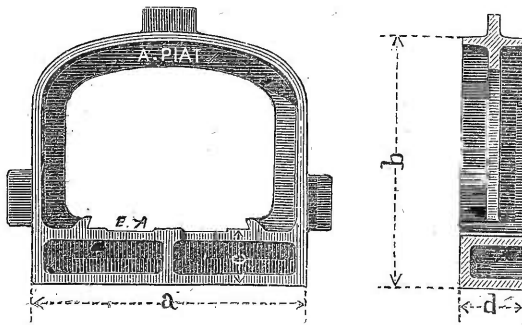


Fig. 22. — Niche. Elévation et coupe (Piat).

Enfin on emploie les *chaises en bout* lorsque l'extrémité d'un arbre doit s'appuyer à un parement de mur. La semelle *f c b d* est boulonnée, et le palier est soutenu par la pièce et faisant saillie. (Fig. 23).

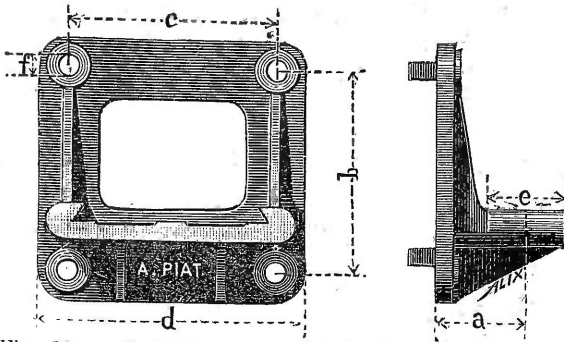


Fig 23. — Chaise en bout. Élévation et vue de côté.

TABLEAU
des prix des différentes Chaises
Vendues par la Maison PIAT (Paris)

DÉSIGNATION DES CHAISES	DIAMÈTRE des Coussinets en millimètres	Poids total de la Chaise	Prix du kilog. en francs
Chaises à console..	40	20	1 25 à 2 »
	50	27	
	60	42	
Chaises en col de cygne.	40	20	1 25 à 2 »
	50	27	
	60	42	
Chaises à une jambe..	35 à 40	28	» 50 à » 90
	55 à 60	40	
Niches.	35 à 40	34	» 50 à » 90
	55 à 60	73	
Chaises en bout. .	35 à 40	29	» 50 à » 90
	55 à 60	73	

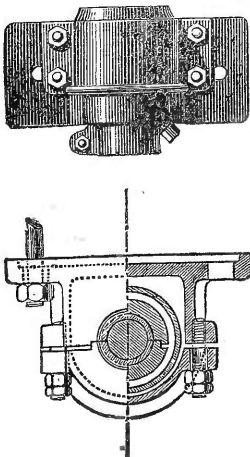


Fig. 24. — Collier graisseur pour arbres verticaux (Piat). Élévation et plan

La Maison Piat fournit ces chaises pour toutes les dimensions. Nous donnons les chiffres précédents à titre de renseignement.

Pour installer les arbres verticaux, on les fait reposer à la partie inférieure dans des crapaudines, et on les soutient dans le sens vertical, de distance en distance, par des colliers graisseurs du genre de celui représenté par la figure 24.

Poulies. — Lorsqu'on veut communiquer le mouvement à deux arbres parallèles, placés à une certaine distance, on est obligé de caler perpendiculairement à leur axe, des organes appelés *poulies*. Ce sont des roues OO' (fig. 27), en fonte, en fer ou en bois, à jante polie m , réunie au moyeu par des bras droits ou courbes, $rrrr$. Suivant la forme de la jante, on a les poulies ordinaires A, les poulies à *joues* B, et les poulies à gorge H (fig. 25).

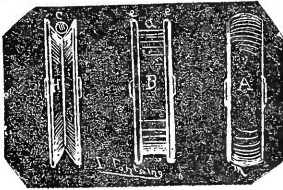


Fig. 25. — Différentes formes de poulies.

La poulie ordinaire a une jante unie, légèrement bombée m , pour empêcher la courroie de glisser latéralement; quelquefois on fait la jante plane.

La poulie ordinaire peut être d'une ou plusieurs pièces, comme le représente la figure 26. Le moyeu est en fonte, les bras en fer à T et la jante également en fer. Ces poulies sont très légères; pour des arbres de 4 à 5 centimètres de diamètre, elles coûtent de 23 à 25 fr., prises à la Maison Piat.

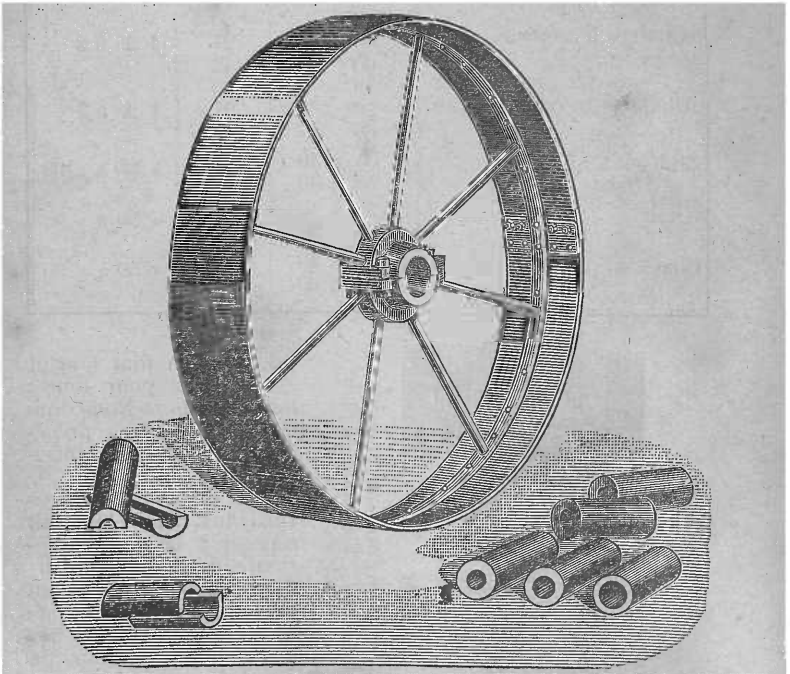


Fig. 26. — Poulie en deux pièces (Piat).

Très souvent, sur l'axe de commande d'une machine (hache-paille, écrémeuse, etc.), on dispose côte à côte deux poulies, dont l'une est clavetée et l'autre mobile, on la dit *poulie folle*. Quand on veut faire marcher l'appareil, on commande la poulie fixe; si au contraire on veut arrêter, on fait commander la poulie folle.

Les poulies à joues s'emploient assez souvent dans les batteuses et les manèges à commande en l'air. Un ou les deux côtés *ee* de la jante portent des rebords qui empêchent la courroie de sortir latéralement; sur la jante *a* se passe la courroie (*fig. 25*).

Enfin les poulies à gorge H sont celles dont la jante est creusée d'une rainure à section ronde ou triangulaire, dans laquelle passe un câble de commande *c*. Elles se font en bois ou en fonte. On les emploie surtout pour les transmissions exposées à l'eau, ou pour transporter la force d'une chute d'eau située à 4, 5 ou 1000 mètres de distance. (*Voir transmissions télodynamiques*).

Courroies et câbles. — Les courroies sont des lames flexibles A B C D (*fig. 27*), passant sur les jantes de deux poulies OO', afin de transmettre le mouvement d'un arbre à l'autre. Elles se font généralement en cuir; quand elles doivent être exposées à l'humidité, il vaut mieux les faire en caoutchouc ou en gutta-percha, parce que le cuir varie de longueur constamment.

La largeur et l'épaisseur d'une courroie en cuir se règlent d'après la largeur de la jante de la poulie et de l'effort à transmettre; elle doit être au plus les $\frac{3}{4}$ de la largeur de la jante, et son épaisseur est comprise entre 4, 5, 6, 7 et 8 millimètres. Dans ces conditions, la force transmise oscille entre 0 k. 4, 0 k. 5, 0 k. 6, 0 k. 7 et 0 k. 8, par millimètre de largeur. On ne doit pas dépasser un effort de traction de 0 k. 100 par millimètre carré.

Les câbles sont des cordes en chanvre ou en fil métallique, à section circulaire, employés dans les poulies à gorge. Ils se composent d'un certain nombre de torons roulés en spirale ensemble ou autour d'une âme.

Calcul des diamètres de deux poulies pour obtenir une vitesse déterminée. — Les appareils qu'on est appelé à faire commander par poulies, doivent marcher à des vitesses déterminées, pour exécuter un bon travail. Le diamètre des poulies doit donc être calculé soigneusement, c'est un des points les plus délicats d'une installation. La méthode que nous allons indiquer permettra facilement, au premier venu, de résoudre le problème.

Si nous considérons deux poulies, nous voyons que :

Les rayons de celles-ci sont inversement proportionnels aux nombres de tours. En appelant par D et D' les diamètres des poulies, par N et N' le nombre de tours, on aura :

$$D \cdot N' = D' \cdot N$$

$$D'N' \text{ (1)} \quad DN \text{ (2)}$$

D'où, $D = \frac{D'N'}{N}$, et $D' = \frac{DN}{N'}$

Application. — Quel doit être le diamètre D d'une poulie calée sur un arbre de couche, faisant un nombre de tours N égal à 80, pour commander un coupe-racines ayant une poulie D' de 0 m. 35 de diamètre, et tournant à N' tours ou à 150 ?

En appliquant la formule (1), on a :

$$D = \frac{0,35 \times 150}{80} = 0 \text{ m. } 656; \text{ en tenant compte d'un certain glissement, on peut faire cette poulie à } 0 \text{ m. } 66 \text{ de diamètre.}$$

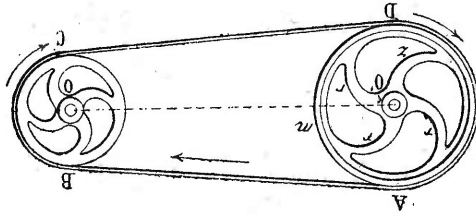


Fig. 27. — Disposition d'une courroie à brins parallèles sur deux poulies.

Disposition des courroies sur les poulies, glissement et tendeurs. — Les courroies se placent sur les poulies de deux manières, suivant le sens de rotation que l'on veut communiquer à l'arbre conduit : 1° Les brins de la courroie sont parallèles et passent suivant les tangentes extérieures des poulies ; dans ce cas les arbres tournent dans le même sens (fig. 27).

2° Les brins de la courroie sont croisés, et passent suivant les tangentes intérieures des poulies ; dans ce cas les arbres tournent en sens contraire.

C'est donc au directeur d'une installation qu'incombe l'étude de la disposition des courroies, suivant le sens de rotation que possèdent les machines industrielles à poser.

La transmission du mouvement entre les poulies se fait de la façon suivante : au départ, la courroie glisse toujours un peu sur la poulie motrice, mais en vertu du frottement qui s'exerce entre les surfaces en contact, il en résulte une certaine adhérence, et la poulie se met en mouvement. Le même phénomène se passe à la poulie conduite, ce n'est qu'après un certain glissement qu'elle se met elle-même en mouvement.

On doit même tenir compte, dans le calcul des poulies d'un certain glissement faisant perdre de la vitesse, qu'on estime à $1/20$, à $1/10$, avec une perte de force variant entre 0,005 à 0,03.

En pratique, on donne une vitesse de translation aux courroies comprise entre 15 à 30 mètres par seconde ; le chiffre de 25 mètres est à conseiller.

Dans les courroies de faible longueur on est obligé, très souvent, afin de prévenir le glissement exagéré, d'employer les tendeurs, pour leur donner de l'adhérence. Ces appareils consistent en des leviers coudés, portant à un bout un galet

tournant sur lui-même et appuyant sur la courroie, et de l'autre, un contre-poids. Ils se calent sur le brin conducteur. Enfin, un levier permet d'annuler leur action. On trouve des applications de ces appareils dans les écrémeuses, moissonneuses-lieuses, etc.

Engrenages. — Les engrenages sont des roues dentées que l'on cale sur les arbres situés à une faible distance, pour transmettre le mouvement de rotation de l'un à l'autre. Les engrenages plans sont les plus employés, on les appelle *roues dentées*, *roues d'engrenage*, etc.

En supposant deux arbres horizontaux A et B (fig. 28), et placés à une distance de 1 m. 20, on veut communiquer le mouvement de l'arbre A à l'arbre B. Pour cela, on cale, sur le premier, une roue R, et sur le second une petite roue appelée *pignon r*. La roue R est *menante*, tandis que la roue *r* est la *roue menée*.

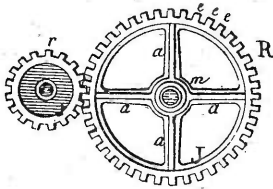


Fig. 28. — Paire d'engrenage.

Les roues dentées se font en fonte, d'un ou de plusieurs morceaux qu'on boulonne ensemble. La partie centrale *m* ou *moyeu*, embrasse l'arbre, elle porte des rayons ou bras *a a a a*, le reliant à une jante *J J*, munie de saillies ou dents *e e e*.

On entend par *circonférences primitives*, des circonférences tangentes idéales, qui se conduiraient par simple contact. La partie de la dent extérieure à la circonférence primitive, s'appelle la *face* de la dent; la partie intérieure s'appelle le *flanc*. La hauteur du flanc, ajoutée à celle de la face, constitue la longueur de la dent. La largeur d'une dent ou de la roue, est la dimension comptée parallèlement à l'axe.

Quant à la forme des engrenages employés dans les machines agricoles, on a les *engrenages droits* et les *engrenages coniques*.

Les premiers sont représentés par la figure 28.

L'engrenage conique se compose (fig. 29), de deux roues dentées R et *r*, de forme conique, calées sur les arbres B. On désigne, sous le nom de *couronne*, la roue R, et sous le nom de *pignon*, la roue *r*.

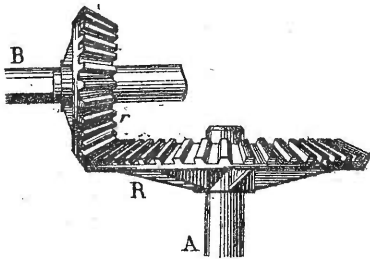


Fig. 29 — Paire d'engrenage conique.

Très souvent les dents sont rapportées dans les roues d'engrenage, on les appelle *alluchons*. On les fait en bois dur, tel que le charme, l'alisier, etc.

Les cultivateurs trouveront à la Maison Piat, 85, 87 et 94, rue Saint-Maur (Paris), et à de bonnes conditions, tous les systèmes d'engrenages susceptibles d'être employés dans les installations agricoles.

Détermination du diamètre et du nombre de dents dans une paire d'engrenages, pour obtenir une vitesse de rotation déterminée. — Les engrenages servent, comme nous l'avons vu, à transmettre le mouvement de rotation aux arbres de transmission en le multipliant ou en le ramenant à une vitesse déterminée. Pour cela, il faut donner aux roues des diamètres calculés soigneusement, ainsi qu'un nombre de dents déterminé. On se base, pour résoudre ce problème, sur les formules suivantes :

1^o Les diamètres de deux roues dentées sont inversement proportionnels à leurs vitesses angulaires. Soient D et D' leurs diamètres, ω et ω' leurs vitesses angulaires, on aura la proportion :

$$\frac{D}{D'} = \frac{\omega'}{\omega} \quad (1)$$

2^o Les nombres de dents de deux roues qui engrènent, sont entre eux comme les diamètres de ces roues. En représentant toujours par D et D' leurs diamètres, par N et N' leurs dents, on aura :

$$\frac{D}{D'} = \frac{N}{N'} \quad (2)$$

Cette deuxième proportion nous permet de voir immédiatement que le nombre de tours faits par la roue conduite, est inversement proportionnel à son nombre de dents. Si une roue motrice de 60 dents conduit un pignon de 10 dents, celui-ci fera $\frac{60}{10} = 6$ fois plus de tours que l'autre. Ce chiffre 6 constitue le rapport de l'engrenage.

Applications. — 1^o Quel doit être le diamètre d'une couronne dentée tournant à 120 tours par minute et devant commander un pignon de 0 m 12 de diamètre, faisant 250 tours par minute. 2^o Combien cette roue aura-t-elle de dents, sachant que le pignon a 12 dents ?

1^{re} réponse. — On a :

$$\text{Diamètre } D = \frac{D' \times N'}{N}, \text{ ou } \frac{0,12 \times 250}{120} = 0 \text{ m. } 25.$$

2^o réponse. — Nombre de dents $N = \frac{0,25 \times 12}{0,12} = 25$ dents.

Trains d'engrenages ou engrenages conjugués. — Les trains d'engrenages sont formés par une série de roues dentées A B C, et de pignons dentés a b c (fig. 30), qu'on emploie pour multiplier la vitesse d'un arbre de couche devant commander un appareil à 4, 5 ou 600 tours par minute. Comme le rapport

des vitesses entre la première roue et le dernier pignon, est très élevée, on comprend qu'il est impossible de n'employer qu'une seule paire d'engrenage; la roue serait d'un trop grand diamètre et les dents du pignon se briseraient. Dans le système

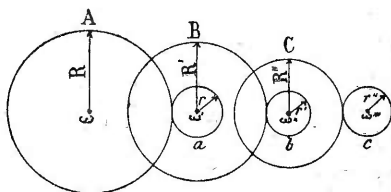


Fig. 30. — Train d'engrenage.

représenté figure 30, la première roue A commande le pignon a , dont l'axe porte la roue B, qui engrène avec le pignon b , sur l'axe duquel est calée la roue C, commandant définitivement le pignon c .

En considérant la roue A et le pignon a , chaque point de leurs circonférences est animé de la même vitesse, et l'on peut écrire pour chaque couple :

$$\begin{aligned}\omega R &= \omega' r' \\ \omega' R' &= \omega'' r'' \\ \omega'' R'' &= \omega''' r'''\end{aligned}$$

Multipliant membre à membre, on a :

$$\omega R \times \omega' R' \times \omega'' R'' = \omega' r' \times \omega'' r'' \times \omega''' r'''$$

En supprimant les facteurs communs, il vient :

$$\begin{aligned}\omega R \times R' \times R'' &= r' \times r'' \times r''' \quad \text{Et,} \\ \frac{\omega}{\omega'''} &= \frac{r' \times r'' \times r'''}{R \times R' \times R''}\end{aligned}$$

Cette proportion nous montre que le rapport des vitesses angulaires de la première roue et du dernier pignon est égal au rapport du produit des rayons des pignons et du produit des rayons des roues.

Dans un train d'engrenage, le rapport de l'engrenage ou le nombre de tours que fait le dernier pignon quand la première en fait un, s'obtient de deux façons :

1° En divisant le produit des rayons des roues menantes par le produit des rayons des pignons, ou :

$$N = \frac{R' \times R \times R''}{r' \times r'' \times r'''} \quad (1)$$

2° En divisant le produit du nombre de dents des roues menantes par le produit du nombre de dents des pignons.

Soient ABC les dents des roues menantes, abc , celles des roues menées, on aura :

$$N = \frac{A \times B \times C}{a \times b \times c} \quad (2)$$

Application. — Quel est le rapport d'engrenage du train ABC *abc*, sachant que A a 20 dents ; B, 45 ; C, 32 ; *a*, 12 ; *b*, 8 ; *c*, 6 ?

Réponse. — En appliquant la formule (2), on a :

$$\frac{20 \times 45 \times 32}{12 \times 8 \times 6} = 50$$

Donc, quand la première roue A fera un tour, le dernier pignon *c* en fera 50.

Comment on établit un train d'engrenage. Exemple pour transmission de manège. — Les trains d'engrenages servent, comme nous l'avons déjà dit, dans beaucoup de cas pour multiplier la vitesse de rotation. Pour obtenir une vitesse déterminée il faut donner aux engrenages du train un nombre de dents en rapport avec celle-ci. Nous allons prendre l'exemple d'une transmission par manège.

Problème. — L'arbre de couche d'un manège fait 10 tours par minute ; établir un train d'engrenage de manière à transmettre une vitesse de 156 tours par minute à l'arbre des poulies commandant un hache-paille, un coupe-racines, etc.

Réponse. — On doit d'abord chercher le rapport de l'engrenage, qui est ici de :

$$\frac{156}{10} = 15,6$$

Puis on décompose le nombre 156 en autant de facteurs que l'on veut avoir de roues menantes. Dans notre cas, deux seraient suffisantes. Choisissons les facteurs 12 et 13, car $12 \times 13 = 156$.

On se donne ensuite arbitrairement le nombre de dents de chacun des pignons commandés par les roues, et on établit leur nombre de dents :

1^{er} pignon, 8 dents. 1^{re} roue, $12 \times 8 = 96$ dents.

2^e pignon, 10 dents. 2^e roue, $13 \times 10 = 130$ dents.

Cette dernière roue de 130 dents fera bien 156 tours par minute, car en vérifiant on a :

$$\begin{array}{r} \text{Roues. . . } 96 \times 130 \\ \text{Pignons. . } 8 \times 10 \\ \hline \qquad \qquad \qquad = 156 \text{ tours.} \end{array}$$

Cônes de friction. Les cônes de friction ou cylindres de friction, sont des roues tronconiques en fonte, à jante lisse, qui servent à transmettre le mouvement de rotation à deux axes parallèles ou perpendiculaires. En rapprochant très près les deux cônes, on détermine une certaine adhérence suffisante pour obtenir le déplacement du cône conduit. Mais il faut une faible force à transmettre, sans cela il y a glissement.

Des applications se rencontrent dans les écrémeuses centrifuges pour le lait, les essoreuses, les turbines de sucrerie, etc., où la vitesse de rotation demandée varie entre 2, 3, 4 et 5.000 tours par minute.

Dans les machines rotatives mues à bras, comme les coupe-racines, hache-paille, concasseurs, etc., les manivelles ont des boutons remplacés par des manches horizontaux, assez longs pour placer les mains de l'ouvrier, ses bras jouent le rôle de manivelle.

Embrayages, Débrayages et Encliquetages. — Les embrayages sont des organes destinés à relier entre eux deux arbres pour communiquer le mouvement de l'un à l'autre. On les divise en *embrayages fixes* et en *embrayages mobiles*.

Les embrayages fixes sont constitués par des manchons en fonte, que nous avons étudiés en même temps que les arbres de transmission.

Les embrayages mobiles sont ceux qui permettent d'arrêter ou de rétablir le mouvement instantanément.

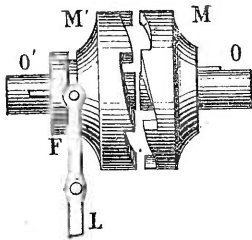


Fig. 32. — Embrayages à machoires.

Le plus employé est celui dit à *machoires*. Il se compose (fig. 32) de deux manchons M et M', munis, sur l'une de leurs faces, de dents s'emboîtant les unes dans les autres. Le manchon M est fixe sur l'arbre moteur O; l'autre, M', peut glisser sur l'arbre O', mais il est retenu par une saillie. Son déplacement s'obtient au moyen d'un levier L, terminé par une fourche F, dont les bouts sont maintenus dans une gorge pratiquée dans le manchon M'. Pour donner le mouvement à O', on fait engrener les dents des plateaux (il y a embrayage); au contraire, quand on les éloigne, on arrête le mouvement (il y a débrayage). On peut voir que le mouvement ne peut avoir lieu que dans un sens.

Dans certaines machines, le débrayage est automatique.

Les débrayages servent dans les transmissions par poulies, pour arrêter ou rétablir le mouvement. La figure 33 en donne le principe. Soient deux poulies B et B', montées sur l'arbre de couche EE; B est fixe, B' folle. Au-dessus est fixé un levier A, porteur d'une fourche K, mobile autour du point O. Les extrémités de A sont munies de deux cordes CC', avec des poignées P et P'. En supposant que la courroie soit sur B, pour la faire passer sur B', on n'a qu'à tirer la poignée P, car les branches de la fourchette poussent la courroie. Pour embrayer il suffit d'agir sur P'.

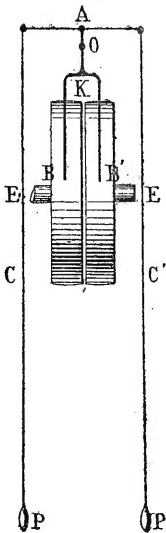


Fig. 33. — Débrayage.

Dans certains appareils, comme celui de Piat (fig. 34), la fourchette est fixée sur une glissière qui se déplace horizontalement.

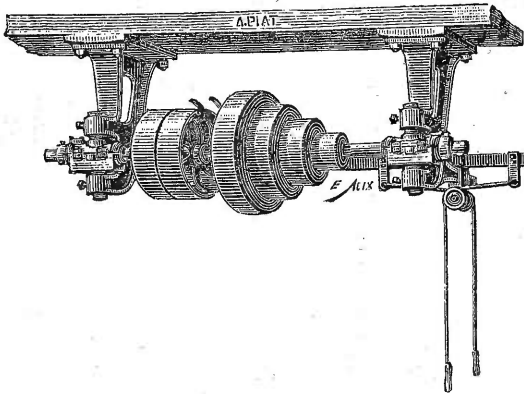


Fig. 34. — Débrayage Piat.

Les encliquetages sont placés sur les arbres de transmission pour leur donner le mouvement dans un sens seulement. Ordinairement ils se composent d'une roue à rochet calée à l'extrémité de l'arbre, et dans les dents duquel vient s'engrener un rochet ou cliquet appuyé par un ressort.

Pour les manèges, on emploie le dispositif Pinet, que nous décrivons plus loin, celui de Duvoyer, etc.

Volants et régulateurs. — Dans un moteur quelconque, il se produit dans la marche, des variations de vitesse de deux sortes. Les premières proviennent du mécanisme lui-même, dont l'arbre moteur présente à chaque rotation deux points morts pendant lesquels l'effort transmis est nul. Pour parer à cet inconvénient on emploie des *volants*.

Les deuxièmes sont dues à des variations de résistance ou de puissance pendant le travail ; on emploie, pour régulariser la marche, des *régulateurs*.

Le volant est une roue en fonte, dont la jante est formée par un anneau épais et très lourd, réuni au moyeu par des bras. Il peut être coulé d'une ou plusieurs pièces. On le cale sur l'une des extrémités de l'arbre de couche et entre deux paliers. Comme son diamètre peut être de plusieurs mètres, on est obligé souvent de creuser un canal maçonné, dans lequel il tourne. Dans les machines à vapeur demi-fixes et locomobiles, le mécanisme est pourvu de *poulies-volants*.

Le but du volant est d'emmagasiner une certaine quantité de travail ou puissance vive ($\frac{MV^2}{2}$), pour le restituer ensuite, au

moment des points morts. Pendant la marche du moteur, la résistance Q est toujours constante, tandis que la puissance P

est variable. Nous avons vu, en effet, que la manivelle et la bielle formaient des angles variant de 0 à 90 degrés. A chaque angle correspond un bras de levier plus ou moins long, entraînant un travail qui croit en raison directe du bras de levier.

Le travail est égal à zéro lorsque la bielle et la manivelle sont en ligne droite; il est maximum lorsqu'elles sont placées suivant un angle de 90 degrés. Pour que la marche soit régulière, il faut que le volant emmagasine pendant l'accroissement de l'angle de 0 à 90°, une quantité de travail suffisante pour la restituer au moment de la décroissance de l'angle de 90° à 0°.

Pour un tour de l'arbre moteur, ou 360°, il y a donc quatre phases, dont deux où la puissance est supérieure à la résistance, et deux dans lesquelles la résistance est supérieure à la puissance.

On détermine, pour chaque machine, le poids des volants d'après la formule suivante :

$$P = \frac{Tgn}{\sqrt{2}}$$

Dans laquelle P indique le poids de la jante, n , l'écart des variations de vitesse; il faut que la plus grande vitesse ne s'écarte pas de la plus petite au-delà de $1/25$. T représente la quantité de travail que le volant doit emmagasiner et restituer à chaque tour; g , l'accélération, ou 9,8088; V, la vitesse moyenne.

Les volants sont surtout utiles pour les machines à vapeur fixes et à grande détente; toutes les machines de nos grandes industries agricoles en sont pourvues.

Les régulateurs de marche sont des organes qui distribuent en plus ou moins grande quantité la force dans les machines réceptrices. Le régulateur à force centrifuge de Watt est le plus employé, ainsi que les systèmes modifiés depuis. Souvent la tige du régulateur actionne un frein qui absorbe le travail et diminue par le frottement la vitesse de rotation.

Joints. — Les joints sont des organes que l'on place entre deux sections d'arbres pour obtenir une transmission coudée. Ils se composent, en principe, de deux fourches, dont les branches sont reliées à un croisillon. Pour que la transmission du mouvement se produise, il faut que les deux arbres ne fassent pas un angle inférieur à 135 degrés.

Le joint le plus employé dans les manèges est celui à la Cardan; on utilise aussi quelquefois le double joint de Hooke.

Transmissions à grandes distances par câbles métalliques. — Elles ont été encore appelées transmissions téléodynamiques ou télodynamiques par M. Hirn, qui en installa une, pour la première fois, dans sa ferme de Logelbach, près Colmar (Alsace). On les emploie pour transporter à une distance de 300 à 1.500 mètres, la force développée par une chute d'eau. Elles servent aussi, dans les fermes industrielles, à commander des transmissions pour instruments d'intérieur (hache-paille, concasseurs, coupe-racines, etc.), placés dans un bâtiment isolé du corps de l'usine.

Des applications nombreuses se sont faites en Normandie pour mettre en mouvement de petites laiteries ; ailleurs, comme à la ferme-école de La Roche (Doubs), et à l'ancienne ferme-école de La Pilette (Sarthe), on trouve des installations très importantes.

La machine réceptrice que l'on établit sur le cours d'eau est une roue hydraulique ou une turbine. Quant à la transmission qui doit la relier à la ferme, elle se monte de la façon suivante :

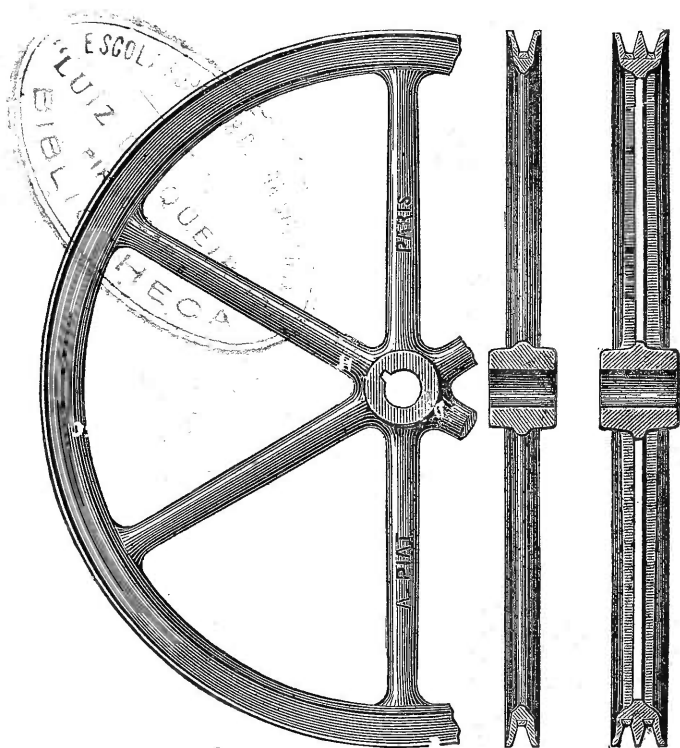


Fig. 35. — Élévation d'une poulie à gorge et coupe d'une poulie simple et d'une poulie à double gorge.

Sur l'arbre de départ et sur l'arbre de réception, on cale deux poulies à gorge (*fig. 35*). Elles sont en fonte, d'un diamètre de 2, 3 à 4 mètres. Le moyeu D porte 5, 6, 7 et 8 bras H, droits ou courbes, avec une gorge simple ou double, pratiquée dans la jante C. (Le dessin à droite représente une poulie à double gorge). Le fond de cette gorge mesure 5 millimètres, 1, 2, 3 à 4 centimètres de diamètre. La Maison Piat, de Paris, qui s'est

fait une spécialité dans ce genre de construction, vend ces poulies à raison de 0 fr. 80, 1 fr. à 1 fr. 30 le kilogr. Le câble s'userait très vite dans cette gorge, si elle n'était garnie de morceaux de cuir placés verticalement les uns à côté des autres, et fortement pressés dans une rainure en queue d'aronde. La distance à laquelle on doit espacer ces deux poulies est très importante. Au minimum, elle doit être de 30 mètres, et jusqu'à 100 mètres deux poulies extrêmes suffisent, pourvu qu'elles soient montées assez haut pour que le câble ne touche le sol et ne gêne les besoins du service. Pour des transmissions de 300, 400, 1.000 et 1.500 mètres, on est obligé d'employer des poulies intermédiaires montées sur des supports espacés tous les 80 à 100 mètres.

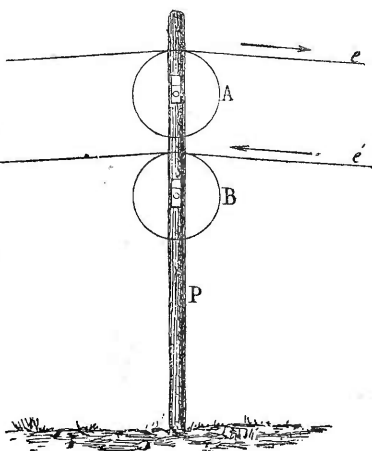


Fig. 36. — Installation de deux poulies sur un poteau en bois.

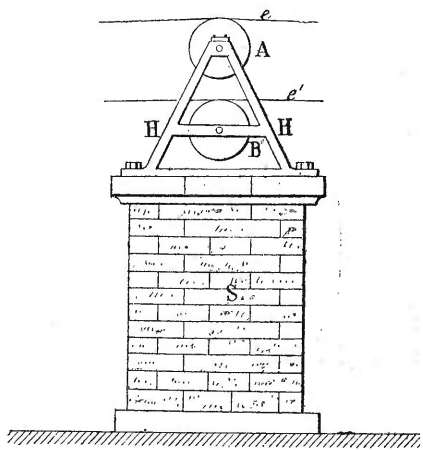


Fig. 37. — Pylône soutenant deux poulies intermédiaires.

Quand la transmission de la traction est faible, on se contente de monter sur un poteau en bois P (fig. 36), deux poulies à gorge A et B, de 0 m. 50 de diamètre. Le brin conducteur ou d'aller e du câble, passe par la poulie A, tandis que le brin conduit ou de retour e' passe sur la poulie B.

Pour les transmissions de grandes forces, on est obligé de faire des massifs en maçonnerie S, ou pylônes (fig. 37), sur lesquels on monte une charpente en fonte HH, boulonnée solidement. Elle soutient les poulies à gorge A et B, où passe le câble ee'.

Dans la figure d'ensemble (fig. 38), on peut voir le pylône entre les deux bâtiments. Lorsque la longueur du câble est trop grande, on le sectionne en plusieurs parties rattachées à des doubles poulies montées sur les pylônes.

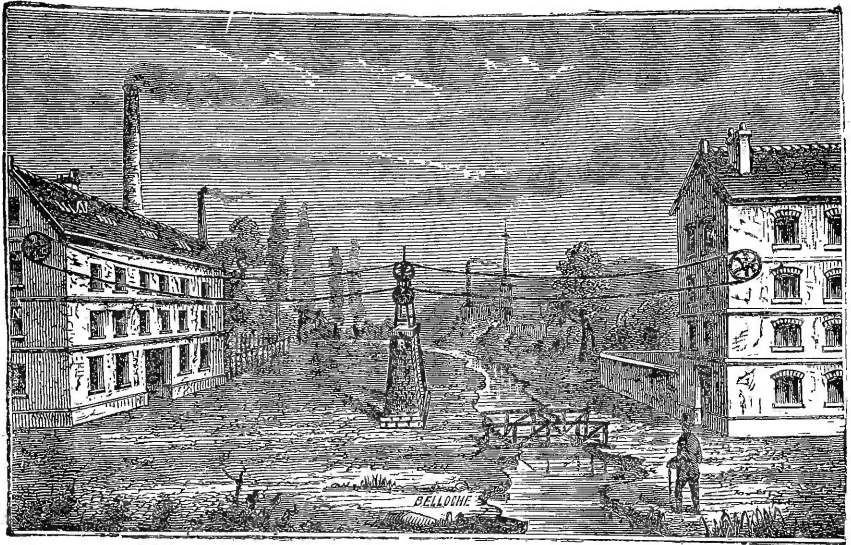


Fig. 38. — Vue d'ensemble d'une transmission téléodynamique (Piat, à Paris)

Le câble employé est métallique, formé de fils de fer ou de fils d'acier fondu, réunis en torons, contournés en hélice autour d'une âme en chanvre ou en fer. Le diamètre d'un câble à 6 torons varie de 5 à 35 millimètres. La Maison Piat livre ces câbles à raison de 0 fr. 30 à 2 fr. par mètre, quand il sont en fil de fer et suivant les diamètres, et à 0 fr. 60 et 4 fr. 50 quand ils sont en acier fondu. Ils sont calculés pour résister à des charges normales variant entre 370 à 72.000 kgr. par millimètre carré, pour des diamètres de câble compris entre 5 et 35 millimètres. Ces chiffres sont le $\frac{1}{4}$ des charges de rupture.

La vitesse de translation du câble est au minimum de 12 mètres par seconde, et au maximum de 30 mètres; les poulies de transmission tournent à raison de 100 à 150 tours par minute.

Pour réunir les deux bouts du câble, on fait des épissures, ou mieux, on emploie une agrafe de jonction, système Piat (*fig. 39*).

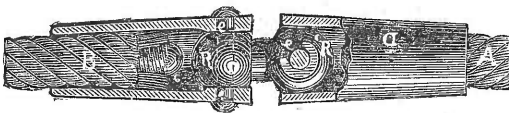


Fig. 39. — Coupe d'une agrafe Piat.

Elle se compose de deux petits tubes en acier tronconiques DD', dans leur plus petite ouverture, on engage les extrémités A et B du câble, puis on fait pénétrer à l'intérieur du bout, une vis à tête fraisée C, qui le grossit et l'empêche de sortir pendant la traction; plus il s'enfonce, plus le serrage est grand. Les deux tubes sont reliés entre-eux par deux rotules RR', et maintenus par des rivets ee' perpendiculaires, permettant néanmoins à l'articulation de plier au passage de la poulie. Le prix d'une agrafe Piat varie entre 7, 10 et 20 fr., suivant le modèle. Pour faciliter l'ajustage, on emploie des presses spéciales vendues au même prix que les agrafes précédentes.

Les soins que nécessite une transmission télodynamique, consistent en des graissages fréquents des coussinets des paliers, et à passer des chiffons gras sur le câble, de façon à empêcher la rouille de le ronger.

Le rendement d'une transmission à longue distance, serait compris, d'après Hervé-Mangon, entre 96 à 97 0/0. On voit que c'est un bon mode de transport de la force. Cependant, il est à remarquer que dans un avenir prochain on remplacera la transmission par câbles, par des machines dynamo-électriques, on ne les conservera que pour les petites distances.

Etude des Moteurs et des Machines motrices employées en Agriculture.

Nous avons vu qu'un moteur est un corps qui renferme en lui-même une certaine quantité d'énergie qu'il peut transformer en travail. La somme totale d'énergie que la nature contient et que nous pouvons utiliser, se transforme en énergie *visible* ou en énergie *potentielle*, mais il n'y a jamais de perte: on dit qu'elle se conserve.

Si nous prenons comme exemple un morceau de houille brûlant sur la grille d'une machine à vapeur, nous voyons qu'il y a dégagement de chaleur, réduisant l'eau en vapeur, laquelle a accumulé de l'énergie lui permettant de mettre en marche le mécanisme, duquel on retire le mouvement. Mais de cette destruction de la houille, il reste de l'acide carbonique qui, à son tour, pourra être décomposé par les feuilles des végétaux qui fixeront le carbone dans leurs tissus, lesquels pourront

à nouveau chauffer la machine à vapeur. Il en est de même de la transformation de l'énergie des aliments par les animaux comme l'ont prouvé les expériences de Hirn sur l'homme.

Les sources d'énergie que l'on peut employer en agriculture comme en industrie, sont :

- | | | |
|--|---|------------------------|
| 1 ^o Energie calorifique dégagée | } | par les aliments ; |
| 2 ^o Par l'eau ; | | par les combustibles ; |
| 3 ^o Par l'air ; | | |
| 4 ^o Par l'électricité. | | |

Le soleil est la source de l'énergie, et tous les mouvements sur la terre sont sous sa dépendance.

Les machines réceptrices ou motrices qui peuvent utiliser les énergies précédentes, sont : *L'homme* et les *animaux domestiques* ; les *machines hydrauliques* ; les *moulins à vent* ; les *machines électriques*.

MACHINES CALORIFIQUES

Principes généraux. — Les machines calorifiques ou thermiques sont celles qui reçoivent du moteur de l'énergie calorifique provenant de la combustion de certains éléments. Parmi ceux-ci, les uns sont appelés *aliments*, les autres *combustibles*. Il y a une grande différence à faire dans ces deux cas, pour le mode d'utilisation de l'énergie.

Chez les animaux utilisant les aliments, l'énergie, avant d'être employée, doit être apportée par le sang artériel aux muscles qui la condensent dans leur masse. C'est alors, par la contraction de ces muscles qui mettent en mouvement des os ou leviers, qu'elle peut être utilisée pour le travail. L'effort qu'un muscle est susceptible de produire n'est pas proportionnel à sa masse ou à son volume, comme il semblerait au premier abord, mais bien à sa plus grande section transversale, comme l'ont démontré les frères Weber.

Pendant le travail, le muscle est excité par un nerf partant du cerveau ; il a donc besoin d'être commandé. Ce travail l'use, certains éléments brûlent, il en résulte une production d'énergie et des résidus comme l'acide carbonique, l'acide lactique, l'acide

urique, l'urée, etc. Ces produits de dénutrition sont éliminés par la peau, les reins et les poumons. Ceci nous montre que le muscle renferme une quantité déterminée d'énergie qui, une fois dépensée, le met dans l'impossibilité de travailler. Il faut que la machine animale s'arrête et consomme des aliments pour récupérer les pertes.

L'énergie calorifique dégagée par la combustion d'un corps tel que la houille, l'antracite, le bois, etc., n'agit pas de la même façon que chez les animaux. Elle commence par séparer les unes des autres les molécules d'un liquide ou d'un gaz, et communique à chacune un mouvement vibratoire très rapide. Ces mouvements, en s'associant, constituent une somme de force susceptible de chasser un piston, lequel met en marche tous les organes du moteur. En définitive, la chaleur détruit la force qui réunit les molécules entre elles et leur transmet un certain mouvement. On doit aussi faire intervenir dans ce travail l'influence de la pesanteur. Ainsi, pour réduire 1 k. d'eau en vapeur, à la pression d'une atmosphère, il faut dépenser 537 calories de chaleur, dont 41 calories servent à la séparation moléculaire, et 496 calories à équilibrer la pression atmosphérique.

La machine réceptrice inanimée varie donc de la machine animale par ce fait qu'elle n'a pas besoin de repos et qu'elle fonctionne constamment, pourvu qu'on l'alimente d'énergie calorifique.

Equivalent mécanique de la chaleur. — On entend par équivalent mécanique de la chaleur, la quantité de travail que peut produire une certaine dépense de chaleur. Si l'on prend pour unité de chaleur la *calorie*, c'est-à-dire la somme de chaleur dépensée pour élever de 1 degré la température de 1 kilogramme d'eau, il résulte des expériences faites par MM. Joule, Favre et Hirn, que cette chaleur peut produire 425 kilogrammètres de travail.

La chaleur dégagée par les différents corps combustibles varie beaucoup. Un kilogramme de carbone pur donne 8080 calories, fournissant un travail mécanique de 3.434.000 kilogrammètres; l'hydrogène donne 34.462 calories, et 14.646.350 kgm.

Comparaison des machines thermiques au point de vue économique et thermique. — L'homme est le meilleur moteur au point de vue du rendement dynamique. Il résulte des expériences de Hirn, qu'un homme soumis à des essais consommait par heure 132 gr. d'oxygène, représentant 689 calories (à raison de 5 cal. 22 par gramme d'oxygène absorbé), équivalant à 292.825 kgm. Il ne produisait en réalité que 33.000 kgm. de travail. Le rendement thermique de l'homme serait donc de 12 0/0. Les machines à vapeur ont un rendement beaucoup moindre qui varie entre 1, 6, 3, 2 à 8 0/0.

Le tableau suivant donnera une idée des rendements thermiques des différents moteurs avec le prix de revient du cheval-vapeur.

Comparaison des Machines thermiques les plus employées

NATURE DU MOTEUR	Dépense de combustible par cheval-vapeur et d'oxygène par jour	Calories dégagées par unité	Calories par dépenses par heure	Kilogram-mètres dépensés par cheval et par heure	Rendement calorifique	Prix du combustible	Prix du combustible par cheval et par heure	DÉPENSES DIVERSES	Prix total de revient du cheval - vapeur par heure
Organisme humain . . .	Comburant: 132 gram. d'oxygène par jour	5 cal. 22	689	292825 par jour	12 0/0	»	»	2 fr. 50 par jour ou 0 fr. 31 c. par heure pour 33.000 kgrm. produits.	2 fr. 60
» Cheval.	Combustible: 8 kg. 05 de carbone par jour.	8080	65044	27643700 par jour	8 0/0	2 fr. 73 par jour	»	(2 fr. 38, total 5 fr. 11 par jour, pour 2.168.000 kgrm. A mortissement du prix d'achat. 0 039	0 fr. 64
Machine à faible puissance.	5 kg. de houille.	8000	40000	170000000	4,6 0/0	35 files 100 k	0,175	Réparations et graissages. 0 044 Chauffeur. 0 030	0 fr. 288
à moyenne puissance	2 kg. 5 —	»	20000	8500000	3,2 0/0	»	0,087	»	0,113
vapeur à grande puissance.	1 kg. —	»	8000	3400000	8 0/0	»	0,035	»	0 fr. 20
Machine à air chaud (machine Ericson avec régénérateur).	2 kg. 5 —	9000	20000	8500000	3,2 0/0	»	0,057	»	»
Moteur Lenoir.	2 m. c. 7 de gaz.	6000	16200	6885000	4 0/0	0f. 50 le mc.	0,81	Piles. 0 015 Amort. 0 024 Répar. 0 046	0 fr. 895
Machine électrique (machine Roux)	2 kg. 2 de zinc.	1280	2816	1196800	22,5 0/0	0f. 70 le kg.	4,54	(Nous ne tenons pas compte du prix des acides et de l'amortissement.)	1 fr. 54

MOTEURS ANIMÉS

Travail de l'Homme

L'homme considéré comme moteur produit un travail considérable en Agriculture, pour les différentes cultures de la ferme ; en industrie il est surtout employé à la conduite et à la surveillance des machines. La disposition de sa charpente osseuse lui permet d'exécuter les mouvements les plus variés.

En agissant avec ses mains, et sans changer de place, l'homme peut tirer ou pousser, soit horizontalement soit verticalement ; assis, il peut pousser avec ses pieds ; marchant, il peut encore pousser ou tirer ; enfin il peut agir par son propre poids sur un treuil. Voici quelques données qui permettront d'apprécier l'homme comme moteur dans ses différents travaux.

Un homme d'un poids de 65 kgr., marchant en pente douce, peut s'élever à une vitesse de 0 m. 15 par seconde, pendant 8 heures par jour, sans fatigue. Le travail produit est de

$$65 \times 0,15 \times 8 \times 3.600 = 208.800 \text{ kgr.}$$

Le même individu, chargé à 65 kgr., et suivant le même chemin, ne pourra s'élever que de 0 m. 04 par seconde, et travailler pendant 6 heures par jour. Son travail est de

$$65 \times 0 \text{ m. } 04 \times 6 \times 3.600 = 56.160 \text{ kgr.}$$

En ajoutant le travail nécessité pour le déplacement de son propre poids, on arrive au chiffre de 112.320 kgr.

Les bateliers, d'après H. Mangon, produisent un effort de traction de 26 k. 15 par seconde, ils marchent à raison de 975 mètres à l'heure, et développent par jour 208.586 kgr.

Lorsque l'homme pousse une brouette devant lui, il dépense pour le roulage 52.000 kgr. qui, ajoutés au travail de déplacement de son corps, constituent une somme totale de 200.000 kgr.

L'homme agit souvent sur un levier. En appuyant sur le levier d'une pompe ou d'un pressoir, un ouvrier peut exercer, d'après Morin, 50 kgr., avec une vitesse de déplacement de 1 m. 10 par seconde, et pendant 8 heures. Le travail total produit est de 158.400 kgr.

Sur une manivelle, un manœuvre effectue un effort moyen de 8 kgr., avec un déplacement de 0 m. 75 par seconde et pendant 8 heures. Le travail fourni s'élève à 172,800 kgr. Un bon ouvrier peut aller jusqu'à 288.000 kgr. en exerçant 10 kgr. de pression et en donnant à la manivelle un déplacement de 1 m. par seconde.

Dans les carrières, on monte souvent les pierres avec une roue à chevilles, sur laquelle se déplace un ouvrier. En supposant une pression de 60 kgr., un déplacement de 0 m. 15 par seconde et le travail durant 8 heures, on arrive à produire 259.200 kgm. par jour. C'est le maximum auquel l'homme peut arriver.

Travail des différents animaux domestiques

Depuis les temps les plus anciens, l'homme s'est servi de certains animaux domestiques comme moteurs. Il utilisa le cheval comme monture pour franchir les distances, puis le bœuf lui donna sa viande et la vache son lait. Puis plus tard, il attela ces animaux à sa charrue et à sa voiture. A mesure que l'agriculture se perfectionna, l'animal prit une part de plus en plus grande aux travaux des champs.

Actuellement, en France, le nombre des animaux utilisés en agriculture comme moteurs, dépasse le chiffre de 3.800.000, dont 2.100.000 pour les chevaux, 200.000 pour les mulets et 1.518.000 pour les bœufs de trait.

Travail du Cheval: — On ne peut employer la force du cheval que de trois manières: 1° comme bête de somme, alors il porte les fardeaux; 2° comme bête de trait, alors il traîne les fardeaux; 3° comme moteur agissant par son poids.

Dans les régions montagneuses il est souvent employé pour porter le bât; on s'en sert aussi, dans les moulins des pays arriérés, pour porter les sacs de blé ou de farine.

Le poids qu'un cheval moyen peut porter en temps normal, est 100 à 150 kilogr., sur une distance de 50 kilomètres par jour. Les chevaux de cavalerie, chargés de l'homme avec armes et bagages, parcourent 40 km. par jour en 7 ou 8 heures. Voici quelques chiffres donnés par Claudel, au sujet d'un cheval chargé (il ne donne pas le poids du fardeau), allant au pas et au trot.

NATURE DU TRAVAIL	Effort exercé par seconde	Vitesse par seconde	Durée du travail journalier	Quantité de travail journalier
Un cheval chargé sur le dos, et allant au pas..	120 kgr.	1 m. 40	40	4752000 kgm.
Un cheval chargé sur le dos, et allant au trot..	80	2 20	7	4435000

La charge maxima à laquelle succombe un cheval est voisine de 600 kilogr., comme semblent le prouver plusieurs expériences et, notamment, celle du duc de Saxe en 1733.

Mais c'est principalement pour la traction qu'est conformé le cheval. Sa large poitrine permet de lui appliquer un collier où l'on accroche les traits qui doivent entraîner la charge.

Le plus grand effort que peut exercer un cheval de trait par seconde, est de 300 à 500 kilogrammes.

La plus grande vitesse que puisse prendre un cheval par seconde, varie entre 14 et 15 mètres ; la vitesse au galop est de 10 mètres ; au trot de 3 m. 50 à 4 mètres ; au grand pas de 2 mètres, et au petit pas de 1 mètre.

En temps ordinaire, dans la traction des instruments agricoles, le cheval marche à une allure qui peut varier entre 0 m. 45, 0 m. 70 et 0 m. 90. Pour déterminer le travail produit par le cheval, deux facteurs sont nécessaires : 1^o la force dépensée par mètre ; 2^o l'espace total parcouru. Si l'on représente le travail total par T, la force par F, l'espace par e, l'équation du travail sera :

$$T = F \times e.$$

Quelquefois, dans les problèmes, on donne la force que développe par seconde le cheval ; la distance qu'il parcourt par seconde et le temps pendant lequel il travaille. Avec ces données il est toujours facile de trouver l'effort F produit par mètre, et l'espace e parcouru pendant un temps t.

Un grand nombre d'auteurs se sont occupés de la recherche du travail journalier que pourrait produire un cheval. Les chiffres qu'ils donnent varient dans une certaine mesure ; en voici quelques-uns :

ACTEURS	Effort par seconde en kilog.	Chemin parcouru total	TEMPS (heures)	Kilogram mètres
D'après Wood. . .	51	32.200 m.	10	1.642.200
D'après Tredgold. . .	56	32.176	8	1.801.856
D'après Dupin. . .	72	26.000	»	1.872.000

Edgeworth a évalué le travail journalier du cheval à 1.800.000 kilogrammètres. Navier admet les chiffres de 1.944.000 kgm. à 2.600.000 kgm.

Les données qui précèdent proviennent d'auteurs des plus autorisés ; cependant, on ne peut fixer, d'une manière absolue, le travail quotidien d'un cheval. Ce travail varie nécessairement, suivant les conditions dans lesquelles l'animal se trouve placé. Nous allons passer en revue les principaux cas où ces variations se produisent et les causes qui influent.

Voici, d'après Claudel, les chiffres qu'il conviendrait

d'adopter pour un cheval moyen travaillant à la voiture ou au manège :

NATURE du TRAVAIL	Effort par seconde en kilog.	Vitesse par seconde en mètres	Travail par seconde en kgm.	Durée du travail journalier	Travail journalier total
Un cheval attelé à une voiture et allant au pas . .	70	0,90	63,	10	2168000
Un cheval attelé à une voiture et allant au trot . .	44	2,20	96,8	4,5	1568160
Un cheval attelé à un manège et allant au pas . .	45	0,90	40,5	8	1166400
Un cheval attelé à un manège et allant au trot . .	30	2,00	60	4,5	972000

M. de Gasparin expérimenta sur un cheval du poids de 320 kgr. Attelé à une charrue, ce cheval donnait un effort de 98 kgr. par seconde, l'allure était de 0 m. 46 par seconde, l'espace parcouru dans une journée de 16.945 mètres. Le travail total s'éleva à 1.616.510 kilogrammètres.

Le poids du cheval a une grande influence sur la quantité de travail journalier qu'il produit, comme le prouvent les expériences de Courtois. Le tableau suivant représente les travaux donnés, par jour, par trois chevaux de poids différents :

POIDS des CHEVAUX	Effort par seconde en kgr.	Espace parcouru par seconde	Durée du travail	Travail journalier
1 ^{er} cheval, 300 kgr. . .	30,58	1 m.	10 h.	1100880 kgm.
2 ^e cheval, 500 kgr. . .	50,60	1	10	1821600
3 ^e cheval, 700 kgr. . .	71,35	1	10	2568600

En consultant les chiffres du précédent tableau, on voit que le cheval de 700 kgr. donne plus du double de travail que le cheval de 300 kgr. Le poids doit donc entrer en considération dans les problèmes de la pratique.

Enfin, le travail du cheval décroît d'une façon considérable à mesure que sa vitesse de course augmente, comme l'a prouvé Fourier. Si l'on admet, dit Fourier, qu'un cheval donne son maximum d'effet utile journalier à la vitesse de 3.200 mètres par heure, ou de 0 m. 90 par seconde, et en représentant son

travail maximum par seconde par 100, celui-ci décroitra, suivant les vitesses, de la façon suivante :

Vitesses par heure	Travail utile journalier
Mètres	Kilogrammètres
2.000.	69
3.200.	100
4.000.	99
6.000.	94
8.000.	83
10.000.	68
12.000.	51
14.000.	33
16.000.	18
18.000.	7

A la vitesse de 18 kilomètres à l'heure, le cheval ne donne presque plus rien comme travail ; toute sa force est utilisée à son propre déplacement.

Travail du mulet. — La statistique agricole de 1882, donne pour la France, le nombre de 250,673 mulets, dont 199,050 adultes.

Le mulet est surtout recherché par les pays méridionaux, à cause de sa sobriété et de sa force. Dans les montagnes, il est employé comme animal de bât, il parcourt des chemins difficiles, où le cheval ne peut aller.

En France, il s'élève principalement dans les Deux-Sèvres, la Vendée, la Vienne, au Sud-Ouest, dans les Landes, la Haute-Garonne, l'Ariège, etc ; dans le Sud-Est, en Savoie, dans les départements de la Drôme, Isère, Vaucluse, etc.

En Espagne, le mulet est pour ainsi dire le seul animal de trait que l'agriculture emploie. Notre colonie de l'Algérie en possède plus de 100,000.

Le mulet est conformé pour porter de lourdes charges sur le dos. Dans certaines régions de l'Espagne, on s'en sert encore pour transporter les voyageurs en cacolet. D'après les expériences faites à ce sujet, il résulterait que la charge pour un mulet peut s'élever à 64 0/0 de son poids.

Lorsque cet animal agit en ligne droite, avec 1^m10 de vitesse par seconde, il peut donner un effort de 40 kilogrammètres pendant 8 heures, ce qui donne un travail journalier de 1,267,200 kgm.

Au manège, il ne donne plus qu'un effort de 30 kilogrammètres, une vitesse de 0 m. 90, un travail de 8 heures et 777,600 kilogrammètres.

Travail de l'âne. — L'âne est encore l'animal des pays chauds comme l'Espagne, le Portugal, l'Italie, la Grèce, l'Égypte, l'Algérie, etc.

En France, on en compte 395,833, dont 347,736 adultes. C'est surtout dans le Sud-Ouest que l'âne est le plus employé. Il rend de très grands services dans la petite culture, où il est employé aux transports de peu d'importance, ou à la mise en

marche des petits manèges actionnant des pompes d'arrosage, coupe-racines, hache-paille, etc.

Le travail qu'un âne peut donner en moyenne, au manège, est le suivant : effort par seconde, 14 kilogrammètres ; vitesse par seconde, 0 m. 80 ; durée du travail, 8 heures ; travail journalier total, 322.560 kilogrammètres.

Travail du bœuf. — Les animaux bovins fournissent à l'agriculture, chaque année, une quantité considérable de travail. Le bœuf est un animal très docile, qui convient surtout à la traction des fardeaux. On le trouve principalement dans les pays de plaines, traînant les charrues et les instruments divers de culture ; dans les campagnes, il sert à faire les charrois. Le bœuf bien dressé, obéit mieux que le cheval à la voix de son conducteur, et la sagesse avec laquelle il exécute les mouvements, le font souvent rechercher. Par sa conformation, il est trapu ; son corps volumineux est supporté par des membres gros et courts, qui rendent sa marche lente. Le pas ordinaire du bœuf sur une route varie entre 0 m. 75 à 0 m. 95 par seconde ; celui de la vache est de 1 m. 15 environ. A la charrue, l'espace parcouru varie de 2.700 à 4.000 mètres à l'heure. Hervé Mangon cite, dans son traité de génie rural, l'exemple d'un attelage de 4 bœufs, attelés à une voiture, ayant franchi un espace de 22 km. 5, en 3 h. 12' 30", soit une vitesse moyenne de 1 m. 948 par seconde, ou 7 km. 020 par heure. Mais c'est là une exception.

A la charrue, la vitesse du bœuf varie entre 0 m. 65 à 0 m. 85. Hervé Mangon cite les chiffres moyens de 2.700 m. à 4.000 m. par heure, et un travail journalier de 1.000.000 à 1.700.000 kgm.

Le bœuf peut aussi s'atteler au manège, il donne un effort de traction supérieur au cheval ; on compte en moyenne 65 kgr., avec une vitesse de 0 m. 60 à la seconde. Son travail durant 8 heures, il produit 1.123.200 kgm. par jour.

En résumé, le bœuf produit beaucoup moins de travail que le cheval ; certains auteurs l'estiment à la moitié.

MACHINES RÉCEPTRICES -- MANÈGES

Les manèges sont des machines réceptrices destinées à utiliser le travail musculaire de nos animaux, pour le transformer en mouvement circulaire continu, directement applicable aux instruments.

Depuis fort longtemps l'homme fait agir l'animal sur un bras de levier fixé à un pivot vertical. On trouve l'origine grossière du manège dans les *Sakiés*, sortes de norias employées dans les pays chauds tels que l'Espagne, l'Égypte, le Sahara, pour le puisement de l'eau.

Aujourd'hui, les manèges sont très répandus dans toutes les fermes. C'est la machine de la petite et moyenne culture, servant à actionner une batteuse, un hache-paille, un coupe-

racines, une pompe, etc. Elle est même utile dans une grande ferme pour suppléer à la machine à vapeur dans certains moments. Mais le manège a surtout sa place marquée dans la petite culture où, à peu de frais, on peut utiliser le travail des animaux dans les chômages. Vient-il un moment de mauvais temps, vite un animal est attelé au manège et, sans aucun dérangement, on emploie utilement son personnel à une foule de petits travaux intérieurs.

On utilise, pour la mise en marche des manèges, principalement le cheval; puis, viennent le bœuf, l'âne et le mulet.

Utilisation de l'effort musculaire dans les manèges.

— L'effort musculaire développé par l'animal s'utilise de deux façons dans les manèges : 1^o par traction ; 2^o par pression.

1^o Mise en marche par traction. — C'est surtout par traction que l'animal utilise son effort musculaire, dans la mise en marche des manèges. Il agit à l'extrémité d'un levier ou flèche L (fig. 40), se déplaçant suivant une circonférence P, appelée piste. Le levier L est fixé à un pivot vertical, portant une roue dentée R, animée d'un mouvement circulaire continu, qu'elle transmet au pignon r ; l'axe de celui-ci porte une roue d'angle R' , commandant un pignon r' , calé sur arbre de couche R'' . À l'extrémité de ce dernier, est une roue dentée R'' laquelle communique le mouvement à l'arbre de couche des appareils. Tel est le principe du manège à traction ou à mouvement circulaire.

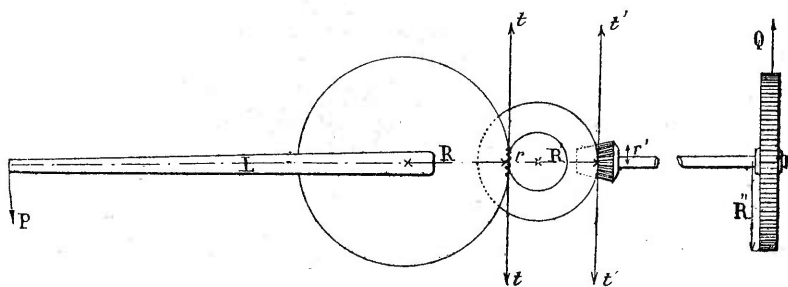


Fig. 40. — Schéma d'un manège vu en plan.

Transmission de l'effort dans un manège à traction.

— **Longueur de la flèche.** — Dans un manège à traction, l'animal tire obliquement sur la flèche, on peut représenter son effort F, par une ligne oblique d'une intensité OF (fig. 41). Cette force peut se décomposer en deux : l'une tangentielle On , perpendiculaire à la flèche; l'autre Om , dirigée suivant le rayon de la piste. L'effort tangentiel On , seul agit pour faire tourner le manège; Om au contraire, tend à faire appuyer l'extrémité de la flèche contre l'axe r . On doit diminuer autant que possible cette force nuisible, en augmentant le rayon du manège.

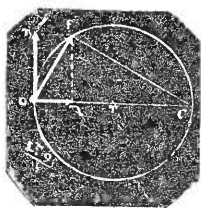


Fig. 41. — Théorie de la transmission de l'effort dans les manèges à traction.

La démonstration suivante l'indique :

Dans le triangle rectangle OFC, $OF^2 = OC \times Om$, ou $OF^2 = 2R \times Om$.

$$OF^2$$

$$D'où Om = \frac{OF^2}{2R}$$

Cette quantité ou force nuisible Om , est d'autant plus grande que $2R$ est plus petit; et réciproquement, elle est d'autant plus petite que $2R$ ou le diamètre de la piste est plus grand.

Cette démonstration nous montre donc que plus on augmente la longueur de la flèche d'attelage, plus l'effort utile est grand. Cependant, en pratique, on est convenu de rester dans certaines limites, pour ne pas accroître dans de trop grandes proportions, la surface occupée par le manège et le nombre des engrenages nécessaires à l'obtention d'une vitesse nécessaire aux instruments. On donne à la flèche des manèges commandés par des chevaux séparés une longueur de 3 à 4 mètres, en moyenne 3 m. 50; à celle des manèges conduits avec des bœufs attelés par paire, 5 à 7 mètres. Une flèche trop petite fatigue l'animal, il est gêné dans sa marche et son travail est diminué.

Effort et travail développés par les différents animaux domestiques attelés au manège. — Influence de la longueur de la flèche sur le travail produit et sur la vitesse des engrenages. — Le tableau suivant indique l'effort et le travail donnés par les différents animaux attelés au manège :

Animal attelé au manège	Effort moyen exercé par seconde	Vitesse par seconde	Travail par seconde	Durée du travail journalier	Quantité de travail journalier
Cheval. . . .	45 kgm.	0 ^m 90	40,5 kgm.	8 h.	1166400 kgm.
Bœuf.	60	0 ^m 60	36	8	1036800
Mulet.	30	0 ^m 90	27	8	777600
Ane.	14	0 ^m 80	11,2	8	322560

Ces chiffres sont nécessairement des moyennes, il peut se faire qu'au départ ou pour une cause quelconque, que l'effort soit doublé, triplé et même quadruplé.

Nous avons vu que l'effet utile est d'autant plus grand que la flèche est plus longue. Au point de vue de l'équilibre, l'influence de la longueur de la flèche est très importante. En

effet, supposons deux flèches, l'une de 3 mètres, l'autre de 4 mètres, correspondant à des pistes de 9 m. 42 pour la première, de 12 m. 56 pour la seconde, et que l'effort moyen exercé par l'animal soit de 45 kilogrammètres. Avec la flèche de 3 mètres, l'animal peut faire équilibre à $45 \times 3 = 135$ kilogr. de résistance; avec la flèche de 4 mètres, il peut équilibrer une résistance de $45 \times 4 = 180$ kilogr. Et si la résistance n'est que de 135 k., l'animal n'aura plus à développer dans le dernier cas que $x \times 4 = 135$; d'où,

$$x = \frac{135}{4} = 33 \text{ k. } 75.$$

C'est pourquoi on dit souvent que les manèges à flèche longue demandent moins de tirage que ceux à flèche courte.

Mais on ne doit pas oublier que la vitesse se trouve diminuée comme le calcul suivant va nous le démontrer. En admettant que l'animal marche à une allure de 0 m. 90 par seconde, il mettra, pour faire un tour de piste, $10'' 44'''$ dans le premier cas, $13'' 95'''$ dans le deuxième. Donc, ce que l'on gagne en force avec une longue flèche, on le perd en vitesse; plus on diminue l'effort produit par seconde, plus on doit multiplier le nombre des engrenages.

Diagramme des pièces d'un manège à traction. — Nous donnons dans la planche figure 42 la composition générale d'un manège du système Simon. Avec les chiffres du tableau ci-contre, le lecteur pourra se reporter aux organes indiqués.

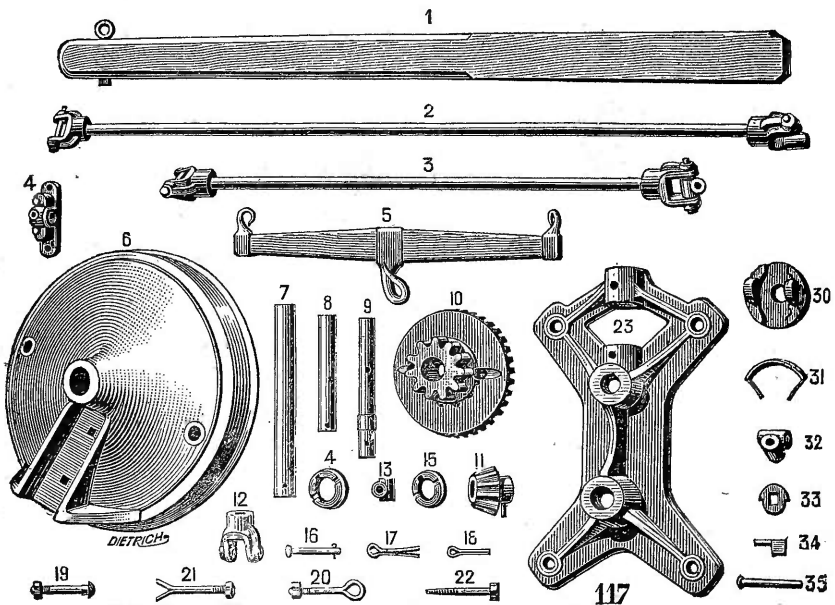


Fig. 42. — Diagramme des pièces d'un manège à traction.

Tableau indiquant les organes d'un manège

Numéros	Désignation des Pièces	Numéros	Désignation des Pièces
1	Bras d'attelage long. 2 ^m 500	13	Boule de jonction.
2	Arbre de transmission de 2 ^m 40 avec ses 2 mouffles	14	Rondelle de la roue à cloche.
2 bis	Arbre de transmission de 2 ^m 80 sans poulie avec un moufle.	15	Rondelle de la roue d'angle.
3	Arbre de transmission de 1 ^m 80 avec ses 2 mouffles	16	Boulon de chappe et sa goupille.
4	Palier pour le long arbre de transmission.	17	Goupille double du grand arbre vertical.
5	Palonnier.	18	Goupille double du petit arbre vertical.
6	Roue à cloche 1 attelle.	19	Boulon d'assemblage du bras d'attelage.
7	Arbre vertical de la roue à cloche.	20	Boulon à œil des bras d'attelage.
8	Arbre vertical de la roue d'angle.	21	Scellement pour fixer le manège sur pierre.
9	Arbre horizontal du pignon d'angle.	22	Vis à bois tête carrée pour fixer le Manège sur bois.
10	Roue d'angle portant pignon droit.	23	Bâti.
11	Pignon d'angle.		
12	Chappe ou moufle.		
PIÈCES ACCESSOIRES			
30	Manchon déclic.	33	Rochet déclic.
31	Ressort.	34	Linguet déclic.
32	Boule de jonction du manchon.	35	Boulon du manchon et sa goupille.

Nécessairement, suivant les différents systèmes de manèges à traction, la forme, le nombre et la disposition des organes varie. On peut cependant considérer comme parties principales : le socle, le bâti, la flèche, les organes de transmission du mouvement (engrenages, arbres de couche, paliers, poulies, etc.); comme parties accessoires : les encliquetages.

Certains détails de construction sont absolument nécessaires à celui qui veut établir un manège, aussi allons-nous passer en revue les organes précédents.

Etude spéciale de chaque Organe d'un Manège à traction

Socle. — Le socle est une pièce de fondation sur laquelle se fixe l'ensemble du manège. Il peut être constitué par une

assise en maçonnerie, lorsque le manège est placé à demeure. Ou il est formé par un bâti en bois rectangulaire ou en croix, comme dans les manèges mi-fixes et locomobiles. Nous verrons ces cas d'installation lorsque nous étudierons les types de manèges.

Bâti. — Le bâti est une pièce de liaison réunissant entre eux tous les organes d'un manège. Il doit être d'une seule partie, afin de les rendre solidaires les uns aux autres, sans cela il se produit des dislocations très nuisibles au fonctionnement du mécanisme. Il faut donc rejeter, en pratique, tout manège dont le bâti serait sectionné en plusieurs parties.

On construit des bâtis de différentes manières. Les uns sont formés par une plaque de fonte portant des axes verticaux où se placent les engrenages (type Albaret); chez d'autres la plaque est munie de montants réunis par un archet en fonte (manèges à cloches). Quelquefois c'est une boîte en fonte (manèges Millot).

Dans les manèges en l'air, le bâti est caractérisé par une partie élevée de 2 mètres environ, constituée soit par un pilier en bois (type Texier), soit par une colonne de fonte creuse à l'intérieur (type Pinet).

Le bâti se fixe sur le socle par un simple boulonnage; dans les installations fixes, on noie dans la maçonnerie des tiges de fer filetées à l'extrémité, n° 21, (fig. 42).

Flèche ou barre d'attelage. — La flèche porte encore les noms de barre d'attelage ou de bras du manège; elle peut être considérée comme un levier à l'extrémité duquel agit une force représentée ici par l'animal. Elle a un point fixe sur l'axe du manège, et un point mobile décrivant une circonférence (voir fig. 41). Il est facile de comprendre que c'est au point mobile que l'effort de traction F est transformé par un déplacement e , en travail circulaire continu $T = F \times e$.

La flèche, comme nous l'appellerons désormais, se construit en bois ou en métal.

En bois, elle affecte ordinairement la forme d'une pièce à section rectangulaire (fig. 42), plus étroite à l'extrémité où se fixe le crochet d'attelage, afin de lui donner une certaine élasticité pour éviter les à-coups et les chocs lors de la mise en marche.

Une très bonne disposition, employée par la Maison Albaret, consiste à faire la flèche en deux parties DD' (fig. 43), plus étroites au point où se fixe le crochet d'attelage A , afin de donner de l'élasticité et rendre la mise en marche plus douce. Les deux pièces sont maintenues dans un boitard C , calé sur l'axe de rotation B .

La flèche métallique se fait plus spécialement pour les manèges installés à poste fixe. Elle est ordinairement formée d'une tige de fer à section ronde ou carrée EE' (fig. 44). L'extrémité E' porte une arcade C , munie de chaînes d'attelage \bar{a} ; l'extrémité E se fixe dans un œillard B d'un boitard M , claveté sur l'axe A . Suivant la taille de l'animal, on peut hausser ou descendre le boitard, en déplaçant la clavette f .

Certains constructeurs font aussi la flèche métallique avec un fer en U, AA' (fig. 45), munie d'une arcade R. On rencontre ce dispositif dans le cas de manèges commandant des pompes.

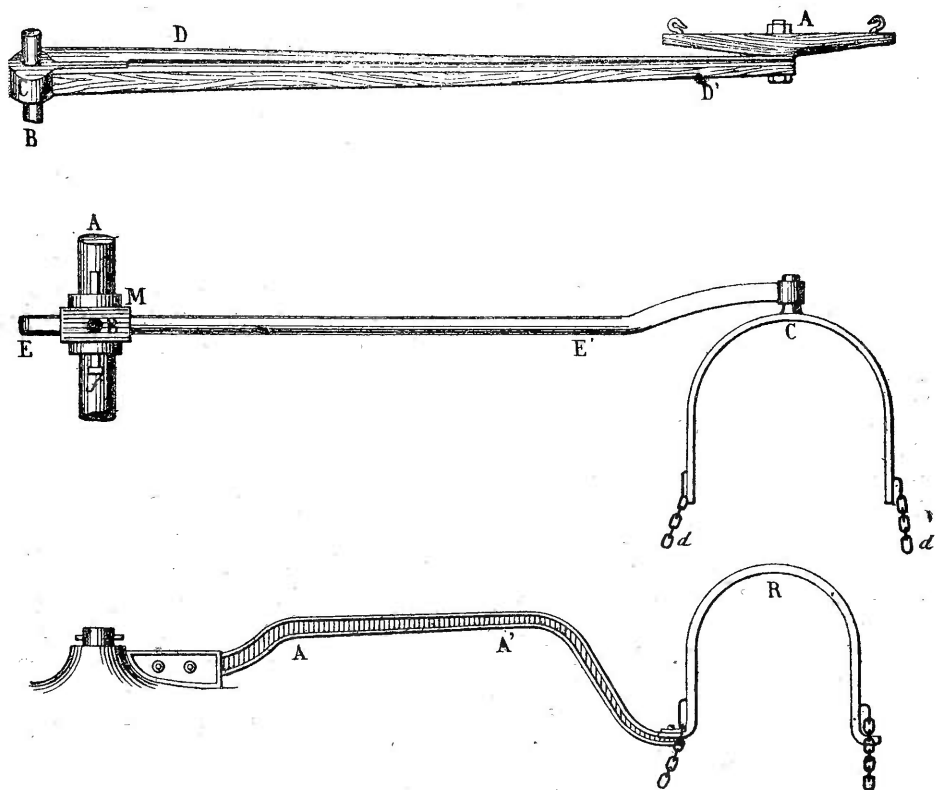


Fig. 43. — Flèche en trousse, système Albaret.

Fig. 44. — Flèche métallique pour installation fixe.

Fig. 45. — Flèche en fer en U pour manège commandant une pompe.

Mode de fixation de la flèche. — Boitards. — La flèche se fixe à l'axe de rotation par des *boitards*, des *étriers*, ou par des *ceillards*. Voici les dispositions les plus communes :

La figure 46 représente en A un boitard creux, porté à l'extrémité de l'axe H ; dans l'intérieur passe le bout de la flèche F (Pécard).

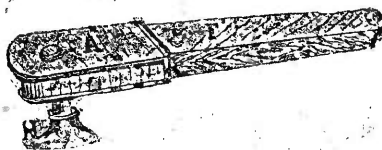


Fig. 46. — Boitard Pérard.

Dans le système Pinet (*fig. 47*), la roue de commande R porte quatre saillies CC' entre lesquelles on fixe la flèche F par des boulons *a* et *b*.

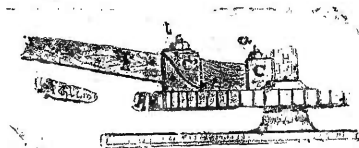


Fig. 47. — Boitards Pinet.

Les boitards du manège Simon sont évidés et font corps avec une cloche dentée (*fig. 51*).

Dans les manèges des treuils de défoncement, les flèches sont souvent fixées dans des œillards portés par un manchon (*fig. 47*), ou par des étriers boulonnés à un plateau.

Donc, en résumé, les flèches d'attelage sont calées soit sur l'axe du manège, soit sur une roue d'engrenage tournant autour d'un axe fixe.

Organes de transmission d'un manège. — Pour que le manège transmette aux machines l'effort musculaire que l'animal déploie sur sa flèche, il faut qu'il possède des roues d'engrenage, des arbres de transmission et des poulies.

1^o Engrenages. — Les engrenages multiplient la vitesse de rotation de l'axe des flèches. La première roue dentée ou de commande est constituée par une couronne calée sur un arbre vertical où elle tourne librement autour de celui-ci. Sa denture est droite, conique ou hélicoïdale. Elle commande un ou plusieurs pignons avec des roues dentées reliées à l'arbre de couche. On compte, dans les différents manèges connus actuellement, une, deux et trois paires d'engrenages.

Le premier cas se rencontre dans les manèges à cloche ayant un engrenage conique (Simon, Pécard), ou dans les manèges ayant une couronne à denture hélicoïdale, commandant une vis sans fin (Millot, de Gray). La vitesse que l'on obtient à l'arbre

de couche varie entre 10, 12, 16 à 18 tours par tour de piste. Les manèges à deux paires d'engrenages sont les plus communs, ils peuvent donner à l'arbre de couche une vitesse variant entre 22, 24 à 60 tours par tour de piste quand ils sont à commande à terre (Millot, Albaret, Simon, etc.), ou de 120 à 125 tours, quand ils sont à commande en l'air (Pinet et Gautereau).

Les manèges à trois paires d'engrenages sont plus rares, on ne les trouve que chez ceux où la transmission se fait en l'air, leur vitesse n'est pas supérieure à celle des précédents (maître Gérard).

Application. — On peut avoir à résoudre le problème suivant: *Quelle sera la vitesse de rotation par tour de piste et par seconde de l'arbre de couche d'un manège à 2 paires d'engrenages, ayant une piste de 3 m. 50 de rayon, une couronne de commande A, de 0 m. 70 de diamètre; un pignon a, de 0 m. 07 de diamètre, une roue conique B, de 0 m. 25 de diamètre, un pignon b de 0 m. 05 de diamètre, sachant que l'animal marche à une allure de 0 m. 70 par seconde.*

$$N = \frac{A \times B}{a \times b} = \frac{0\text{m. } 70 \times 0\text{m. } 25}{0\text{m. } 07 \times 0\text{m. } 05} = 50 \text{ tours par tour de piste.}$$

Circonférence de la piste :

$$2\pi R = 2 \times 3,50 = 21 \text{ m. } 99.$$

Temps nécessaire à parcourir la piste :

$$\frac{21,99}{0,70} = 31 \text{ secondes } 41 \text{ tierces.}$$

Nombre de tours de l'arbre de couche par seconde :

$$\frac{50}{31,41} = 1 \text{ tour } 59 \text{ par seconde.}$$

Les roues d'engrenages se construisaient autrefois en bois, avec des dents appelées *alluchons*, elles commandaient des pignons à lanterne. On trouve encore quelques-uns de ces exemples dans les manèges en l'air. Les alluchons se font en bois durs tels que ceux de charme, de cornier et d'alisier.

Dans les manèges actuels, les roues d'engrenages sont en fonte, construites pour résister à de grands efforts. La couronne de commande doit posséder un diamètre égal au 1/5 ou au 1/6 de celui de la piste. On la fait aussi très souvent en plusieurs morceaux boulonnés ensemble; si l'un d'eux vient à casser, on le remplace sans toucher au reste de la roue.

2° Arbres de transmission. — La transmission du mouvement du manège aux machines se fait soit par *arbre de couche*, soit par *courroie*.

Dans le premier cas, les arbres se font en fer, disposés à terre ou en l'air. La figure 48 donne une disposition à terre. En A et B sont deux arbres; B est supporté de distance en distance par des paliers P fixés à des madriers en bois H. Il faut presque toujours munir cette transmission de joints afin de lui faire prendre certaines inclinaisons. Le joint à la Cardan

est le plus employé. Soient deux arbres A et B que l'on veut réunir; sur ceux-ci on place deux fourches perpendiculaires C et C', réunies par un croisillon D, dont les extrémités *e e' g g'* sont mobiles, de sorte que l'arbre A peut former, avec l'arbre B, un angle L ne devant jamais être inférieur à 60°.

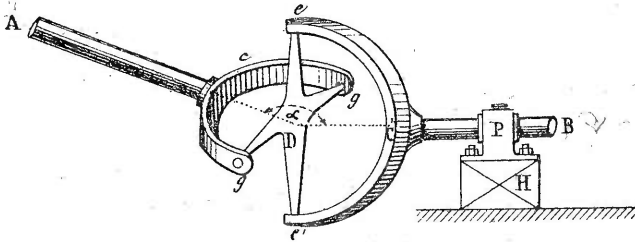


Fig. 48. — Joint à la Cardan.

La Maison Albaret adopte un joint plus simple (*fig. 49*); les extrémités des arbres A et B se terminent par des anneaux. L'un des anneaux se fixe par un manchon *m* à l'arbre A.



Fig. 49. — Joint Albaret.

Dans certains manèges américains, on trouve des joints à rotule.

Quand la commande se fait par courroie elle est toujours en l'air et passe environ à 2 mètres au-dessus de la piste. Plusieurs dispositions se rencontrent. Dans la première (*fig. 80*), la courroie passe sur une poulie horizontale terminant l'axe tournant à l'intérieur d'une colonne en fonte verticale. (Pinet et Gautereau). La commande peut prendre toutes les directions. Dans la deuxième disposition, la poulie de commande est verticale (*fig. 81*), par suite de l'adjonction d'un engrenage d'angle. La commande ne peut se faire que dans une direction, sauf dans le cas où l'extrémité de la colonne porte un manchon à orientation, comme dans les manèges en l'air de Fortin, Pinet, Gautereau, etc.

3° Poulies et courroies. — Les poulies ont pour but de transmettre par courroie le mouvement circulaire de l'arbre de couche du manège, ou d'un arbre intermédiaire aux différents

instruments d'intérieur (coupe-racines, concasseur, hache-paille, etc.) Elles permettent, en outre, d'augmenter ou de diminuer la vitesse de rotation, en modifiant leur diamètre.

Ordinairement elles sont en fonte, à jante polie et légèrement bombée ; on en accouple souvent deux ensemble, l'une est folle et tourne librement autour de l'arbre de couche, l'autre est fixe et donne le mouvement. On emploie aussi des poulies à gorge dans le cas de transmission par câble en chanvre ou en fil d'acier. Dans les installations agricoles de peu d'importance, on peut construire les poulies en bois dur ; pour les poulies à gorge on garnira la périphérie d'une bande de cuir, afin d'éviter une usure trop rapide par le câble.

Dans toute installation, avant de placer l'arbre de transmission, il faut calculer le diamètre des poulies devant commander les appareils. Pour cela, il faut connaître les données suivantes : 1° la vitesse de rotation de l'arbre de couche ; 2° la vitesse à laquelle doit tourner l'appareil à commander ; 3° le diamètre de la poulie de ce dernier.

Avec la formule $\frac{D}{D'} = \frac{N}{N'}$, on tire : $D' = \frac{D \times N'}{N}$.

Soit un arbre de couche tournant à 60 tours par minute, un concasseur à cylindre marchant à 90 tours, avec une poulie de 0 m. 37 de diamètre, on demande le diamètre de la poulie qu'il faudra caler sur l'arbre de couche ?

En appliquant la formule précédente, on a :

$$D' = \frac{0,37 \times 90}{60} = 0 \text{ m. } 55.$$

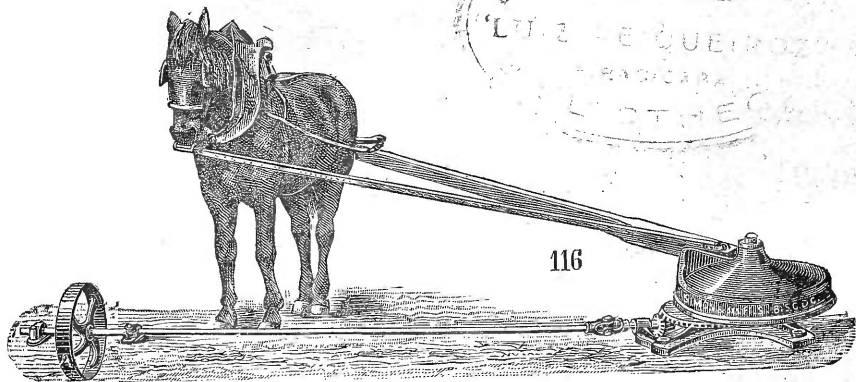


Fig. 50. — Transmission à terre (Simon, de Cherbourg).

Voici les principales dispositions adoptées : la première est celle dans laquelle l'arbre de couche est à terre, comme le représente un manège Simon (fig. 50). De distance en distance,

on cale sur l'arbre A des poulies B (fig. 51), tournant dans une niche M, et reliée par une courroie *ee* à un appareil.

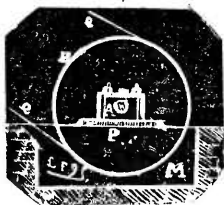


Fig. 51. — Disposition d'une transmission à terre.

Les transmissions à terre sont souvent encombrantes et même dangereuses, aussi leur préfère-t-on, dans la plupart des cas, les transmissions élevées au-dessus de terre.

Si on a un manège avec arbre à terre, et qu'on veuille avoir une commande en l'air, on peut employer la disposition représentée par la figure 52. L'arbre de couche A du manège se termine dans une niche K; il porte une roue dentée *r*, qui engrène avec un pignon *r'*, calé sur l'arbre intermédiaire B. Sur celui-ci, est montée une poulie

à gorge R, de 0 m. 60 de diamètre environ, et reliée par câble en fil d'acier *dd'* à une autre poulie à gorge R', calée à l'extrémité de l'arbre de transmission C. Celui-ci est supporté par une chaise S, et les poulies M sont montées de distance en distance pour être reliées par des courroies *ee* aux appareils. Les engrenages intermédiaires de la niche K permettent d'obtenir facilement une vitesse de 120 tours à l'arbre C. Cette disposition

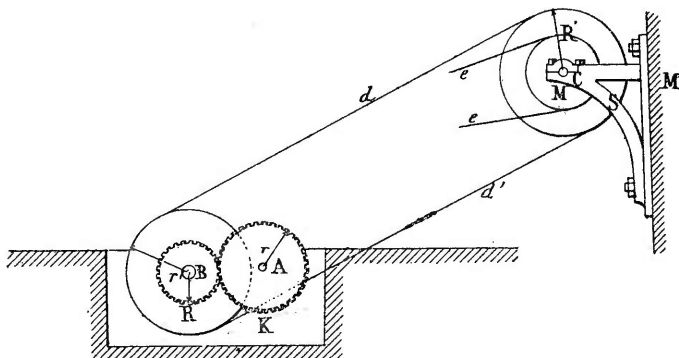


Fig. 52. — Installation d'une commande par câble

permet en outre de commander des machines à différents étages, ainsi un laveur de racines, un coupe-racines, un concasseur, seront placés au rez-de-chaussée; tandis qu'une batteuse, un tarare, un hache-paille, seront installés dans le grenier. Du reste, ce sont les besoins du service qui doivent guider le propriétaire dans l'établissement des transmissions.

Lorsqu'on emploie un manège en l'air fixe comme celui de M. Gautereau (fig. 75), l'arbre de couche se continue jusqu'à la salle des instruments, et il porte des poulies de commande.

Cette installation, comme on le voit, donne une commande élevée et peu coûteuse.

Les commandes en l'air se font rarement avec des manèges en l'air et à courroie.

Emploi des Intermédiaires pour supprimer les arbres de transmission. — Dans certains cas, il est avantageux de supprimer les arbres de transmission pour les remplacer par des intermédiaires. Ces machines se placent à l'extrémité de l'arbre de couche du manège, elles sont destinées à multiplier la vitesse de rotation et à commander plusieurs instruments en même temps.

En principe, un intermédiaire consiste en un bâti en fonte (*fig. 53*), formé de deux montants HH, reliés par des entretoises e; le tout est fixé sur des pierres d'assise P et P'. Il porte une

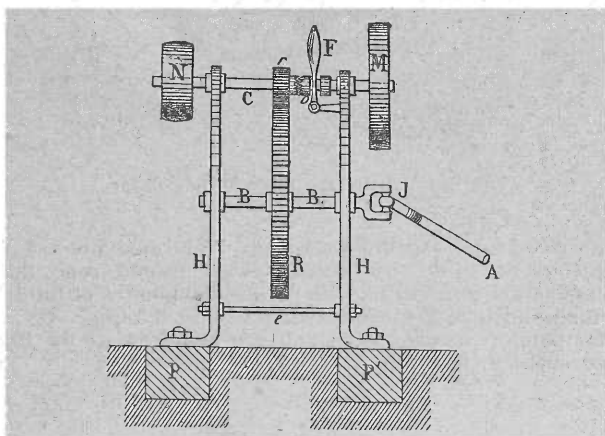


Fig. 53. — Principe de l'intermédiaire.

paire d'engrenages Rr; la roue dentée R est calée sur un axe B, terminé à un bout par un joint à la Cardan J, relié à l'arbre du manège A. Le pignon r est fou autour de l'arbre C, mais avec un embrayage à mâchoires O, muni d'une poignée F, on peut le rendre solidaire et lui communiquer, ainsi qu'à l'arbre, un mouvement de rotation. On peut passer deux courroies sur les poulies MN et les relier à deux instruments.

Les formes sont excessivement variables. Celle de la Maison Mot (Paris) est représentée par la figure 54. Le bâti surmonte un canal maçonné où se loge la grande roue dentée commandée par l'arbre de couche du manège. Sur l'axe des poulies se trouve un débrayage automatique permettant au manège de s'arrêter brusquement, sans gêner les animaux les instruments, continuant à tourner après l'arrêt. Cet intermédiaire, avec ses poulies, coûte environ 120 fr.

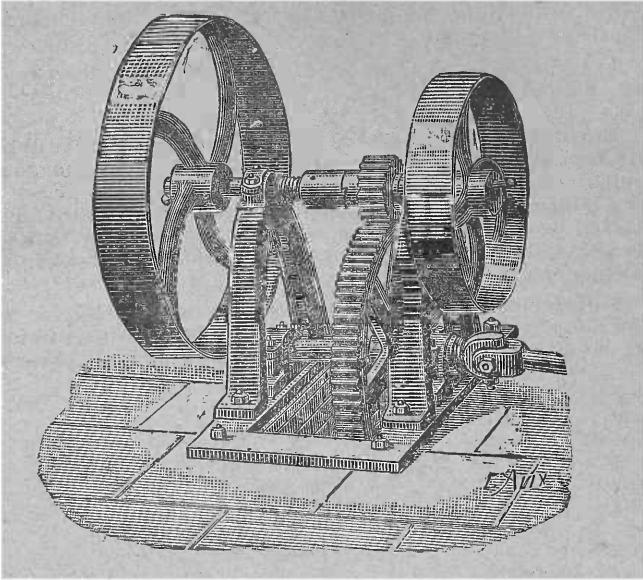


Fig. 54. — Intermédiaire Mot (Paris).

Dans le système Simon (Cherbourg), l'intermédiaire est placé complètement au-dessus du sol. Une grande roue dentée commande par un petit pignon l'arbre des poulies et lui donne une multiplication de vitesse égale à 3, 4 ou 5,5 (fig. 55).

Sans poulie, il coûte 80 fr. ; chaque poulie coûte de 10 à 20 fr., suivant leur diamètre.

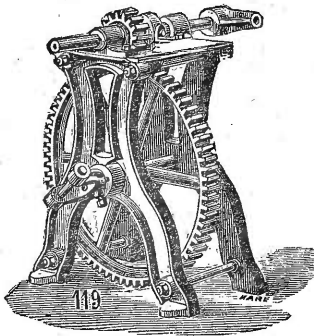


Fig. 55. — Intermédiaire Simon.

L'intermédiaire à orientation de Lanz ne se construit plus aujourd'hui.

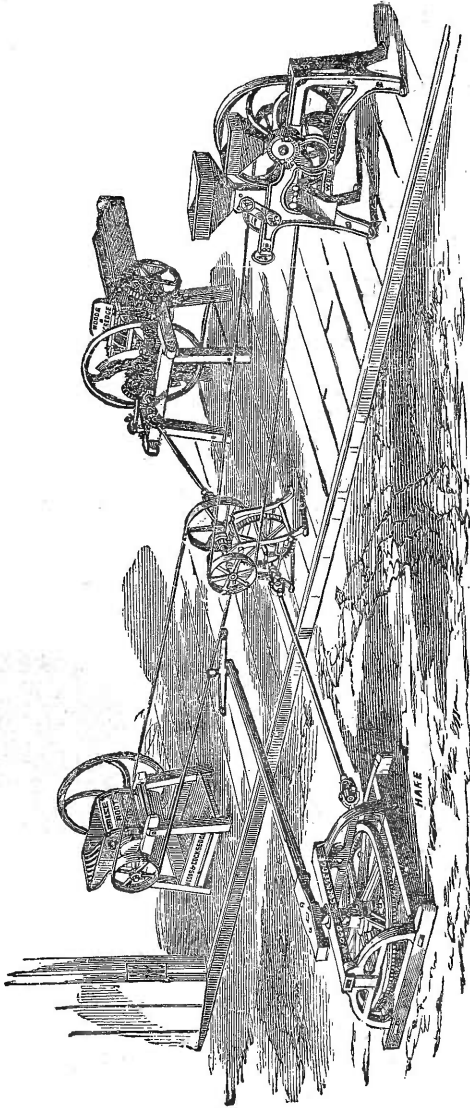


Fig. 56. — Vue d'ensemble d'une installation Pilter, par intermédiaire commandant trois appareils.

La figure 56 donne une idée de l'ensemble d'une disposition d'appareils placés dans une chambre de préparation d'aliments établie par la Maison Pilter (Paris). Sur le prolongement de l'arbre du manège, marchant à une vitesse de 30 tours par minute, se trouve un intermédiaire qui commande un hache-

paille par un arbre de prolongement (au milieu de la figure), et de chaque côté un coupe-racines (à gauche) et un aplatisseur (à droite), par des poulies. L'arbre intermédiaire tourne à 105 tours par minute.

Le grand avantage de cet intermédiaire est de réduire beaucoup la longueur des transmissions et de grouper, dans un espace restreint, plusieurs appareils. Une large ouverture fait communiquer le local du manège avec la salle des appareils, afin de surveiller la mise en marche.

Le prix de cet intermédiaire oscille entre 120 à 140 fr.

Manèges à orientation. — Le manège à orientation peut aussi supprimer les arbres de transmission quand les appareils à commander sont rangés dans une même salle. La figure 57 représente un manège de ce genre construit par M. Simon, de Cherbourg.

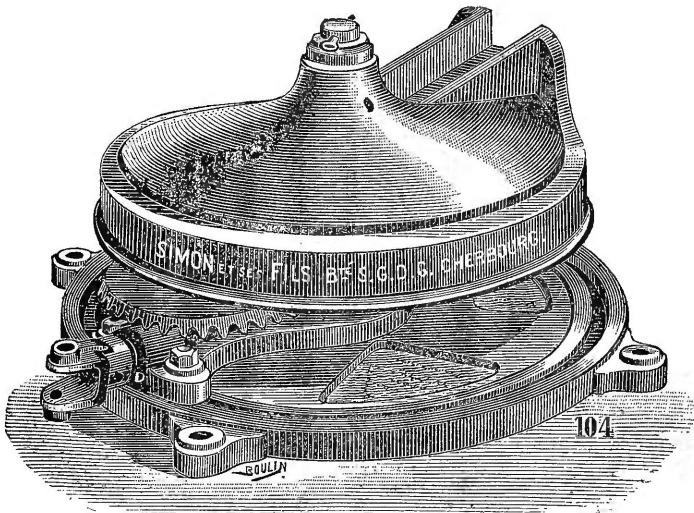


Fig. 57. — Manège à orientation de M. Simon.

Le manège repose sur une semelle en fonte circulaire S, boulonnée à un massif en maçonnerie, elle porte un arbre vertical fixe, autour duquel tourne une cloche M, dentée intérieurement. Sa périphérie est munie d'une rainure circulaire C, dans laquelle coulisse la partie antérieure d'une pièce en fonte D, portant les engrenages intermédiaires et l'extrémité de l'arbre de couche. On comprend qu'on peut faire décrire une circonférence complète à la commande et lui faire prendre toutes les positions. Si donc on dispose des appareils en demi-cercle, tels qu'un hache-paille, un concasseur, un coupe-racines, etc., on peut, avec la même transmission dans le genre de celle qui est représentée par la figure 58, commander alternativement les appareils en question.

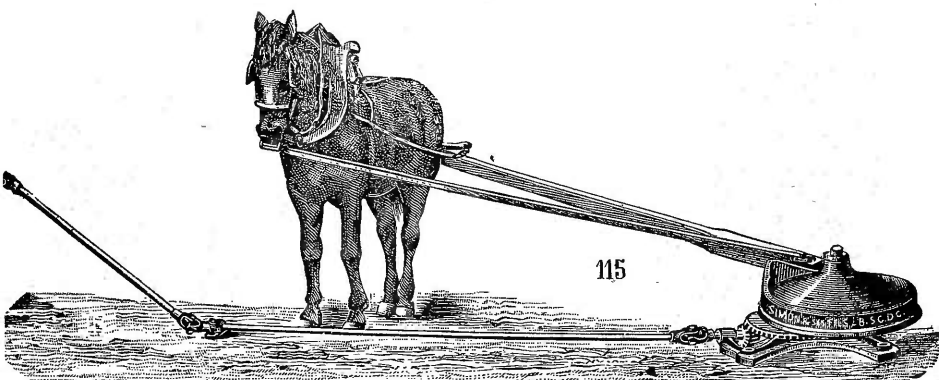


Fig. 58. — Transmission Simon

Accessoires des Transmissions.

Encliquetages. — Les encliquetages sont des appareils que l'on place sur le mécanisme des manèges ou sur les arbres de transmission, pour permettre aux animaux de s'arrêter brusquement sans leur occasionner des chocs sur les jarrets. Ils permettent en outre les mouvements de recul ; dans ce cas il y a débrayage.

Aujourd'hui les encliquetages que l'on emploie sont tous formés par des roues à rochet ; quant à leur forme elle est très variable. Voici le système Simon (fig. 59) : L'arbre de transmission A se termine par un rochet D, autour de cet arbre est placé un manchon portant un plateau en fonte PP, muni d'une fourche HH', dans laquelle passent deux bras d'un croisillon dont les autres sont réunis à l'arbre de prolongement. Un linguet ou cliquet C, échancré au milieu, vient s'engager dans le cran b du rochet, lorsqu'il est placé dans la position 1, ou dans le cran a, lorsqu'il occupe la position 2. Ce cliquet est maintenu par un ressort R, fixé au plateau PP. Cette disposition permet de faire tourner le manège à droite ou à gauche en changeant le cliquet.

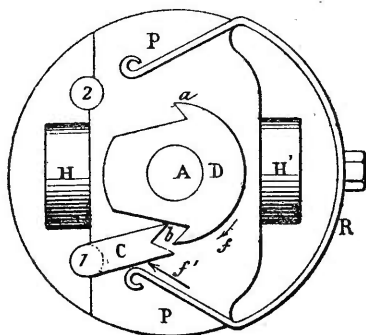


Fig. 59. — Encliquetage Simon.

Le mouvement de transmission se fait de la façon suivante : Quand l'arbre A tourne dans le sens de la flèche f , le rochet D vient pousser la pointe b du cliquet C et l'entraîne ; en même temps il met en mouvement le plateau PP et l'arbre de prolongement. Si l'arbre A vient à s'arrêter, le plateau continue à tourner mais le cliquet est repoussé par le rochet D. Il reprend sa position après l'arrêt, par suite de la pression f' qu'exerce le ressort R.

Pour les manèges en l'air, à commande par courroie, on emploie différents encliquetages dont le type est celui de la Maison Pinet. Dans le manège ordinaire, la poulie de commande P est horizontale, à joues (fig. 60) ; elle tourne librement à la partie supérieure d'un arbre vertical A, et au-dessous d'un

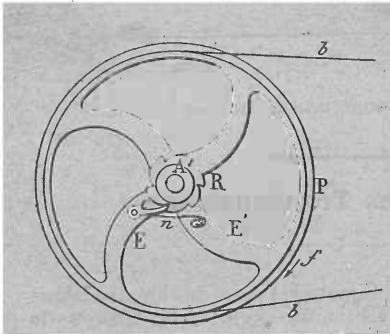


Fig. 60. — Encliquetage Pinet pour commande en l'air.

rochet claveté R. L'un des bras E de la poulie, porte un cliquet C, maintenu dans un cran du rochet, par un ressort n , fixé sur un autre bras E'. La transmission se fait par une courroie bb . Quand l'arbre A tourne dans le sens indiqué par la flèche f , le rochet R entraîne la poulie P ; s'il marche en sens contraire, il y a débrayage, parce que le cliquet C passe d'un cran à un autre. Cette disposition permet aux chevaux de s'arrêter brusquement sans qu'ils

soient incommodés par les flèches d'attelage. Dans certains encliquetages de ce genre on trouve deux cliquets.

Amortisseurs. — Depuis quelques années certains constructeurs adaptent à leurs manèges des amortisseurs, ainsi appelés parce qu'ils préviennent les départs brusques pouvant occasionner des chocs violents dans les engrenages. Le système de M. Savary se compose d'une lame de ressort placée au départ de l'arbre de couche. Son prix est de 30 fr.

Classification des manèges à traction. — On a classé les manèges à traction, ou manèges à piste circulaire, de bien des manières. Nous ferons dans ceux-ci deux grandes catégories qui sont : 1^o Les manèges à terre, dont l'arbre de transmission se trouve au niveau de la piste ; 2^o Les manèges en l'air, dont l'arbre de transmission passe au-dessus de la piste. Dans ces deux catégories, on trouve trois genres de manèges, savoir : 1^o des manèges fixes ; 2^o des manèges mi-fixes ; 3^o des manèges locomobiles. Nous réunissons cette classification dans un tableau synoptique :

Manèges	{	A Manèges à terre.	a. fixes.
à			b. mi-fixes.
traction		B Manèges en l'air.	c. locomobiles.
			a. fixes.
			b. mi-fixes.
			c. locomobiles.

Nous décrivons les principaux types de manèges appartenant à ces différents groupes.

A. — Manèges à Terre

a. — **Fixes.** — Nous prendrons comme type de manège à terre et fixe le manège Albaret (*fig, 61*). Son bâti se compose d'une semelle en fonte D, à trois bras; le centre porte une crapaudine où est logée une lentille en acier. Sur la semelle repose une arcade à trois bras CCC, arqués à l'extrémité et boulonnés sur des sommiers en maçonnerie avec la semeille. Dans la crapaudine le pivot d'un arbre vertical A repose sur la lentille; il porte: 1° une couronne dentée R, située entre la couronne et la semelle; 2° à la partie supérieure une tête en fonte munie de 3 ou 4 boitards dans lesquels on fixe les flèches d'attelage TTT. La couronne est guidée dans son mouvement

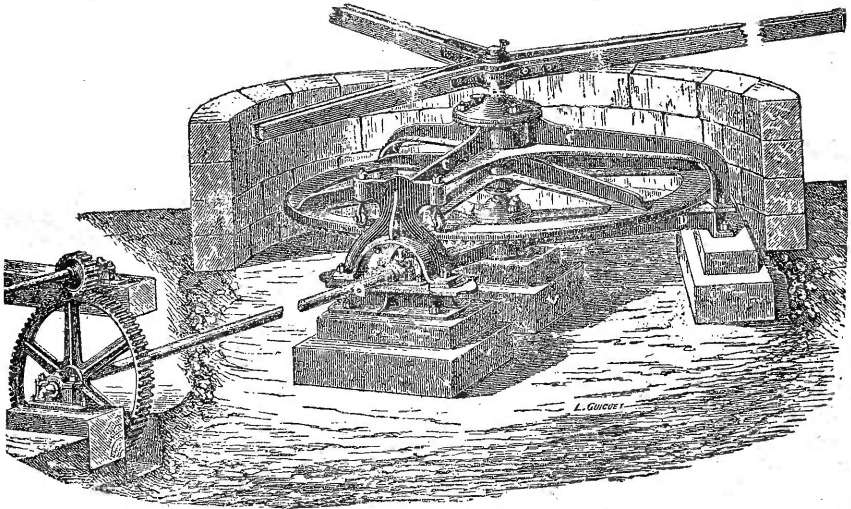


Fig. 61. — Manège à terre, fixe, de Albaret.

circulaire par deux galets portés par une arcade H, et roulant sur la partie périphérique de la jante. Ils empêchent son soulèvement au moment des efforts violents, se produisant surtout aux départs.

La transmission se fait au moyen d'un pignon conique *r*, placé à l'extrémité d'un arbre horizontal *O*, passant sous la piste dans un petit canal souterrain et se terminant dans le local où sont les instruments à commander. Au moyen de roues dentées ou de poulies, on donne la vitesse nécessaire.

Le mécanisme du manège est logé dans un espace un peu en contre-bas du sol, et entouré par un mur en briques ou en maçonnerie *MM*; pour l'abriter de la poussière on peut le recouvrir d'un léger plancher.

Le manège Albaret est excellent à cause de son bon agencement, de sa grande résistance et de la grande vitesse que possède son arbre de transmission (90 tours environ par minute). Il se construit de la force de 2 ou 3 chevaux; son poids varie entre 600 à 900 kilogr.

Les manèges fixes ne sont recommandables que pour les installations où un travail régulier est nécessaire. Comme exemples, nous signalerons les fermes possédant une petite industrie, telles que laiterie, beurrerie, fromagerie, etc., ou lorsqu'un coupe-racines, un hache-paille, un concasseur, une batteuse, sont bien groupés et peuvent être commandés par un arbre de transmission principal. Dans les jardins on installe souvent un manège à demeure pour commander une pompe.

b. — Mi-fixes. — Dans ces manèges la fondation ou sommier ABC (*fig. 62*), sur laquelle se fixe la plaque d'assise DD, portant le mécanisme, peut se déplacer. Cette disposition permet le transport d'un lieu à un autre sans qu'il soit besoin d'établir une maçonnerie pour le posage.

La fondation s'établit avec des madriers en bois ABC, formant une charpente disposée en T, en croix ou en cadre rectangulaire. Pour fixer le manège sur un emplacement quelconque, on encastre la charpente dans le sol, ou simplement on la pose à terre, comme l'indique la figure 62, puis on la maintient solidement au moyen de piquets en fer *eee*.

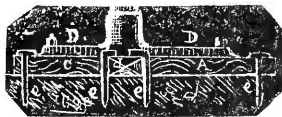


Fig. 62. — Mode de fixation à terre d'un manège mi-fixe

La forme des manèges à terre mi-fixes est excessivement variable, nous en décrivons seulement quelques types.

Manège Albaret. — Ce manège se compose d'une charpenté en bois, de la forme d'un T, S et S' (*fig. 63*), sur laquelle se fixe une plaque de fondation *a* et *a'*, portant deux axes verticaux CD et EF. Dans l'axe CD s'emboîte une couronne dentée R, portant à sa partie supérieure un boitard, une ou plusieurs flèches d'attelage AB, terminées par des palonniers P. Dans l'axe EF tournent deux engrenages faisant corps ensemble; l'un *r* est commandé par la roue R; l'autre R' est une roue d'angle qui entraîne le pignon conique *r'* calé sur l'arbre de transmission T. Le fonctionnement du mécanisme est facile à saisir. Quand l'animal tire sur la flèche AB, il entraîne la couronne R qui fait tourner dans le même sens les roues solidaires *r* et R'; enfin, R' commande *r'*. Par tour de piste, l'arbre de couche T fait environ 40 tours.

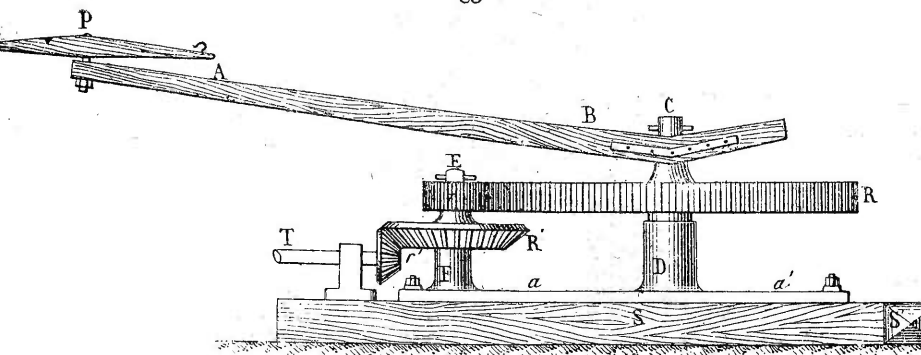


Fig. 63. — Élévation du manège mi-fixe Albaret.

La figure 64 représente ce manège dans son ensemble. Pour le poser il suffit de le placer sur un sol uni, et d'enfoncer, de chaque côté de la charpente en bois, des piquets à tête recourbée. Son déplacement ne nécessite qu'un simple arrachement des piquets. Si l'installation se fait à l'intérieur d'un bâtiment, il faut enterrer l'arbre de transmission dans un petit canal passant sous la piste, pour éviter les accidents.

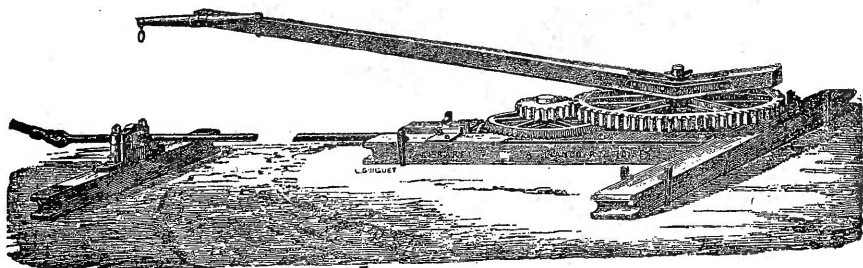


Fig. 64. — Vue d'ensemble du manège Albaret.

Manèges à cloche. — Le type du manège à cloche est adopté par beaucoup de constructeurs, parce qu'il est très ramassé et tient peu de place. En principe, il se compose d'une roue dentée intérieurement CC, en forme de cloche, à surface pleine ou évidée (fig. 65). Cette cloche tourne autour d'un arbre vertical AB, faisant corps avec la semelle en fonte S et S'; un boitard en fonte D permet de fixer la flèche d'attelage T. Avec la denture intérieure aa' engrène un petit pignon droit r relié à la roue d'angle R. Ces deux engrenages forment une même pièce et tournent autour d'un axe vertical M fixé à la semelle. Un pignon conique r', calé sur l'arbre de couche V, engrène avec la roue R. Tout le mécanisme repose sur un cadre en bois H et H'

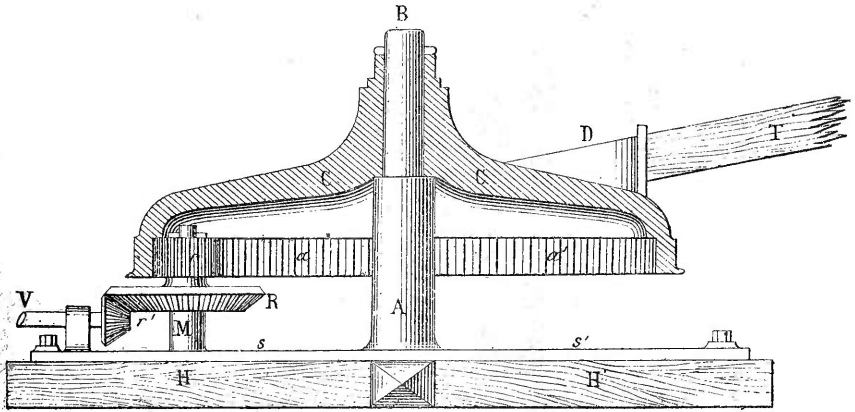


Fig. 65. — Principe du manège à cloche.

En tournant, la cloche CC met en mouvement successivement les engrenages *r* et R, puis *r'*.

Manège Simon. — Parmi les manèges à cloche, nous citerons d'abord celui de MM. Simon, de Cherbourg. La figure 66 montre le manège ordinaire à deux chevaux ; l'arbre de

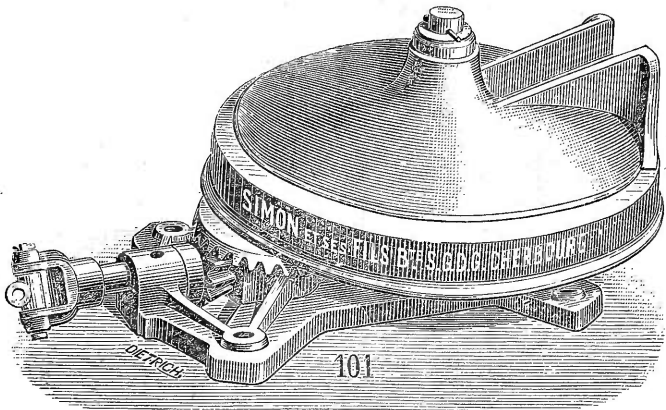


Fig. 66. — Manège à cloche de M. Simon, à une vitesse.

couche fait 12 à 18 tours pour un de la piste. Le poids oscille, suivant la force, entre 170 à 315 kilogr., et le prix entre 155 à 240 fr. Ces constructeurs font en outre des modèles de 3 et 4 chevaux.

Pour de grandes vitesses on a le modèle représenté par la figure 67. Le manège possède trois paires d'engrenages donnant à l'arbre de couche de 36 à 54 tours. Ceci permet de supprimer les intermédiaires dans le cas de batteuses à actionner. Avec ce manège, on a aussi la facilité d'obtenir une petite vitesse (12 à 18 tours), en plaçant le manchon de l'arbre de transmission sur le prolongement du premier axe. Dans ce cas, on ne se sert pas de l'engrenage intermédiaire.

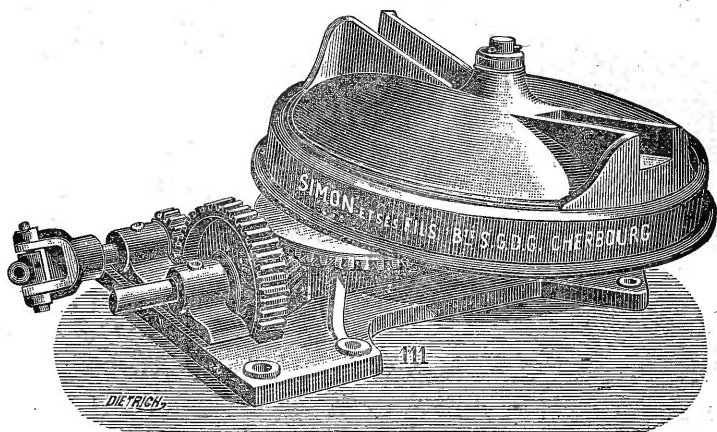


Fig. 67. — Manège à cloche de M. Simon, à deux vitesses.

Manège de la Société française de Vierzon. — Ce manège (*fig. 68*) se caractérise par son bâti, formé d'une caisse métallique circulaire. La cloche ferme la partie supérieure et elle commande une série d'engrenages pouvant donner plusieurs vitesses.

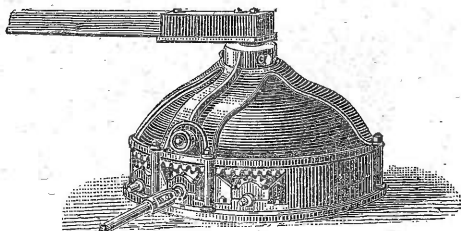


Fig. 68. — Manège à cloche de la Société du Matériel agricole de Vierzon.

On ne saurait trop recommander ce manège aux petites exploitations à cause de sa simplicité, de sa facilité d'entretien, (toutes les pièces sont préservées de l'eau et de la poussière), et enfin à cause du peu de place qu'il occupe.

Manèges à mouvement équilibré. — Ces manèges sont ainsi appelés parce que la transmission de la pression exercée par l'animal sur la première roue dentée, s'effectue, non pas sur une seule dent, comme dans les manèges ordinaires, mais sur plusieurs. Les chances de rupture sont ainsi diminuées.

Nous citerons, comme type de ces manèges, celui de M. Millot, à Gray. Il se compose (fig. 69) d'un bâti formé d'une

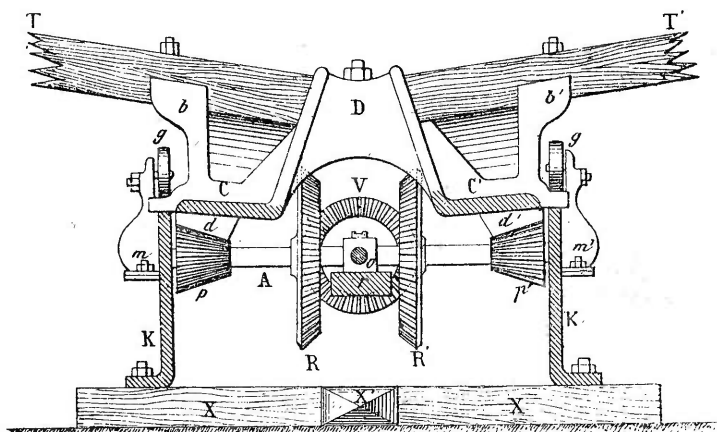


Fig. 69. — Coupe verticale du manège équilibré de M. Millot.

boîte circulaire, en fonte KK, fixée à un bâti de bois XX'X. Sur le bord supérieur de la boîte KK repose une plaque de fonte CC', portant en dessous une couronne dentée dd', et à la partie supérieure un boitard D dans lequel s'engagent les extrémités de deux flèches T et T', boulonnées en outre dans deux pièces évidées b et b'.

La boîte est traversée par un arbre horizontal A, dont les extrémités sont portées dans des coussinets m et m', et reposant dans son milieu sur une pièce de fer r munie d'un palier graisseur. Sur cet arbre sont calés quatre engrenages coniques; deux petits p et p' engrènent avec la couronne dd'; deux grands R et R' commandent une roue couique V fixée à l'extrémité de l'arbre de transmission O. Pour obtenir un engrènement constant et pour empêcher le plateau CC' de se soulever lors de la rotation, celui-ci glisse à frottement doux entre le bord supérieur de la boîte et des galets roulants gg, montés sur les supports des coussinets m et m'.

Le manège Millot est donc très ramassé, la figure 70 en donne une vue d'ensemble. Il est construit pour des forces variant depuis celle d'un âne, d'un cheval, d'un bœuf, de deux chevaux ou de deux bœufs, du prix de 125, 150 à 180 fr. L'arbre de transmission fait en moyenne 16 tours; en ajoutant des engrenages supplémentaires on peut atteindre le chiffre de 32. Enfin, dans les installations pour petites usines annexées à la ferme, chaque manège est muni d'un encliquetage.

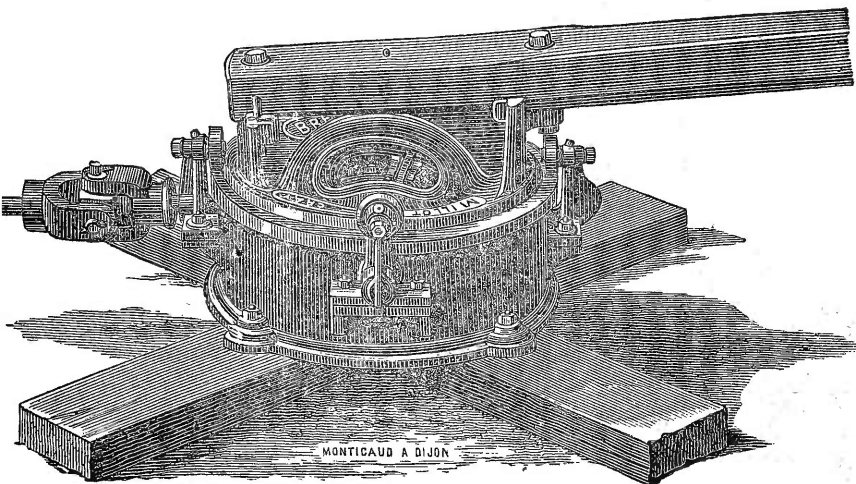


Fig. 70. — Manège équilibré de M. Millot, de Gray.

Manèges à vis sans fin. — Les manèges à vis sans fin sont encore appelés manèges à mouvement direct. Certains constructeurs, tels que MM. Millot, Japy, etc., ont adopté ce type. Il se compose, en principe, d'une roue A (*fig. 71*), à denture hélicoïde, commandant une vis sans fin B, portant l'arbre de couche T. Le mouvement est communiqué à la roue A par la flèche d'attelage F. La vis sans fin fait de 10, 12, 16 à 18 tours par tour de piste. M. Millot, de Gray, construit beaucoup de ces manèges pour actionner des batteuses et, suivant que la

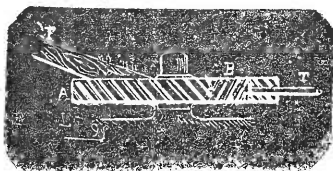


Fig. 71. — Principe du manège à vis sans fin.

commande doit se faire à droite ou à gauche, la denture de la roue A varie de sens.

Un manège Millot, à deux chevaux, coûte de 180 à 200 fr., suivant la vitesse.

c. — **Manèges à terre locomobiles.** — Le caractère essentiel de ces manèges réside dans la présence de roues adaptées au socle, permettant de les transporter d'un lieu à un

autre. Les principaux types que l'on trouve dans ce groupe ressemblent à ceux que nous venons de décrire. Nous ajouterons cependant quelques machines spéciales.

Le principe de ces manèges est donné par la figure 72. La charpente en bois MM, munie de roues EE, forme une sorte de chariot auquel on attelle un animal dans un limon K pour le transport. Le mécanisme se compose d'un axe A reposant sur une semelle en fonte S ; autour de A se meut une grande couronne dentée C, portant des boitards et des flèches d'attelage TT'. Un pignon r , fixé sur l'arbre a , engrenant avec

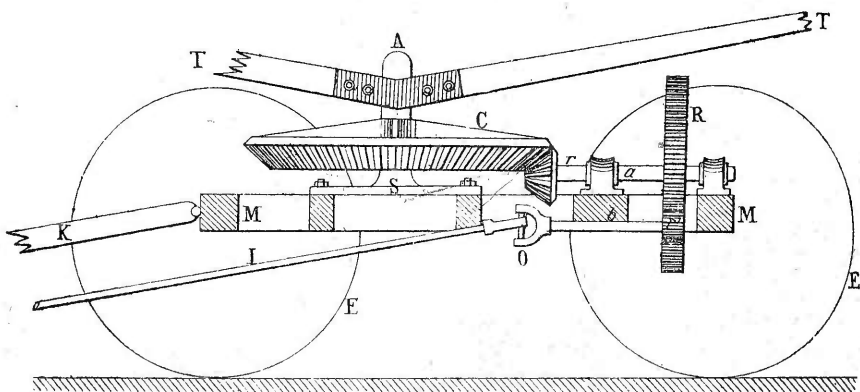


Fig. 72. — Principe d'un manège à terre locomobile.

C, transmet le mouvement à une roue dentée R qui, à son tour, entraîne r' calé à l'extrémité de l'arbre B. Celui-ci est relié à l'arbre de couche I par un joint à la Cardan O. Pour mettre en marche, il suffit de fixer les roues solidement au sol et d'établir la transmission de l'arbre de couche que l'on a soin de démonter au moment du transport.

Les manèges de ce genre sont assez nombreux ; signalons notamment ceux de la Maison Albaret. L'un d'eux sert spécialement pour les battages, il porte une paire d'engrenages coniques, formée d'une grande couronne commandant un pignon relié à un arbre de couche.

Pour la mise en marche des presses à fourrage, la même Maison construit un manège spécial. Il est caractérisé par sa mise en marche qui se fait par le frottement d'un ruban d'acier fixé au cadre des flèches d'attelage, contre un cercle de fonte denté intérieurement. La friction s'opère lentement, donnant un déplacement très doux au départ.

B. — Manèges en l'air

Dans les manèges en l'air, la commande passe au-dessus de la piste, elle se fait par *arbre de couche* ou par *courroie*. Pour l'étude de ce groupe de manèges, nous considérerons ceux qui sont *fixes*, *mi-fixes* et *locomobiles*,

a. — **Manèges en l'air fixes.** — En principe, les manèges à commande en l'air sont constitués par un axe vertical *fixe* ou *tournant*, sur lequel sont montés les organes de transmission du mouvement. De là deux sortes de manèges :

1^o **Manèges en l'air à axe fixe.** — Comme type, on peut citer le manège Valcourt, de construction simple et économique. Il se compose d'un axe conique fixe, en fer, autour duquel tourne une pièce de bois également conique, portant un grand nombre de bras en bois, disposés horizontalement comme les rayons d'une roue. Ils sont soutenus par des tirants obliques reliés au sommet de l'axe. Les extrémités libres des bras sont échancrées pour placer une corde sans fin reliée à une poulie à gorge calée sur l'arbre des instruments. Ces manèges en bois se construisent d'un diamètre de 4 à 5 mètres, et les rayons de la roue sont à 1 m. 20 ou 1 m. 30 au-dessus du sol. Les animaux sont attelés dans l'intérieur du polygone formé par la corde sur les bras de la roue. Pour que la transmission de la force se fasse dans de bonnes conditions, on doit employer un tendeur formé d'une poulie à gorge pouvant se déplacer, ce qui fait tendre plus ou moins la corde sans fin.

Le manège de M. Valcourt est, comme on le voit, sans engrenages. Chaque charron de village peut le construire. Il se rencontre dans certaines vieilles installations, et principalement dans le Midi de la France.

2^o **Manèges en l'air fixes, à axe tournant.** — A ce genre de manège, appartient le *manège à lanterne*, très ancien et construit entièrement en bois. Il se compose d'une grande roue horizontale de 3 m. 50 à 5 m. de diamètre, montée sur un axe vertical tournant inférieurement dans une crapaudine. Dans la jante de la roue sont fixées des dents en bois, cylindriques, appelées *alluchons*. Elles commandent par engrenement une roue appelée *lanterne*, fixée sur l'extrémité de l'arbre de transmission. La roue de commande a 9 ou 12 fois plus de dents que la lanterne. Les animaux s'attellent à des barres d'attelage fixées sous la roue, elles ont de 0 m. 24 à 0 m. 15 d'équarrissage.

Le manège à lanterne, quoique grossier, peut encore trouver sa place dans certaines exploitations où le bois est peu coûteux et où l'installation est sommaire.

Un manège de construction très simple et que nous recommandons en petite culture pour la mise en marche d'une pompe, d'une baratte, d'un coupe-racine, etc., est celui représenté par la figure 73. Il se compose d'un axe vertical AA' en fer, tournant inférieurement sur un socle en pierre S. Sur ce pivot sont fixées une barre d'attelage E et une roue à gorge R, en bois, soutenue par des tirants *tt*, reliés à un collier *e*. Dans la gorge passe une corde sans fin, dont les brins *dd'* passent sur une petite poulie P, calée à l'arbre de couche *f*. Ce dernier porte une poulie H qu'on relie par courroie à une autre poulie I d'une baratte B. Ces petits manèges ne peuvent convenir que pour la force d'un âne ou d'un faible cheval, mais ils ont le mérite de s'établir à bon marché.

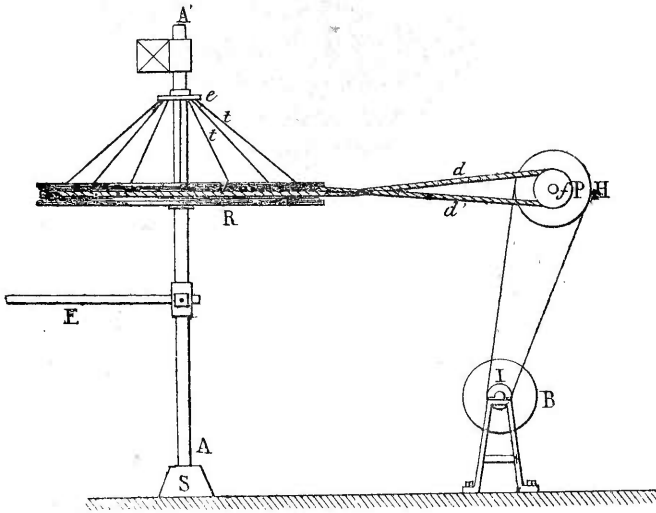


Fig. 73. — Manège en bois à commande par corde sans fin.

Nous arrivons au manège fixe ordinaire (fig. 74). Il est formé d'un arbre vertical en fer FF' tournant en haut dans un collier fixé à une poutre *l*, et inférieurement dans une crapaudine

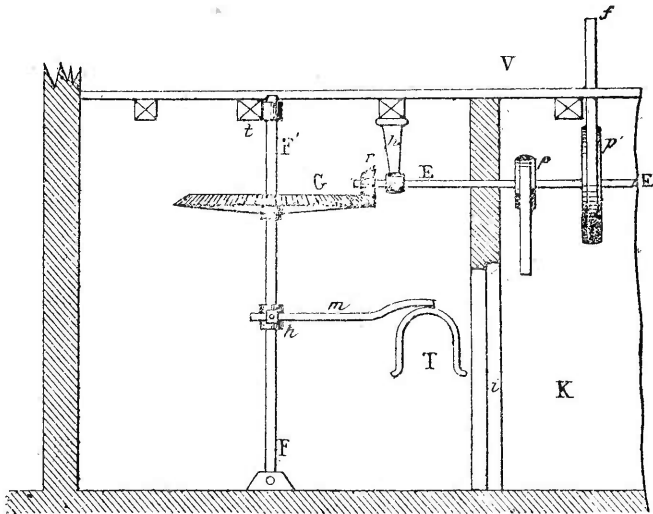


Fig. 74. — Manège en l'air fixe, ordinaire.

placée dans le socle en pierre O. Sur cet arbre est calée une couronne dentée G engrenant avec un pignon conique r, mettant en mouvement l'arbre de couche EE'. Celui-ci est soutenu par des chaises n et porte de distance en distance des poulies de transmission pp'. Avec celles-ci, on peut, au moyen de courroies ff', mettre en mouvement des appareils placés dans une chambre de préparation d'aliments K ou dans un grenier V. La mise en marche du manège se fait par une barre d'attelage m, calée sur l'axe avec un collier mobile h; l'animal est placé dans une arcade T.

M. Gautreau, de Dourdan (Seine-et-Oise), construit un excellent petit manège à axe fixe, dit manège à colonne, représenté par la figure 75. L'axe est formé par une colonne en fonte,

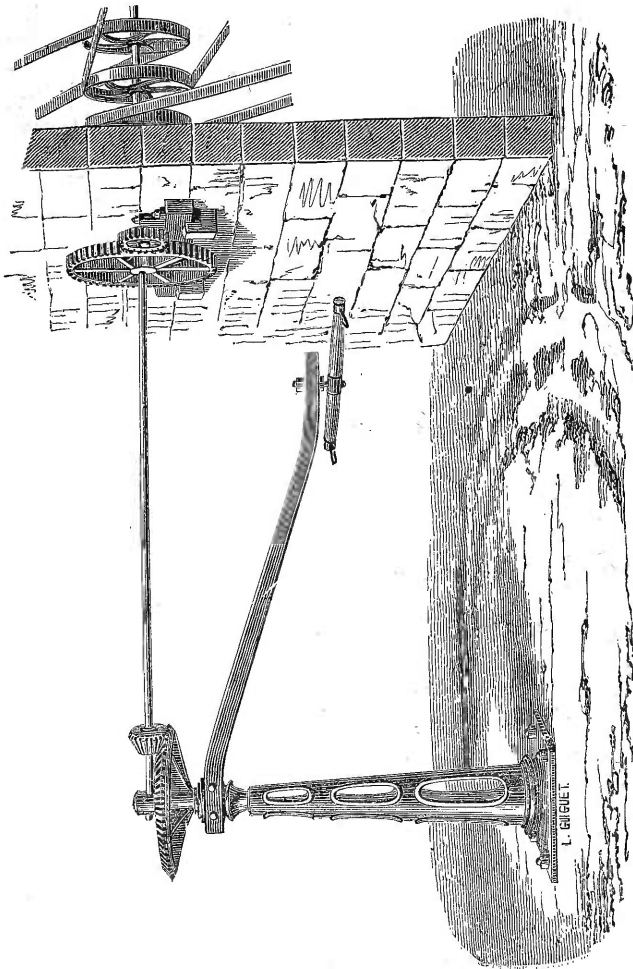


Fig. 75. — Manège à colonne de Gautreau.

creuse à l'intérieur, et terminée en haut par un arbre autour duquel tourne une couronne dentée commandant un pignon conique calé sur l'arbre de transmission. Ce dernier s'appuie à un bout sur le haut de la colonne et de l'autre sur un palier où se trouve une paire d'engrenages droits faisant tourner à raison de 60 tours par minute, un arbre de couche sur lequel sont espacées des poulies commandant des instruments d'intérieur tels que hache paille, coupe-racine, laveur, concasseur, etc.

b. — **Mi-fixes.** — Un manège à commande verticale est dit mi-fixe lorsque le mécanisme repose sur une fondation mobile.

Manège Pinet. Un excellent type de ces manèges est celui de la Maison Pinet (Abilly, Indre-et-Loire). Son invention est due à M. J. Pinet et remonte à 1854. Depuis son apparition, ce manège s'est extrêmement répandu en France. Plus de onze mille ont été livrés à l'Agriculture et à l'industrie. Il a beaucoup servi autrefois à actionner les petites machines à battre.

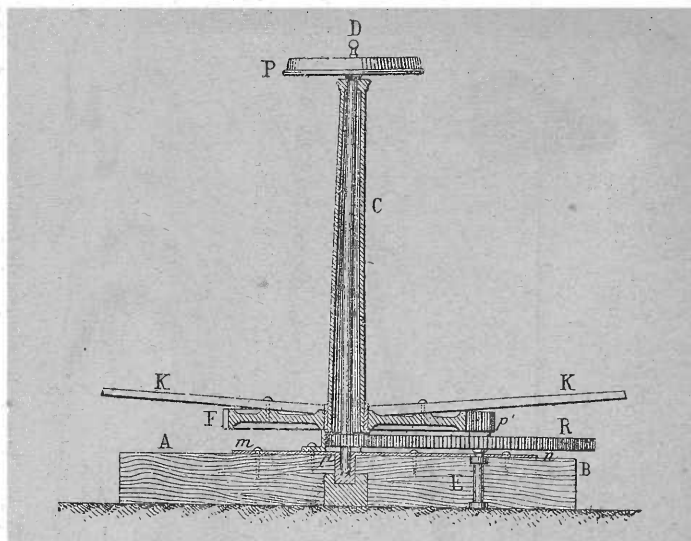


Fig. 76. — Coupe verticale du manège Pinet.

Dans ce manège, le socle est formé par un croisillon en bois AB (*fig. 76*), sur lequel est fixée une plaque de fonte *mn*, et une colonne C, également en fonte; ces deux pièces forment le bâti supportant le mécanisme. Celui-ci comprend une grande couronne de commande F, à denture droite et formant douille autour de la colonne C. C'est sur cette roue que sont fixées les barres d'attelage KK. Elle commande ensuite un pignon *p'* faisant corps avec une roue R, les deux étant fous sur l'axe vertical E fixé dans le croisillon. La roue R engrène, par une échancrure pratiquée à la base de la colonne C, avec un petit

pignon *p*, calé à la partie inférieure d'un arbre vertical *D*, qui la traverse dans toute sa longueur. Inférieurement cet arbre tourne dans une crapaudine, et supérieurement dans un collier centré; à sa sortie de la colonne il porte une poulie *P* à rochet. Cette disposition que nous avons écrite à l'article encliquetages page 80, permet aux chevaux de s'arrêter brusquement sans que les barres d'attelages viennent leur battre les jarrets.

La transmission du mouvement est facile à comprendre. Le cheval, en tirant sur la flèche *K*, fait tourner *F*, celle-ci met à son tour *p'* et *R* en mouvement, enfin *R* le transmet à *C* par l'intermédiaire de *p*.

On peut voir dans ce manège que tous les engrenages sont droits, et par conséquent très faciles à exécuter et de grande résistance. Leur roulement est aussi très doux, car les axes se meuvent sur des pivots et non sur des coussinets.

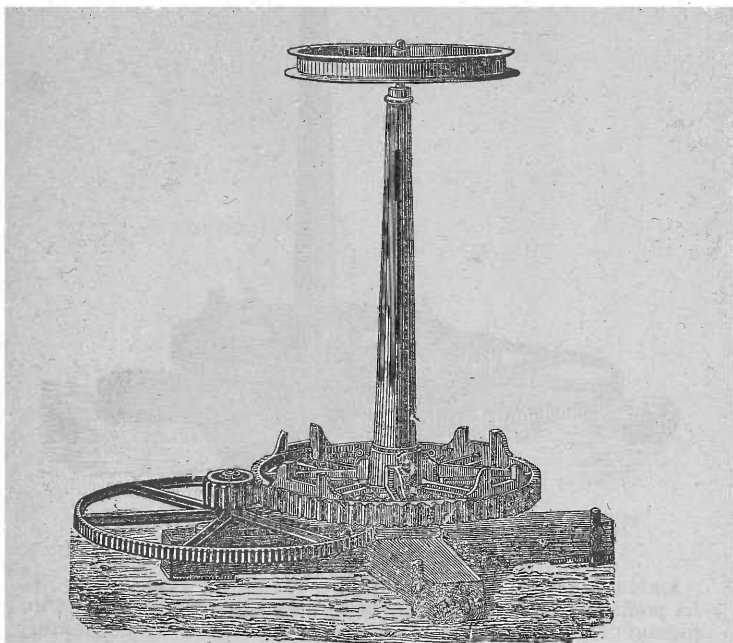


Fig. 77. — Manège mi-fixe Pinet

La figure 77 donne une vue d'ensemble du manège Pinet. La Maison le construit de différentes forces, depuis 2, 3, 4 et 6 chevaux, d'un prix variant entre 200 à 525 fr. Le poids oscille entre 350 à 970 kilogr. La vitesse de rotation de la poulie de commande dans chaque modèle est de 125 tours par minute; c'est un point de la construction très important, parce que cette vitesse dispense souvent l'emploi d'intermédiaires.

Types modifiés à commande verticale. — On a adopté des modifications du type précédent en disposant la poulie verticalement; ceci permet de faire avec ces manèges des commandes à toutes les hauteurs. Cet avantage n'existe pas dans la commande horizontale, qui demande une hauteur correspondante.

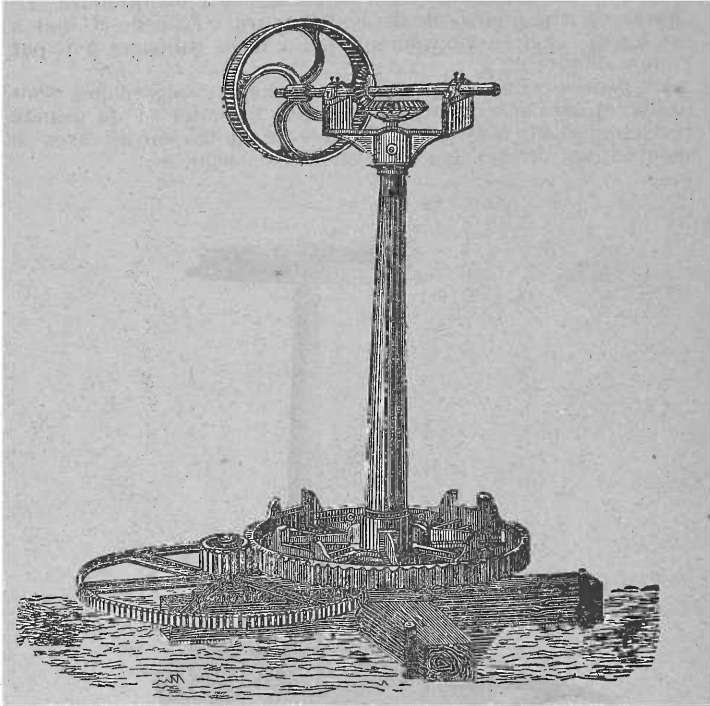


Fig. 78. — Manège mi-fixe Pinet, à poulie verticale.

La Maison Pinet construit un manège de ce genre (*fig. 78*). La poulie verticale est calée sur un arbre horizontal muni d'un pignon conique engrenant avec une roue également conique, fixée à l'extrémité de l'arbre de la colonne de fonte. De plus, l'ensemble repose sur un support tournant que l'on peut orienter dans tel ou tel sens, permettant ainsi de commander les instruments dans toutes les directions et à des hauteurs différentes.

Dans ce genre de manèges on en trouve dont le pivot est fixe, comme celui de M. Texier, de Redon (*fig. 79*). L'axe est constitué par une poutre en bois verticale, reposant sur une croix munie de contre-fiches et terminée par un pivot autour duquel s'emboîte une couronne dentée. A celle-ci sont fixées trois flèches où s'attèlent les chevaux. Le mouvement de rotation est communiqué à un arbre de couche relié à une batteuse par un pignon conique. La disposition que nous décrivons est sur-

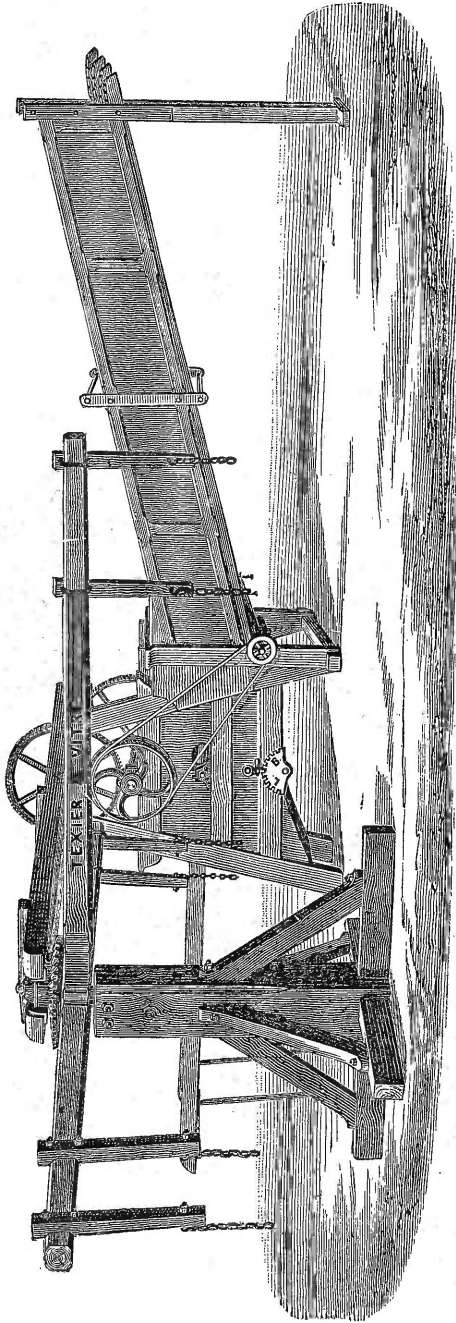


Fig. 79. — Manège en l'air demi-fixe, de Texier.

tout employée pour la commande d'une batteuse, mais on peut très bien isoler le manège et le rendre fixe pour des installations à demeure. Le modèle représenté par notre figure vaut, avec sa batteuse, pour une force de 3 à 4 chevaux, de 780 à 800 fr.

c. — **Manèges en l'air locomobiles.** — Ce sont des manèges auxquels on a adopté des roues au socle de fondation. Leur locomotion se fait avec une ou deux paires de roues qu'on laisse ou qu'on enlève au moment du travail. Nous donnons des exemples par les modèles suivants :

Voici d'abord le type Pinet, avec poulie de commande horizontale, monté sur deux roues qu'on enlève à volonté au moment du travail. Ce manège jouit des mêmes avantages que ceux décrits précédemment (*fig. 80*).

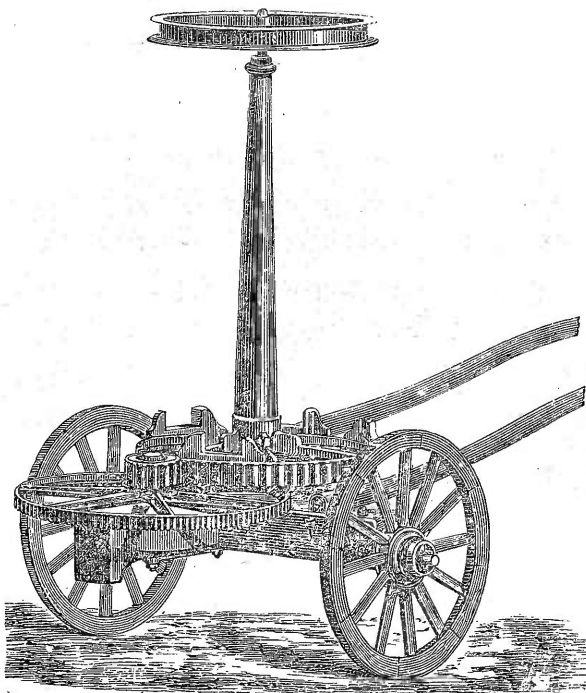


Fig. 80. — Manège locomobile Pinet.

M. Gautreau, de Dourdan (Seine-et-Oise), construit dans ce genre de manèges plusieurs modèles. Le premier (*fig. 81*) renferme trois paires d'engrenages ; la roue de commande est à denture intérieure, et sur l'arbre de la poulie de la courroie, il se trouve une autre petite poulie servant à commander un tarare. La courroie peut être orientée en déplaçant la tête

mobile de la colonne. Pour le transport, on adapte deux roues au socle de la façon suivante : on commence par soulever l'un des bouts du croisillon ne portant pas l'essieu, il suffit ensuite d'introduire les roues dans les fusées. Ce manège, comme on le voit, est locomobile et fixe en même temps.

Pour éviter le démontage des roues, MM. Fortin, de Monte-

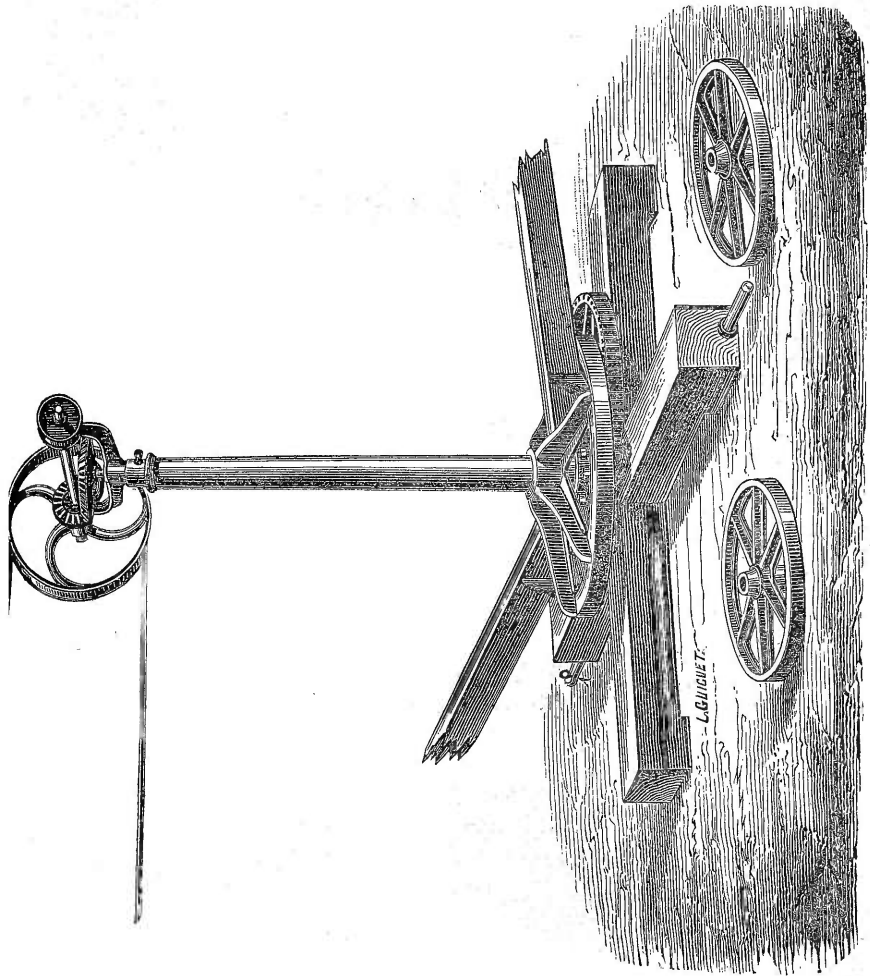


Fig. 81. — Manège en l'air de Gautreau locomobile ou semi-fixe.

reau (S.-et-M.), ont adopté à leur manège (*fig. 82*), quatre contre-fiches que l'on place au moment du travail. Ce manège possède comme particularité d'être à orientation pour sa commande.

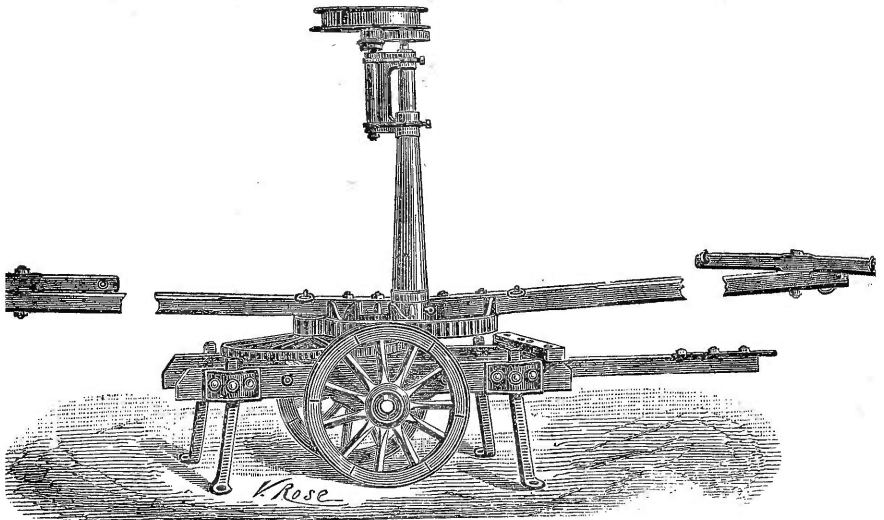


Fig. 82. — Manège en l'air de MM. Fortin, à orientation.

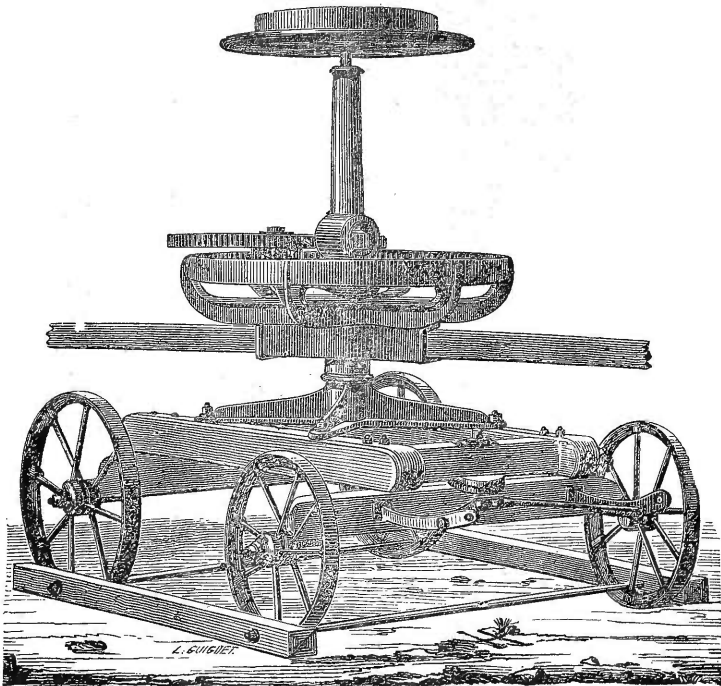


Fig. 83. — Manège en l'air de Gautreau, à commande horizontale.

M. Gautreau construit encore deux autres manèges locomobiles montés sur quatre roues. Le premier (*fig. 83*) est à poulie horizontale de 0 m. 70 de diamètre, faisant 120 tours par minute. Le deuxième est à poulie verticale, de 0 m. 48 de diamètre, faisant 200 tours par minute, il possède trois paires d'engrenages (*fig. 84*).

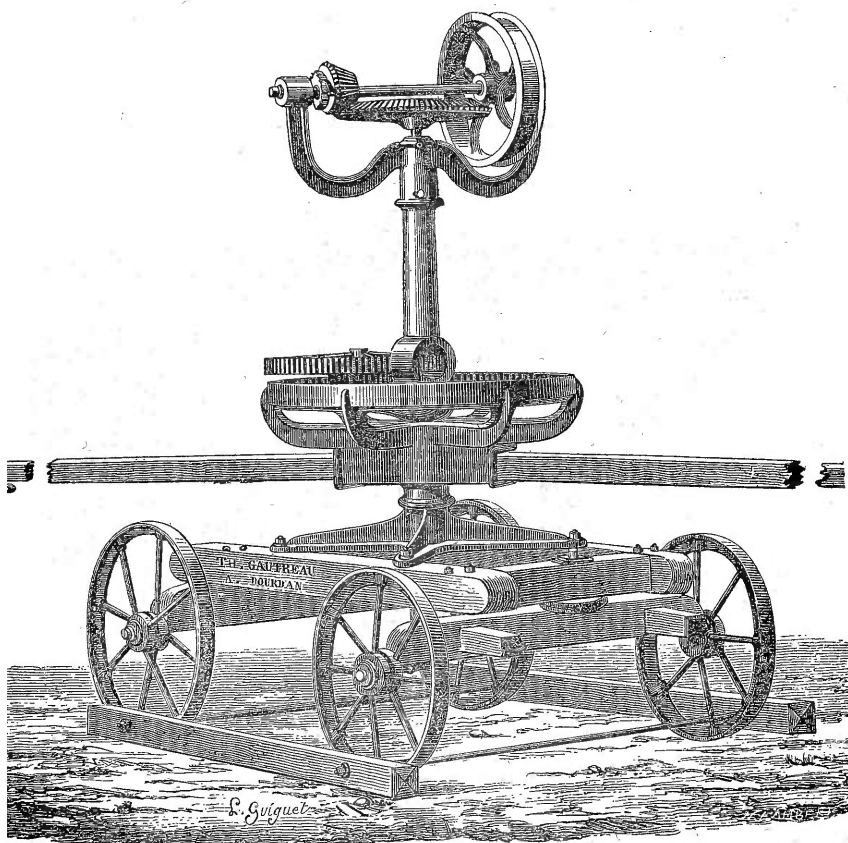


Fig. 84. — Manège en l'air de Gautreau à commande verticale.

Manège de la Société du matériel agricole de Vierzon. — La Société du matériel agricole de Vierzon construit un manège du type Creuzé des Roches (*fig. 85*). Il est formé d'un bâti en bois, muni de quatre roues, sur lequel est fixé, par de fortes pattes, un axe vertical portant à une certaine hauteur un cadre en fonte. Le mouvement est communiqué par trois paires d'engrenages, dont une à roue coniques et les deux

autres à roues droites. La roue de commande porte les flèches d'attelage. A l'arbre intermédiaire supérieur est fixée une poulie à jous, verticale, munie d'un déclin, et sur laquelle passe la courroie de commande. Ce manège est construit spécialement pour les usages extérieurs de la ferme, aussi est-il très employé pour les machines à battre demandant 3 à 4 chevaux de force.

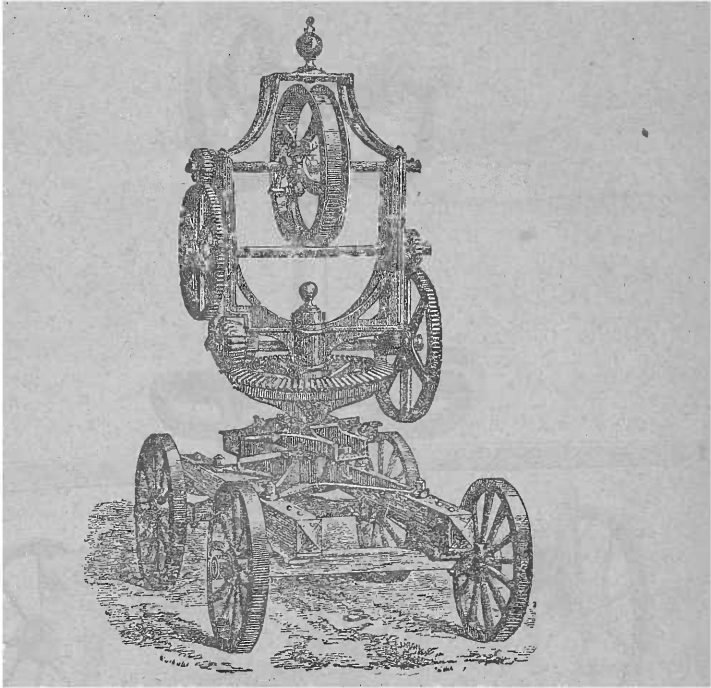


Fig. 85. — Manège locomobile de la Société du matériel agricole de Vierzon.

II. — Manèges à pression ou à plan incliné

Les animaux peuvent encore transmettre leur effort musculaire aux machines en exerçant une pression sur un plan incliné se déroulant sous leurs pieds. Ces machines réceptrices sont désignées sous les noms de *trépigneuses*, *tripoteuses*, *manèges à tablier* ou à *plan incliné*. On attribue généralement leur invention aux Américains; cependant elles étaient très

employées en Autriche aux XVII^e et XVIII^e siècles pour actionner des moulins et des pompes. En Allemagne et en Suisse elles sont très employées dans les régions montagneuses pour les battages. Aujourd'hui leur vulgarisation tend de plus à se faire grâce aux nombreux perfectionnements apportés par les constructeurs tels que Gautreau, de Doundan, et Fortin frères, de Montereau.

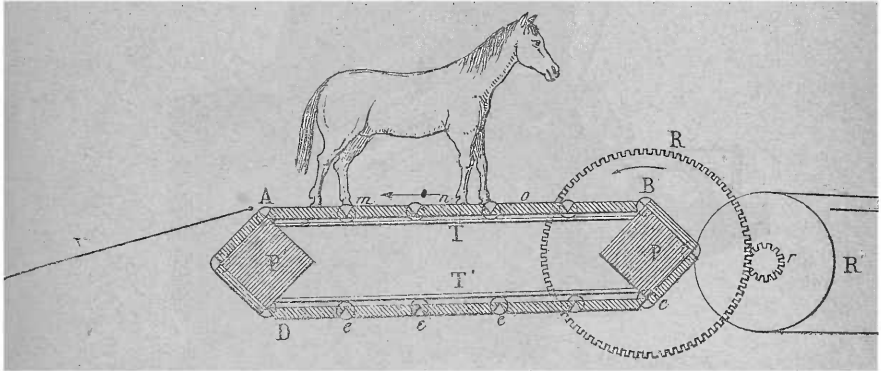


Fig. 86. — Principe du mécanisme du manège à plan incliné.

En principe, le manège à tablier se compose d'une chaîne sans fin ABCD (fig. 86), formée de poutrelles en bois *mno*, articulées deux à deux par des maillons en fonte ou en acier percés de trous et traversés par des tiges de fer dont les extrémités sont munies de galets en fonte *eee*. L'ensemble de la chaîne forme un plancher s'enroulant sur deux tambours P et P', à section polygonale (ils ont 4 ou 6 faces), et supporté par deux rails T et T', à section en U, dans lesquels roulent les galets *ee*. Sur l'axe du tambour P est calée une roue dentée R commandant un pignon *r*, dont l'arbre porte une poulie R' sur laquelle on place la courroie reliant le manège aux instruments.

Le mécanisme est supporté par un bâti fixe ou monté sur roues ; de chaque côté on élève des balustrades formant une case où se tient l'animal. Pour le faire pénétrer, on place un pont incliné V, qu'on relève pour fermer la case. La figure 87 représente dans son ensemble l'excellent manège de MM. Fortin, constructeurs à Montereau.

On n'emploie généralement que le bœuf et le cheval comme moteurs, isolés ou par couples. Chaque animal est muni d'un licol dont la corde est fixée à l'avant de la balustrade (fig. 87), ou d'un collier dont les traits sont attachés à des crochets placés à l'arrière de la case. D'après les expériences de M. Ringelmann, le collier génerait la marche de l'animal et diminuerait son travail.

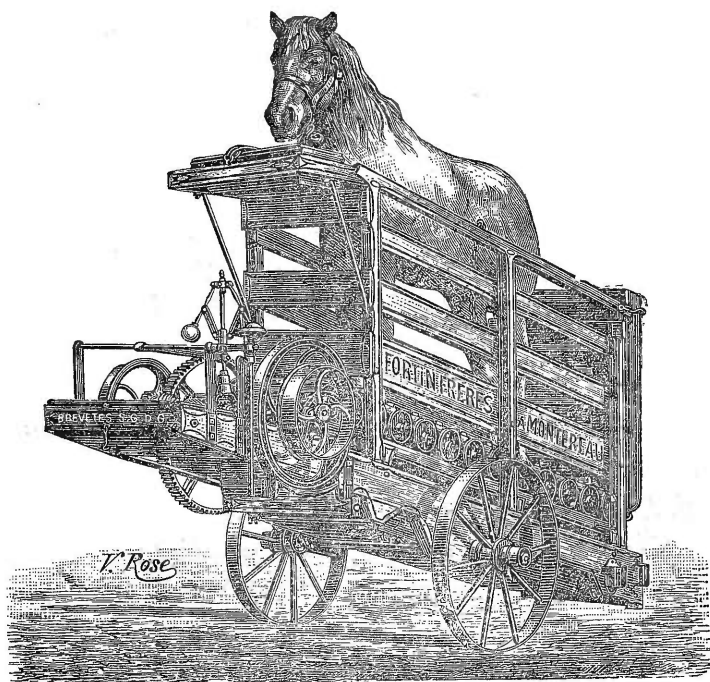


Fig. 87. — Manège à plan incliné de Fortin.

Le manège à tablier doit toujours être muni d'un frein permettant de ralentir ou même d'arrêter instantanément la marche, car les accidents seraient graves si l'animal venait à tomber sur le plancher.

On se sert ordinairement d'un frein à sabot composé d'une poulie calée sur l'arbre moteur ; sur celle-ci vient s'appuyer un sabot porté à l'extrémité d'un levier oscillant autour d'un point fixe. En appuyant sur la poignée du levier on rapproche plus ou moins le sabot de la poulie ; le frottement qui s'opère sur la jante absorbe du travail et diminue la vitesse de rotation. L'intensité de la pression se règle au moyen d'une crémaillère à crans.

MM. Fortin ont adapté à leur manège de la figure 87 un frein automatique commandé par un régulateur à force centrifuge. Il se compose d'une poulie-volant R (fig. 88), à jante plane, sur laquelle vient s'appuyer un sabot en bois S fixé sur une tige également en bois T, mobile autour de O. Le sabot est soutenu par un levier vertical c, pouvant se soulever sous l'influence d'un système de bielles a et b. La bielle b est terminée par une mâchoire qui s'engage dans une coulisse m. Le régulateur V est mis en mouvement par deux engrenages coniques A, dont l'un est calé sur l'arbre moteur.

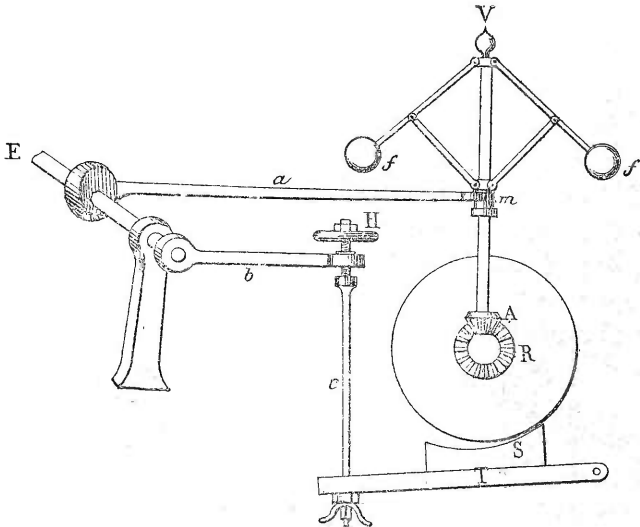


Fig. 88. — Frein automatique de Fortin.

Lorsque la vitesse est normale, le frein ne touche pas la poulie ; si elle vient à augmenter, les boules ff' du régulateur vont s'écarter et faire monter la coulisse m . Celle-ci entraîne les bielles a et b , et élèvent c qui amène le frein sur la jante de la poulie. Il se produit un travail de frottement qui diminue immédiatement la vitesse. Les boules reviennent à leur position primitive et sont prêtes à parer à une nouvelle variation. Une manivelle p permet le réglage du frein.

Transmission de l'effort musculaire dans le manège à tablier. — Dans ce manège l'animal agit par son propre poids sur un plan incliné AB (*fig. 89*). Lorsque celui-ci est arrêté par le frein, l'animal a un point d'appui fixe et reste en

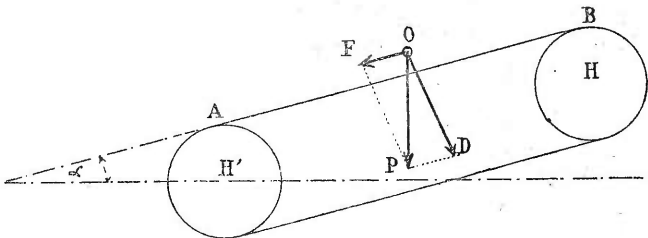


Fig. 89. — Transmission de l'effort musculaire dans le manège à plan incliné.

équilibre malgré l'influence de la pesanteur qui tend à le faire glisser vers la base du plan. Mais dès que le tablier peut se déplacer librement, l'animal ne repose plus que sur un point d'appui constamment fuyant, il s'en suit qu'il tend à descendre, entraînant avec lui le tablier. Il ne tarderait pas à être en bas, s'il ne se portait en avant, en exécutant une véritable marche.

Si théoriquement nous représentons par la ligne OP (*fig. 89*) le poids P de l'animal ou la pression qu'il exerce verticalement sur le tablier, nous voyons que cette force va se décomposer en deux. L'une OD, perpendiculaire à AB, tend à presser le tablier contre les tambours P et P'; l'autre OF, parallèle à AB, tend à faire descendre le tablier. De ces deux forces, OF seule sert à produire du mouvement; OD, au contraire, est une force nuisible qui tend à absorber du travail moteur. Si nous cherchons à établir la valeur de OF, nous voyons que :

$$\begin{aligned} OF &= OP \times \sin. \alpha \text{ OPF}; \text{ mais,} \\ OPF &= \alpha, \text{ d'où} \\ OF &= OP \times \sin. \alpha = P \times \sin. \alpha \end{aligned}$$

L'angle α est l'angle formé par le tablier AB et l'horizontale passant par H'; sinus α est la pente métrique du tablier. On voit que plus l'angle α est grand, plus la force OF produit d'effet utile. Mais en pratique on doit rester dans des limites assez restreintes pour ne donner à l'animal qu'une allure normale. Généralement l'angle d'inclinaison adopté par les constructeurs varie entre 12° , 13° , 14° et 15° ; la pente métrique du tablier oscille entre 0 m. 22, 0 m. 23, 0 m. 25, 0 m. 26 et 0 m. 28. L'allure des animaux est comprise entre 0 m. 60, 0 m. 80, 0 m. 82, 0 m. 86, 0 m. 89, 0 m. 91 et 0 m. 92; en moyenne, il faut compter pour le cheval, d'après M. Ringelmann, sur une vitesse de 0 m. 87.

Travail produit par un animal au manège à plan incliné. — Rendement de ce manège. — Le travail-moteur produit par un animal sur un manège à plan incliné se détermine au moyen de la formule générale du travail: $T_m = F \times e$. Dans laquelle T_m représente le travail-moteur, F la force employée, e l'espace parcouru. Dans le cas qui nous occupe, la force motrice est égale à OF (*fig. 89*), ou à $P \times \sin. \alpha$; l'espace e, parcouru en une seconde, est égal à la vitesse v de l'animal en marche. Donc,

$$T_m = P \times \sin. \alpha \times v \quad (1)$$

Application. — Soit à déterminer le travail-moteur produit par un cheval du poids de 600 k., marchant à une allure de 0 m. 80 par seconde, sur un plan incliné ayant 0 m. 26 de pente par mètre. En remplaçant les lettres par leur valeur dans la formule (1), on a :

$$T_m = 600 \times 0,26 \times 0,80 = 124,18 \text{ kilogrammètres.}$$

Mais tout ce travail-moteur produit par l'animal n'est pas entièrement utilisable, une certaine quantité sert à mettre en mouvement le tablier ou est absorbée par le frottement. Pour avoir le travail utilisable T_u , il faut multiplier le travail-moteur T_m (1), par un coefficient de rendement mécanique K. Ce dernier est d'environ 0,65. D'où,

$$T_u = P \times \sin. \alpha \times v \times K. \quad (2)$$

Application. — Soit à déterminer le travail utilisable du problème précédent, sachant que le coefficient K est égal à 0,65. On a :

$$Tu = 600 \times 0,26 \times 0,80 \times 0,65 = 81,12 \text{ kilogrammètres.}$$

Les premiers essais dynamométriques qui ont été faits sur les manèges à plan incliné, sont ceux de M. Ringelmann (1886). Voici d'abord un tableau résumant des expériences faites sur des manèges Fortin. (1) :

DÉSIGNATION DU MANÈGE	Poids des animaux essayés	Pente métrique du tablier	Nombre de tours de l'arbre de couche par minute	Vitesse du cheval sur le Tablier	Travail mécanique disponible et utilisable par seconde
	Kilogr.	Mètres	Tours	Mètres	Kgm
A un cheval.	625	0,264	218,2	0,894	103,099
	540	0,169	199,6	0,818	53,892
A deux chevaux.	1175	0,243	207,9	0,852	149,688
	1090	0,184	175,8	0,646	90,976
Bœuf non dressé placé dans un manège à deux chevaux.	790	0,228	127,0	0,492	54,000

Avec les chiffres précédents, nous avons pu calculer le travail moteur produit, ainsi que le rendement du manège :

Numéro de l'expérience	Travail moteur produit	Rendement du Manège
1 ^o	147,51 kgm.	70 0/0
2 ^o	73,93	73 0/0
3 ^o	239,70	63 0/0
4 ^o	125,56	73 0/0
5 ^o	85,16	64 0/0

En 1891, M. Ringelmann fit d'autres expériences au concours de Versailles ; il en publia le résultat dans le *Journal d'agriculture pratique*. Le résumé est présenté dans le tableau suivant ; il a été calculé d'après un rendement de 0,65, et une vitesse de 0 m 87.

(1) Les Machines Agricoles, Tome II, page 18 (Ringelmann).

Tableau II. — Manèges à plan incliné.

DÉSIGNATION	Numéro d'ordre des machines	Angle d'inclinaison du tablier	Poids des moteurs	Travail mécanique utilisable	
				par seconde	par heure
Manège à un cheval.	1	15°40'	580 k.	88,422 kgm	318,319 kgm.
	2	14 5	550	80,795	290,862
	3	13 15	674	87,586	315,300
	4	14 25	596	83,846	301,845
	5	14 35	556	78,845	283,842
	6	14 35	625	88,631	319,071
	7	15 25	580	86,840	312,624
	8	12 40	625	77,331	278,391
	9	15 25	580	86,840	312,624
Manège à deux chevaux.	10	14 35	1100	155,940	561,384
	11	15 0	1200	175,658	632,368
	12	12 25	1299	158,087	569,113

Donc, pour nous résumer, le rendement des manèges à plan incliné oscille entre 65 à 70 0/0; le travail moteur fourni par un cheval est en moyenne de 115 kilogrammètres, correspondant à 80 kgm, de travail disponible sur l'arbre de couche : pour deux chevaux, le travail moteur est de 163 kgm., correspondant à un travail utile de 233 kgm., le tout ramené à la seconde. Ces chiffres établissent clairement qu'un cheval ordinaire peut développer par seconde un travail au moins égal, et souvent supérieur, à un *cheval-vapeur*, ou à 75 kgm. Si nous comparons ce travail à celui que développe le même animal au manège ordinaire ayant un rendement de 70 0/0, nous voyons que l'effort est de 45 kgm., pour une vitesse de 0 m. 90 par seconde. Donc, le travail-moteur est de $45 \times 0,90 = 40$ kgm. 5, et le travail utilisable sur l'arbre de couche n'est que 28 kgm. 35. Et en définitive, un cheval ordinaire, attelé au

80
manège ordinaire, produit un travail égal à $\frac{80}{28,35} = 2,82$ chevaux 82.

Installation et applications des manèges à plan incliné. — Le manège à plan incliné peut se placer à demeure; son bâti repose alors en avant sur une charpente en bois ou sur un massif en maçonnerie, sa poulie de commande est reliée par une courroie à l'arbre de transmission des appareils. L'espace nécessaire pour un manège à un cheval, de Fortin, est de 1 m. 25 de largeur, sur 4 mètres de longueur; pour un manège à deux chevaux, de 1 m. 65 de largeur, sur 4 mètres de longueur.

Le manège locomobile se monte sur deux ou quatre roues; dans ce cas, deux sont enlevées au moment du travail. Pour le transport, on adapte des limons d'attelage. En travail le manège a une position oblique indiquée par la figure 87. Toutes les 20 ou 25 minutes on doit donner aux animaux un repos de 5 à 10 minutes.

Les applications du manège à plan incliné peuvent être aussi nombreuses que celles du manège à piste circulaire. Dans les installations à demeure, il peut servir à mettre en marche une batteuse, un hache-paille, un coupe-racine, une écrémeuse, etc. etc., en disposant les transmissions convenablement.

Le manège locomobile est surtout employé pour les battages; généralement il est réuni avec une batteuse sur un bâti commun. La figure 90 représente cette disposition; en avant du manège se place une machine à battre, vannant et secouant la paille.

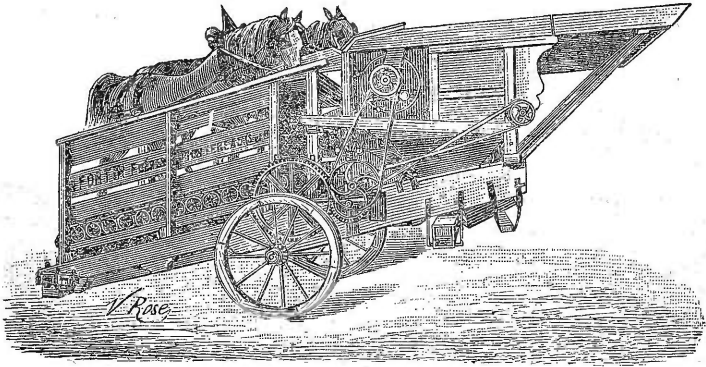


Fig. 90. — Manège à plan incliné de Fortin, portant à l'avant de son bâti, une machine à battre.

M. Ringelmann a fait au concours de Versailles, en 1891, en même temps que les expériences précédemment citées, des observations sur le travail des batteuses actionnées par des manèges à plan incliné. Nous détachons de celles-ci le tableau suivant :

Travail des Batteuses à plan incliné

DÉSIGNATION	Numéro d'ordre des machines	Poids de gerbes battu par heure de travail	Poids du moteur	Pente métrique du tablier
Machine à battre à un cheval, vannant et criblant.	1	760k	580k	0m 280
	2	630	556	0 250
	3	526	674	0 235
	4	487	596	0 258
	5	319	556	0 260
	6	338	625	0 260
Machine à battre à un cheval, ne vannant ni ne criblant.	7	725	580	0 275
	8	306	625	0 225
Machine à battre à un cheval, ne vannant ni ne criblant (manège séparé, commande par courroie).	9	622	580	0 275
Machine à battre à deux chevaux, vannant et criblant.	10	1099	1100	0 260
	11	1111	1200	0 268
	12	812	1299	0 220

En consultant les chiffres précédents, on peut voir que le travail produit par deux chevaux séparés est plus grand que celui de deux chevaux placés ensemble dans un manège. M. Ringelmann estime que le travail d'un cheval séparé étant désigné par 1, il n'est plus que 0,80 quand il est accouplé.

INSTALLATIONS DES MANÈGES

Et leurs principales Applications en Agriculture

Le manège est une machine motrice qui trouve en agriculture une foule d'applications que l'on peut cependant ramener à trois catégories : 1^o *On a les installations à demeure* ; 2^o *les installations spéciales* ; 3^o *les installations diverses*.

1^o Projets d'installations de manèges dans les fermes.

— Nous entendons par là les installations à demeure chez lesquelles le manège commande des instruments agencés suivant un certain ordre.

A. Installation dans une grange. — Dans les fermes de moyenne culture de 30 à 40 hectares, on installe souvent dans la grange des manèges commandant une machine à battre. Sur l'aire en terre battue, on place le manège. Beaucoup de dispositions, pour la commande de la batteuse, sont adoptées.

M. Millot, de Gray, emploie un manège fixe vertical, mettant en mouvement une petite batteuse fixe par une couronne conique et plusieurs paires d'engrenages. Le manège est placé dans la grange et la batteuse dans le grenier.

La Maison Albaret offre, dans ce genre d'installations, beaucoup de dispositifs, très convenables pour la petite culture. La batteuse est montée sur un plancher fixe, son batteur fait 500 à 750 tours par minute. Le nettoyage du grain s'opère par un tarare placé en dessous de la machine. Les poussières sont rejetées au dehors par une cheminée en planches émergeant au-dessus de la toiture.

M. Gautreau, de Dourdan (Seine-et-Oise), s'est fait aussi une spécialité dans ce genre d'applications du manège. Nous en donnons un exemple par la figure 91. D'un côté de la grange est placé un manège en l'air à colonne, dont la base est boulonnée sur un massif en maçonnerie. Le haut de la colonne porte une fourche dans laquelle se trouve un engrenage conique commandant un arbre de couche horizontal relié à la batteuse. Celle-ci est montée sur une charpente en bois fixe, dont la partie supérieure forme plancher. Elle porte à l'avant une cheminée d'évacuation en bois pour rejeter au dehors et au-dessus du toit la poussière provenant du batteur. Le nettoyage du grain se fait par un tarare placé sous la machine. L'arbre de couche commande le batteur par une paire d'engrenages droits et le tarare par une poulie sur laquelle passe une courroie. Cette batteuse à deux chevaux débite par heure de 60 à 100 gerbes du poids de 10 kgr. en moyenne.

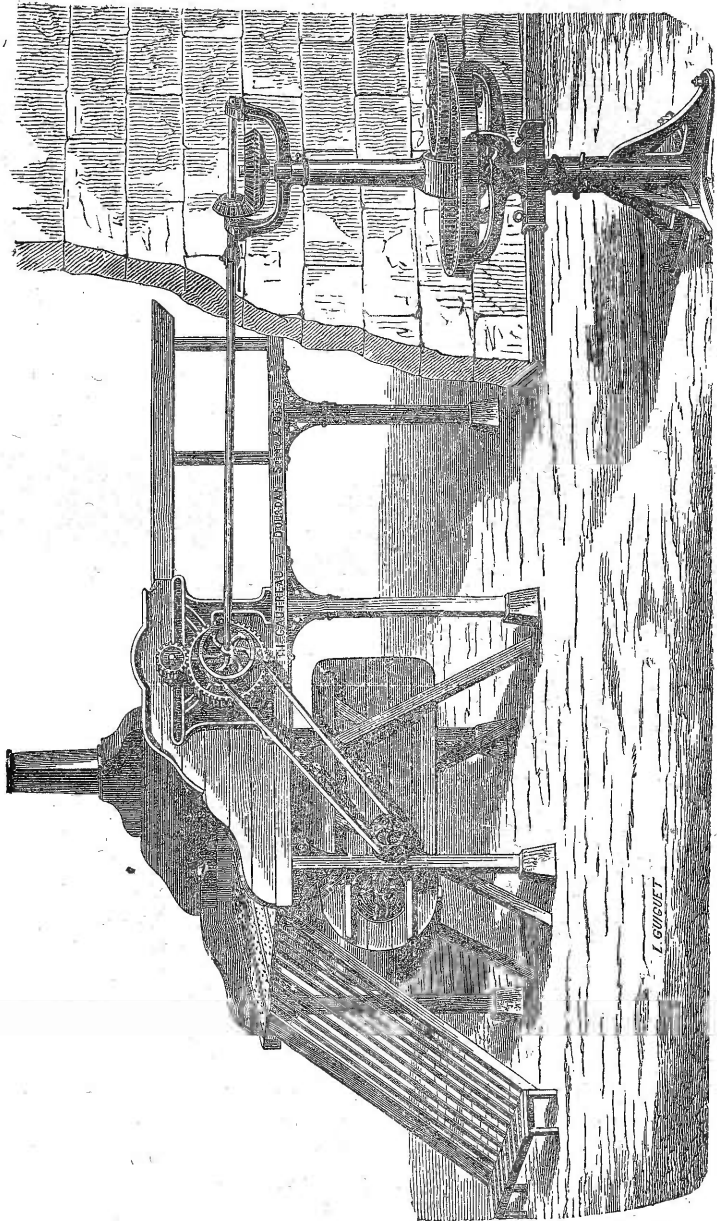


Fig. 91. — Batteuse Gauteau, commandée par un manège en l'air (installation pour grange).

2^o **Etablissement d'un manège dans un local placé sur l'une des façades de la grange.** — Quand la ferme prend une importance de 50 à 100 hectares et qu'elle comporte une grange formant un bâtiment spécial, où un local est disposé pour agencer une série d'appareils servant au battage des grains et à la préparation des aliments, on peut employer la disposition suivante (*fig. 92*) : Sur l'une des façades de la grange A, on construit en apenti un petit bâtiment B, dans lequel on établit un manège M qui transmet son mouvement à un arbre de couche fixé le long du mur de la grange oo' . Sur celui-ci sont calées des poulies p, p', p'' , qu'on relie par courroie aux instruments. On peut aussi placer cet arbre de couche perpendiculairement à l'axe de la grange, c'est au propriétaire à juger de l'espace qu'il peut disposer le plus rationnellement. Au rez-de-chaussée de la grange se trouve la chambre de préparation des aliments dans laquelle sont établis le laveur H, le coupe-racine I, le concasseur K, etc., et au-dessus dans la grange la batteuse et le hache-paille.

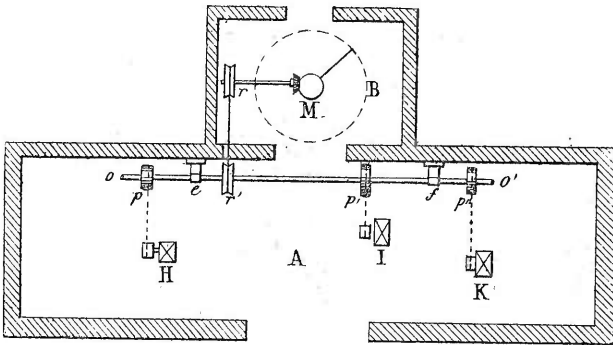


Fig. 92. — Plan d'une grange avec manège établi dans un bâtiment placé sur l'une des façades.

L'apenti est construit en maçonnerie ou avec une charpente en bois, son diamètre varie entre 8 à 9 mètres ; on doit pratiquer dans ses parois des ouvertures de communication avec l'extérieur et l'intérieur de la grange.

3^o **Etablissement d'un manège sous un hangar.** — Très souvent on établit un manège sous un hangar pour commander des instruments d'intérieur de ferme, surtout lorsque celui-ci est fixé à proximité des étables, vacheries et écuries. De cette façon, les aliments préparés, sont facilement transportables.

La figure 93 représente un hangar affecté à cet effet. Il est formé par une charpente dont les piliers OO' , reposent sur les socles en pierre S et S', supportant une toiture E. A l'une des extrémités du hangar et à l'opposé des bâtiments à desservir, on place le manège M. Un arbre de transmission T, placé au

niveau du sol, commande des engrenages logés dans une niche G. Par une poulie à jante plane ou à gorge R, on transmet par courroie ou par câble, à une poulie R', calée sur l'arbre de couche *ab*, portant les poulies de commande *p p'*, etc., qu'on relie à un coupe-racine K, etc. L'arbre de transmission peut être placé sur l'un des côtés du hangar ou le traverser dans son milieu.

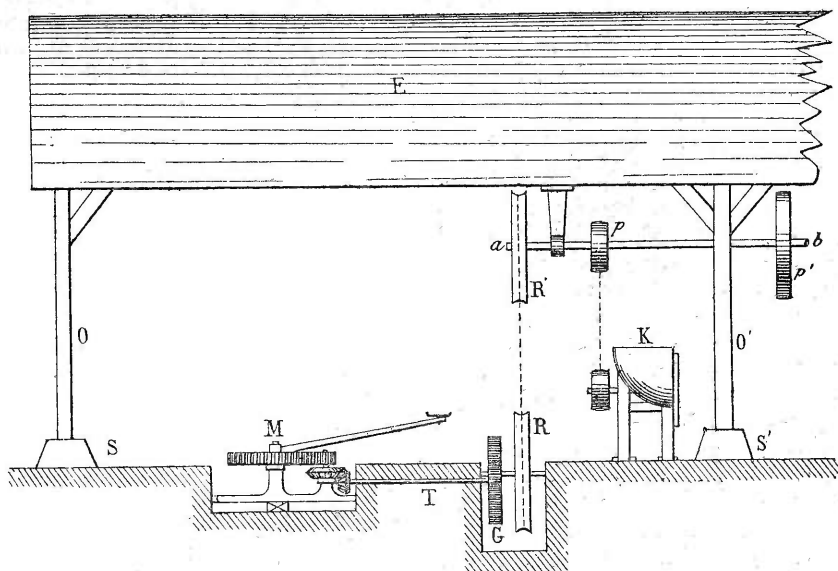


Fig. 93. — Élévation d'un hangar sous lequel est établi un manège commandant une série d'instruments d'intérieur de ferme.

4^o Installation d'un manège dans un local à part. — Dans certains cas, on est obligé de construire un bâtiment à part pour loger le manège. Voici la disposition qu'on peut adopter dans ce cas. En plan (fig. 94), le bâtiment affecte une forme polygonale constituée par une charpente en bois. Des poteaux verticaux PPP (élévation, fig. 95), reposant inférieurement sur des socles en pierre SSS, soutiennent un entablement EE', sur lequel repose la toiture pyramidale T. L'intervalle séparant les piliers est planchéié par une paroi *a* s'élevant à 1 m. 50 environ au-dessus du sol.

Le diamètre du polygone varie entre 8 à 10 mètres. Au centre est placé le manège M avec ses flèches d'attelage *ee*; enfin un arbre de couche H transmet le mouvement dans le bâtiment aux instruments.

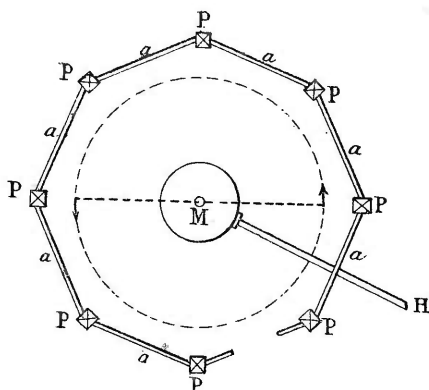


Fig. 94. — Plan d'un bâtiment spécial où est établi un manège.

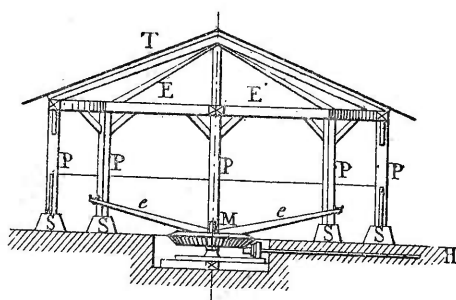


Fig. 95. — Elévation d'un bâtiment spécial où est établi un manège.

Il est bon que nous donnions à nos lecteurs quelques idées sur les instruments que l'on peut installer par poulie sous un hangar ; il est bien entendu que nous ne décrirons ici qu'un seul exemple d'instrument.

Hache-paille. — Le hache-paille, comme son nom l'indique, sert à diviser en fragments plus ou moins longs des fourrages, tels que le foin de prairie, le trèfle, la luzerne, le maïs vert, la paille, etc. Cette division permet de les mélanger à des racines hachées ou à des pulpes de sucrerie, pour rendre le tout plus assimilable. Les litières coupées, absorbent à poids égal, beaucoup plus d'urine que celles qui sont entières. On va jusqu'à hacher les fourrages verts comme le maïs, pour en faciliter la consommation ou pour l'ensiler dans des fosses pour l'hiver.

Le hache-paille est donc un instrument non seulement indispensable pour les petites fermes, mais encore pour les grandes. Quand on fait la commande par courroie, on peut employer le hache-paille Albaret (fig. 96).

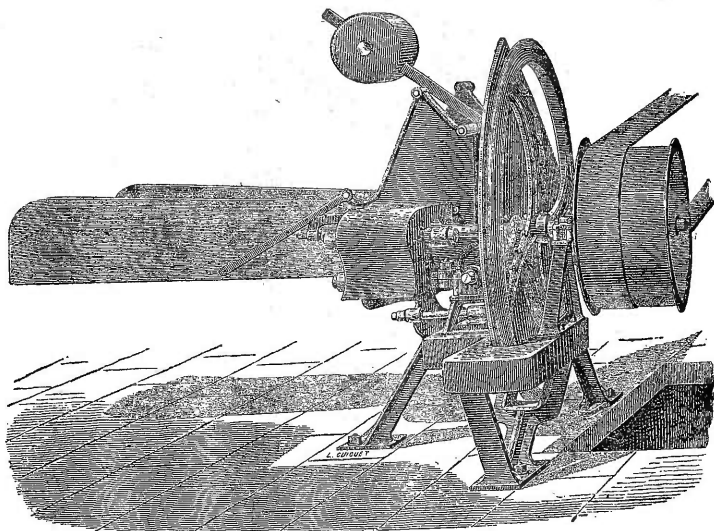


Fig. 96. — Hache-paille Albaret.

Celui-ci est placé dans un grenier ; à côté se trouve une trappe ouverte laissant tomber le fourrage haché dans la chambre de préparation. Il marche à raison de 250 à 350 tours par minute, suivant le modèle. Le numéro 3 coûte 300 fr., il demande une traction de 2 chevaux.

On admet en pratique qu'il faut, pour couper un kilog. de paille à 0 m. 01 de longueur, de 4 à 600 kilogrammètres. Les petits modèles de hache-paille marchent ordinairement à 105 et 120 tours par minute, avec des poulies de 0 m. 35 de diamètre.

Le hache-paille doit se placer ordinairement dans un grenier, avec une commande à poulie folle.

Broyeur d'ajonc. — Le broyeur d'ajonc est un hache-paille particulier qui peut rendre de très grands services dans les pays granitiques, comme en Bretagne, où l'ajonc croit en grande abondance. C'est une légumineuse ligneuse dont les tiges sont très piquantes. Divisées et broyées elles sont bien mangées du bétail, tout en le nourrissant convenablement. Les analyses ont en effet montré que les jeunes pousses renferment jusqu'à 1 0/0 d'azote, c'est-à-dire un peu moins que le

foin ordinaire. Certains constructeurs, tels que Garnier, de Redon, et Texier, de Vitré, ont cherché à créer des machines

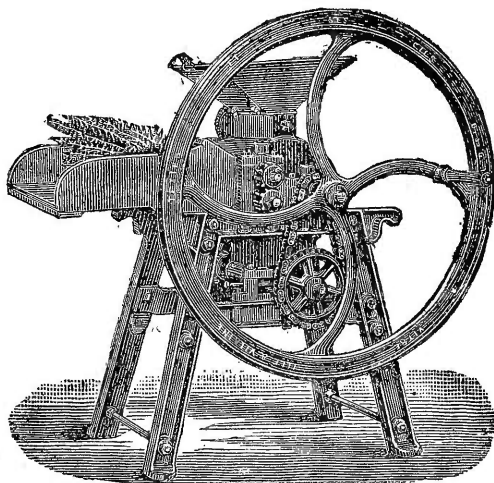


Fig. 97. — Broyeur d'ajonc de Texier.

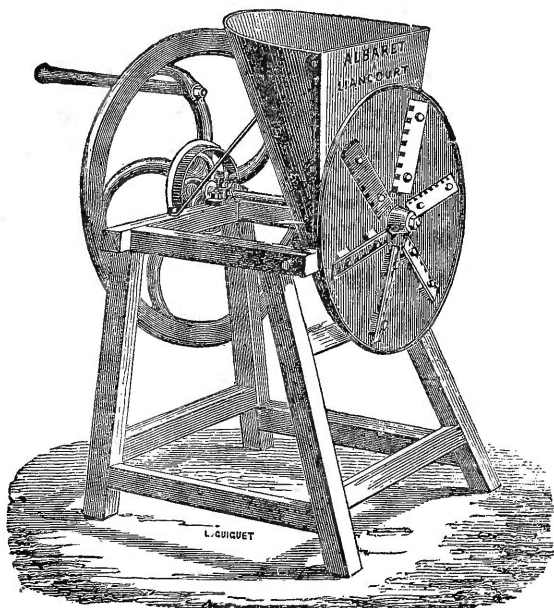


Fig. 98. — Coupe-racine Albaret.

hachant et broyant l'ajonc, pour remplacer le pilon d'autrefois. La figure 97 représente le broyeur de Texier, donnant au manège environ 100 kgr. de produits.

Coupe-racine. — Comme instrument d'intérieur commandé par manège on a encore le coupe-racine. Il est absolument indispensable pour réduire en minces tranches ou en cossettes les racines telles que betteraves, rutabagas, etc., lorsqu'on en a de grandes quantités.

Ces tranches ou cossettes, mélangées avec de la paille hachée et arrosée d'un peu d'eau, donnent un produit alimentaire légèrement alcoolique après fermentation, très bien accepté du bétail et surtout des vaches laitières. Nous aurions à citer un grand nombre de coupe-racines propres aux installations pour manèges, nous nous contentons de donner un exemple de coupe-racine Albaret (*fig. 98*).

L'appareil coupeur est formé d'un disque plan, portant des couteaux, le tout est calé sur un arbre muni d'une poulie. Il tourne avec une vitesse de 100 à 130 tours par minute devant une trémie montée sur une charpente en bois. On compte qu'il faut une force de 75 kilogrammètres par seconde pour couper par heure 3.000 kilogr. de betteraves.

Laveur de racines. — Très souvent on est obligé d'avoir recours au lavage des racines telles que betteraves, carottes, topinambours, pommes de terre, avant de les servir aux animaux. Le lavage a pour but de les débarrasser de la terre et des impu-

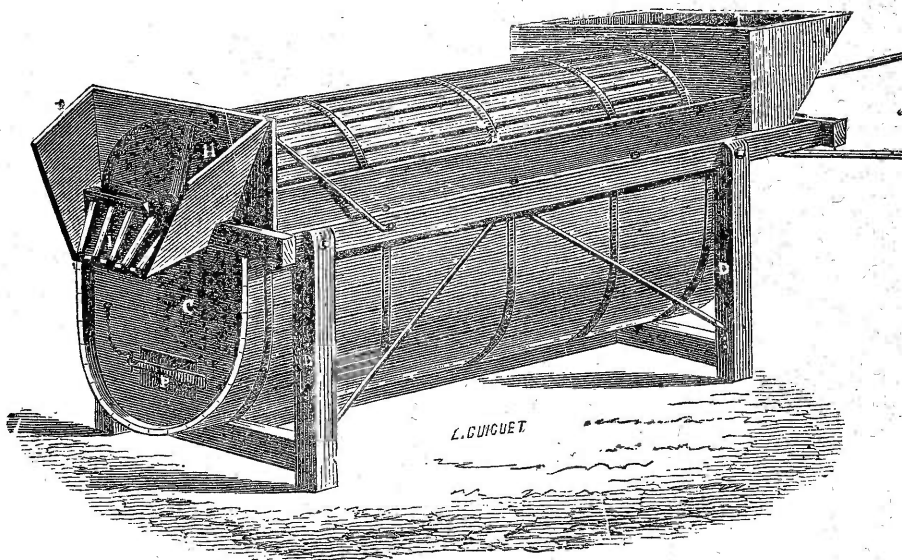


Fig. 99. — Laveur de racines Albaret, commandé par courroie.

retés qui peuvent s'y trouver accolées. Dans ce but on peut faire usage d'un décrotteur; cette machine consiste en un cylindre à claire-voie dans lequel les racines sont remuées de telle sorte que la terre tombe par chocs.

Quand l'eau est abondante, il vaut mieux employer un laveur (fig. 99). En principe cet instrument consiste en une caisse à fond rond C, aux trois-quarts remplie d'eau et supportée par un bâti en bois DD. Dans celle-ci tourne un cylindre à claire-voie H, à raison de 15 tours par minute, et portant à l'intérieur une hélice fixe. L'arbre qui le traverse est terminé par une poulie recevant la courroie. Les racines sont introduites dans le cylindre par une trémie T; par le mouvement tournant, elles sont brassées et entraînées par l'hélice à l'autre bout du cylindre d'où elles sortent par un plan incliné I. On renouvelle l'eau de temps en temps en lui donnant un écoulement par une porte P ou par un robinet établi à cet effet. Il est bon d'installer dans la chambre du laveur une pompe pour avoir de l'eau à sa disposition.

Aplatisseurs et Concasseurs. — Dans certaines fermes, avant de servir les graines aux animaux, on leur fait subir certaines préparations telles que l'aplatissement et le concassage, afin de leur faciliter la mastication et d'augmenter l'action digestive des sucs organiques.

L'aplatissement se fait pour l'avoine et l'orge, afin de séparer l'écorce de l'amande, mais sans déchirer les tissus. Les chevaux surtout se trouvent bien de cette préparation. On emploie pour cela des machines appelées *aplatisseurs*. En principe ils consistent en un bâti sur lequel sont montées deux roues en fonte, à jante plane, entre lesquelles passe le grain. L'une d'elles peut se rapprocher de l'autre pour régler la pression. La commande se fait par une poulie calée sur l'axe du rouleau fixe, celui-ci

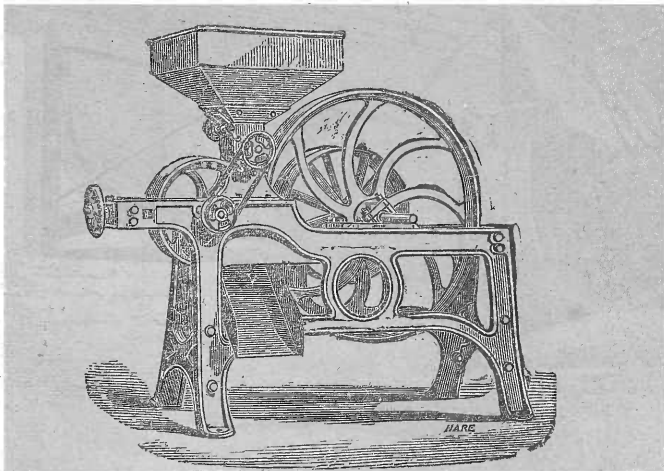


Fig. 100. — Aplatisseur Wood et Cocksedge (Pilter).

en tournant entraîne par frottement le rouleau calé sur l'axe mobile. Une trémie d'alimentation renferme la graine qui descend naturellement entre les rouleaux où elle est prise par un rouleau cannelé commandé par courroie.

Les aplatisseurs sont de forme variable. Celui de Wood et Cocksedge, vendu par la Maison Pilter (*fig. 100*), porte un rouleau d'un grand diamètre. L'aplatisseur Hunt (Mot et Cie, Paris, *fig. 101*), est au contraire à rouleaux égaux de 0 m. 45 de diamètre sur 0 m. 23 de largeur. La vitesse du rouleau entraîneur varie entre 250 à 300 tours par minute. Dans ces conditions un aplatisseur peut préparer 15 à 20 hectolitres de graine à l'heure.

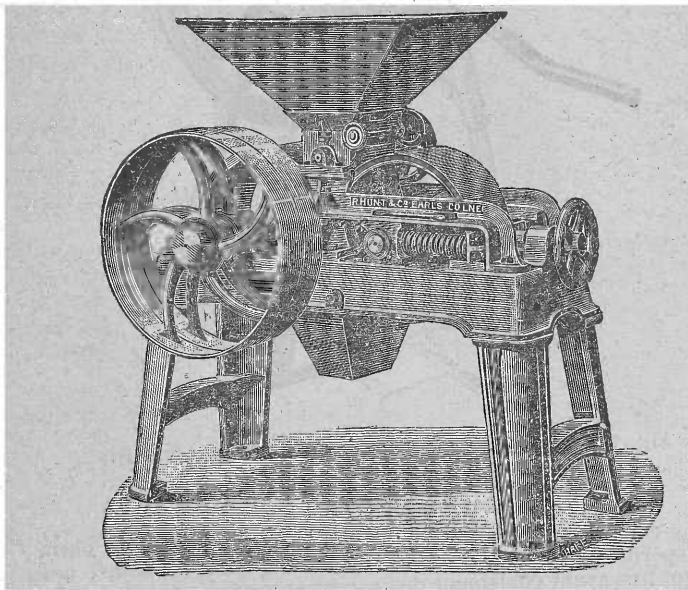


Fig. 101. — Aplatisseur Hunt (Mot et Cie, Paris).

Le concassage des grains consiste à les réduire en farine pour les servir en boissons aux animaux domestiques. Cette opération se fait au moyen d'appareils appelés concasseurs.

Cette machine peut être à *cylindre*, à *contre-plaque* ou à *plateaux*.

Les concasseurs à cylindres sont très répandus, la figure 102 donne une idée du modèle Pilter. Le bâti est supporté par quatre pieds boulonnés au sol par des pattes. Le cylindre qui porte la poulie à un diamètre de 0 m. 37 ou 0 m. 45, et tourne à raison de 90 tours par minute. L'alimentation se fait par un cylindre cannelé prenant la graine dans une trémie.

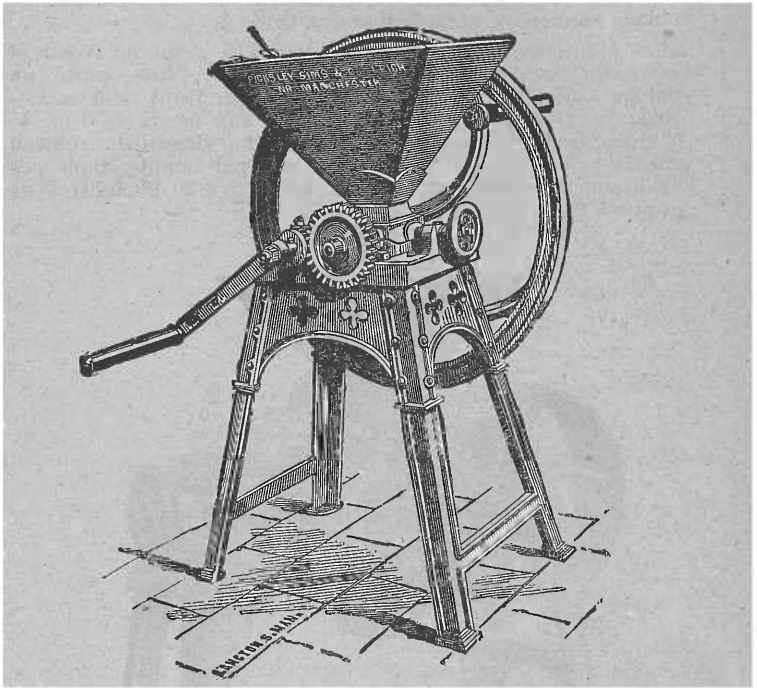


Fig. 102. — Concasseur à cylindres de M. Pilter (Paris).

Le concasseur à contre-plaque ne porte qu'un cylindre garni d'aspérités triangulaires ou de cannelures, tournant contre une paroi fixe ayant également des aspérités ou des cannelures. La graine entraînée par le cylindre est brisée et divisée. La figure 103 montre un concasseur d'Albaret (Euréka), dont le cylindre est conique cannelé, tournant à 300 tours par minute, dans une noix en acier, striée et très dure A. La graine se place dans le coffre ouvert B, munie d'une porte P, elle est prise par une vis d'Archimède H qui la déverse à la base de la noix. En s'engageant dans l'intervalle laissé par le cylindre, elle est broyée et sort à l'autre extrémité pour tomber dans un sac S. La finesse du concassage se règle au moyen d'une vis O, qui laisse plus ou moins d'écartement entre le cylindre et la noix. On peut arriver, avec cet instrument, à obtenir de la farine. La vis d'alimentation prend son mouvement sur l'arbre de la noix, par une courroie passant sur des galets de renvoi et venant se terminer sur une poulie horizontale. La commande de la noix se fait par une poulie C munie d'une courroie E. Le débit de cet appareil varie entre 180 à 200 kilos à l'heure.

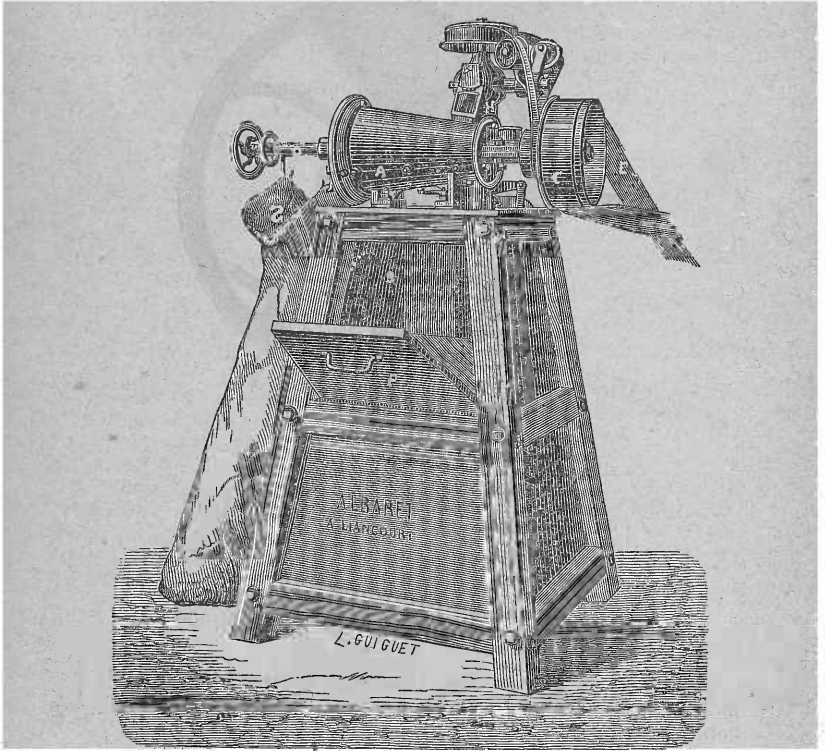


Fig. 103. — Concasseur à contre-plaque Albaret.

En principe, le concasseur à plateaux consiste en un disque en fonte circulaire dont l'une des faces porte des saillies à arrêtes vives, tournant rapidement devant un autre disque semblable et fixe. Le disque mobile peut se rapprocher à volonté, par un écrou, du fixe, de façon à donner au concassage la finesse voulue. Un bon type de ce genre de concasseur est celui de Hunt, vendu par la Maison Mot (Paris), au prix de 125 fr.

Comme l'indique la figure 104, il se compose d'un bâti à colonne fixé à un massif en maçonnerie par des pattes boulonnées. Les plateaux du concasseur sont renfermés dans une caisse métallique circulaire. Elle porte en haut une trémie d'alimentation, et inférieurement une goulotte par laquelle est évacuée la farine. L'axe du plateau mobile tourne à 250 tours par minute ; la commande se fait par une poulie de 0 m. 30, le mouvement est régularisé par un volant en fonte.



Fig. 104. — Concasseur Hunt (*le colon*), de Mot (Paris).

On construit aujourd'hui des appareils pouvant donner en même temps l'appâtissement et le concassage des grains. Le concasseur-apâtisseur de Wood et Cocksedge (*fig. 105*) est

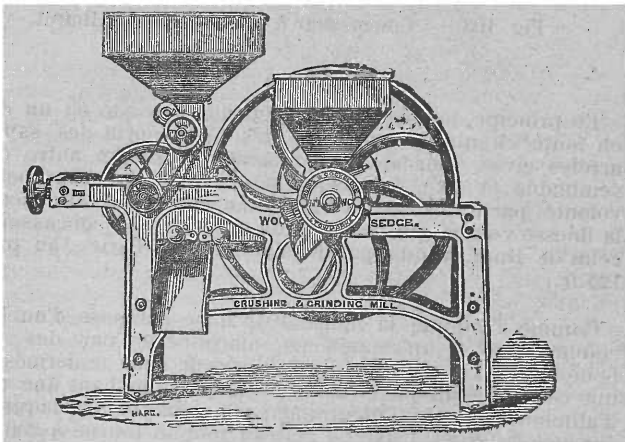


Fig. 105. — Concasseur-apâtisseur de Wood et Cocksedge (Piltler).

constitué par un bâti sur lequel est monté d'un côté un aplatisseur dont l'axe de la grande poulie tourne à 120 ou 150 tours par minute. Le même axe commande le plateau d'un concasseur placé sur le côté du bâti.

Le modèle marchant au manège pèse 330 kilos, du prix de 435 fr. ; il peut débiter 200 litres de grain à l'heure.

Moulins à farine. — Les constructeurs sont parvenus, de nos jours, à fabriquer des moulins propres à réduire le blé en farine. On peut très bien installer économiquement ces machines dans les fermes et les commander par manège. On les placera, à cause des soins de propreté que nécessite cette opération, dans une salle spéciale.

Pour les fermes, nous conseillons de ne pas employer les meules à pierre, parce qu'elles demandent un *rhabillage* fréquent qui ne peut être donné que par un ouvrier piqueur habile, ouvrier qu'on ne trouve pas dans une exploitation.

Les moulins véritablement pratiques pour l'agriculture se résument à trois types : 1° On a les moulins à meules en acier ; 2° les moulins à noix ; 3° les moulins à plateaux.

Parmi les moulins à meule en acier, il faut citer ceux de la Maison Mot, de Paris. La figure 106 représente le modèle « le Fermier ». La charpente est en fonte, munie de quatre pieds boulonnés à un massif en maçonnerie. Les meules sont en acier très dur, striées à leur surface. L'inférieure tourne, tandis que la supérieure est fixe ; on peut facilement la rapprocher de l'autre au moyen d'un contre-poids. La graine est contenue dans

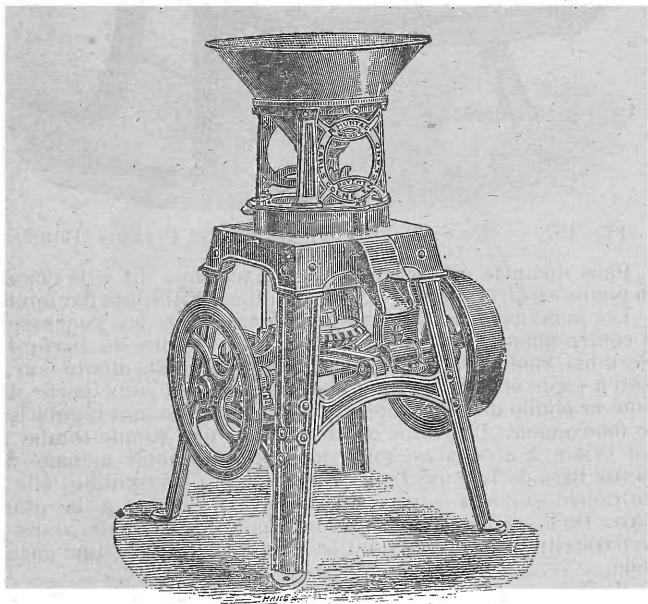


Fig. 106. — Moulin à meules « le Fermier » (Mot, Paris).

une trémie dont on règle le débit à volonté. Le mouvement est donné à la meule par un arbre horizontal portant une poulie, un volant et un engrenage conique. La poulie de commande a 0 m. 30 de diamètre et marche à 450 tours par minute.

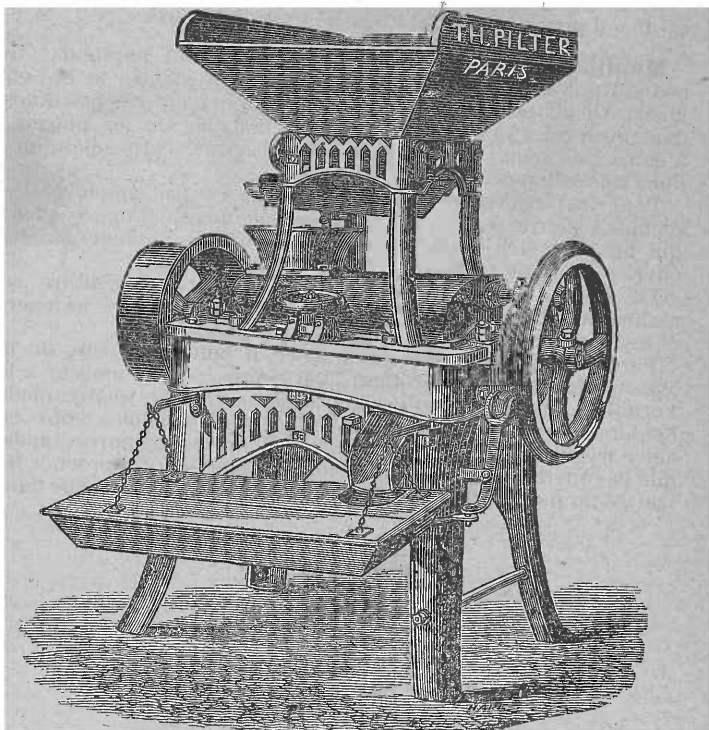


Fig. 107. — Moulin à farine de Barford et Perkins (Pilter).

Dans un autre modèle de la même maison, dit « le colon », la poulie a 0 m. 30 de diamètre et marche à 250 tours par minute.

Les moulins à noix sont du même genre que les concasseurs à contre-plaque. La figure 107 montre le moulin de Barford et Perkins, vendu par M. Pilter. L'ensemble est monté sur un bâti à pieds en fonte boulonnés; l'axe de la noix porte d'un côté la poulie de commande, et de l'autre un volant régularisant le mouvement. La graine contenue dans une trémie tombe sur un crible à secousses, puis dans un entonnoir ménagé à la petite base de la noix. Dans le mouvement de rotation, elle est entraînée et vient sortir complètement moulue à la grande base. De là elle s'échappe par une goulotte et tombe dans un séparateur à secousses dont le fond est formé par une gaze en soie.

M. Pilter vend plusieurs numéros de ces moulins, ils doivent marcher à des vitesses variables.

Le numéro B, a une poulie de 0 m. 20 de diamètre, elle

tourne à 350 tours par minute; le rendement est de 100 à 180 litres à l'heure, son prix est de 390 fr. ;

Les numéros C et 5, ont une poulie de 0 m. 23 de diamètre, elle tourne à 500 tours par minute; le rendement est de 150 à 350 litres de farine à l'heure; le prix varie entre 440 à 490 fr.

Le numéro 3, a une poulie de 0 m. 37, elle tourne à 600 tours par minute; le rendement varie entre 400 et 700 litres de farine à l'heure, son prix est de 615 fr.

Parmi les moulins à plateau, il faut citer « le Rapide », de la maison Mot, de Paris. En principe, il se compose (*fig. 108*), d'un bâti en fonte à 4 pieds, sur l'un des côtés sont montées dans une boîte en fonte, des meules en acier, à surface striée. L'une est fixe et l'autre mobile, calée sur l'arbre de transmission, muni d'une poulie et d'un volant. Ces meules portent des dentures sur les deux faces, de façon que lorsqu'elles sont usées d'un côté, on peut les changer de face.

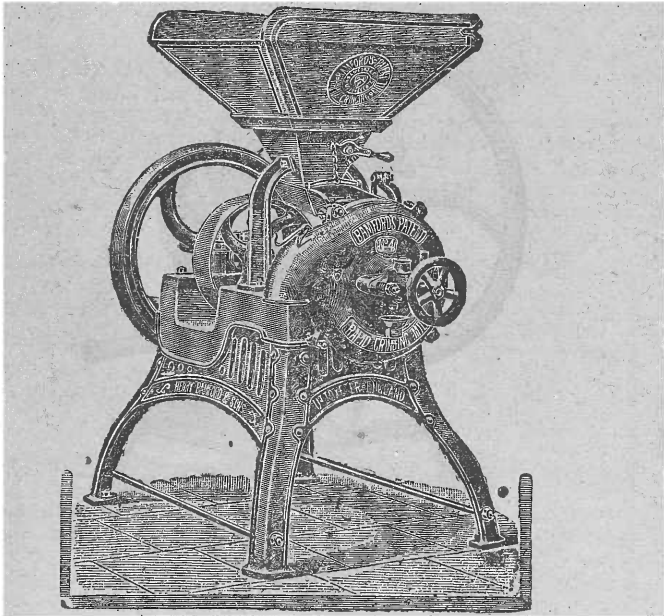


Fig. 108. — Moulin à farine « le Rapide, » de Mot.

L'alimentation se fait par une trémie supérieure. En rapprochant plus ou moins les meules, on obtient de la mouture fine ou du concassage. Un modèle marchant avec un manège de 1 à 2 chevaux, doit faire 4 ou 500 tours par minute, avec une poulie de 0 m. 25, il coûte 250 fr. Le rendement est de 250 litres de farine ou 800 litres de concassage à l'heure.

Tous les moulins doivent être accompagnés de blutoirs, afin de séparer la farine du son.

Brise-Tourteaux. — Les huileries fournissent à l'agriculture des résidus appelés tourteaux, qu'on utilise à la nourriture des animaux ou à la fumure des terres. Ils proviennent de graines oléagineuses, colza, navette, lin, cameline, arachide, coton décortiqué, etc. Le commerce livre ces tourteaux sous forme de pains rectangulaires, peu épais ; leur dureté est telle, qu'on est obligé pour les diviser, d'employer des machines appelées brise-tourteaux.

Les modèles les plus recommandables sont ceux à cylindres, composés de disques dentés et séparés, enfilés sur un arbre carré. Certaines machines n'ont que deux cylindres, d'autres en ont quatre. Les extrémités des arbres portent une ou deux paires d'engrenages, commandés par une poulie. Les arbres conduits peuvent s'écarter pour laisser passer les matières dures qui pourraient endommager l'appareil.

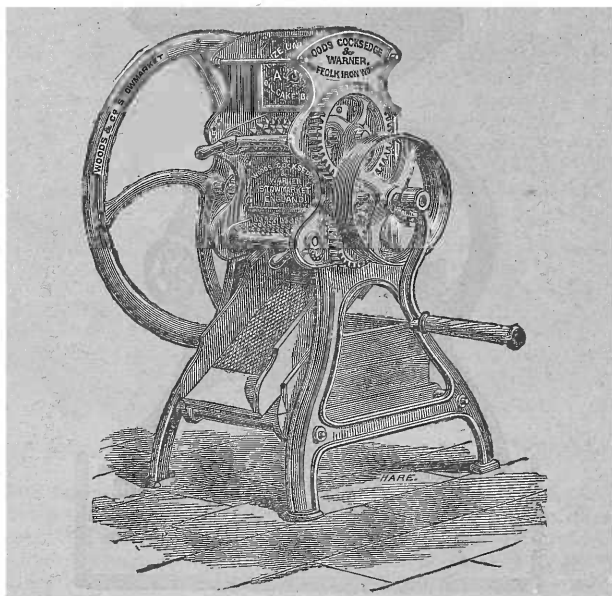


Fig. 109, — Brise-tourteaux de Wood et Cocksedge (Pilter).

La figure 109, représente un excellent brise-tourteau de Wood et Cocksedge (Pilter), à deux paires de cylindres. Le pain est placé dans une trémie supérieure, il s'engage entre les deux premiers cylindres qui le réduisent en gros fragments, puis ceux-ci passent dans les deux suivants, où ils sont pulvérisés. Le produit tombe sur une grille inclinée qui fait un triage, les parties fines passent dans les mailles et viennent se recueillir dans une caisse, tandis que les gros fragments

tombent en avant. La division est obtenue plus ou moins fine, en réglant le rapprochement des cylindres, par des excentriques à levier. Cet appareil est commandé par une poulie de 0 m. 37 à 0 m. 45, marchant à une vitesse de 90 tours à la minute, il coûte 280 fr.

Les brise-tourteaux de Mot, marchant au manège, tournent à 80 et 100 tours par minute, et coûtent depuis 130 à 350 fr.

D'après M. Ringelmann, un cheval au manège donnant un effort de 40 kilogrammètres à la seconde, avec une durée de 45 minutes à l'heure, ce qui fait un travail de 108,000 kgm., peut broyer 1,000 k. de tourteau tendre, 700 k. de tourteau dur, et 500 k. seulement de tourteau très dur. Le prix du concassage reviendrait à 0 fr. 70 par heure, en comptant la journée du cheval à 4 fr., celle de l'homme chargé de surveiller le cheval et d'alimenter la machine à 3 fr. Le concassage de 100 k. de tourteau reviendrait dans ces conditions à :

0 fr. 07 les 100 k. de tourteau tendre ;
 0 fr. 10 les — — dur ;
 0 fr. 14 les — — très dur ;

Avec les chiffres précédents, le kilogr. de tourteau concassé, exigerait 108 kilogrammètres, pour les tendres, 154 pour les durs et 216 pour les très durs.

Afin de faciliter les recherches de certains renseignements indispensables aux cultivateurs voulant installer des machines d'intérieur de ferme, nous résumons dans un tableau d'ensemble les vitesses auxquelles elles doivent tourner, avec les diamètres des poulies de commande ordinairement employées.

Désignation des instruments	Vitesse de rotation par minute	Diamètre de la poulie de commande
	tours	
Machines à battre ordinaires.	600, 1.000 à 1.200	0m45
Hache-paille. {	Petits modèles.	0m35
	Grands modèles.	»
Coupe-racines. {	Petits modèles.	0m37
	Grands modèles.	0m40
Brise-tourteaux.	80 à 100	0m25 à 0m45
	à cylindres.	0m25, 0m37 à 0m45
Concasseurs.	à contre-plaque.	0m25
	à plateaux.	0m30
	Wood et Cocksedge.	0m25 à 0m45
Aplatisseurs.	Hunt.	0m30
	à meules en acier.	0m30
Moulin à farine. {	à noix.	0m20, 0m23 à 0m375
		0m25
Tarares.	55	0m25
Trieurs.	35 à 36	0m40
Laveur de racines.	45 à 46	0m25 à 0m30

2° Installations spéciales

Installation d'une laiterie avec appareils commandés par manège. — Dans les laiteries de moyenne importance où

l'on traite 1.200 à 1.500 litres de lait par jour pour la fabrication du beurre, on peut commander les machines par un manège. Voici les principaux détails de l'installation.

Dans le bâtiment de la laiterie on ménage une pièce pour le manège avec des engrenages intermédiaires donnant à l'arbre de couche une vitesse comprise entre 120 à 140 tours par minute.

Une moyenne laiterie comporte trois appareils principaux commandés par courroie : 1^o une écrémeuse centrifuge ; 2^o une baratte ; 3^o un malaxeur. Nous ne décrirons ici que l'installation en elle-même.

Le système de manège adopté pour une laiterie est généralement à commande en l'air, à deux paires d'engrenages, donnant une vitesse de rotation à l'arbre de couche comprise entre 120 à 140 tours par minute. Cet arbre de couche A (fig. 110), est calé près d'un mur ; il porte des poulies de transmission pour la commande des appareils.

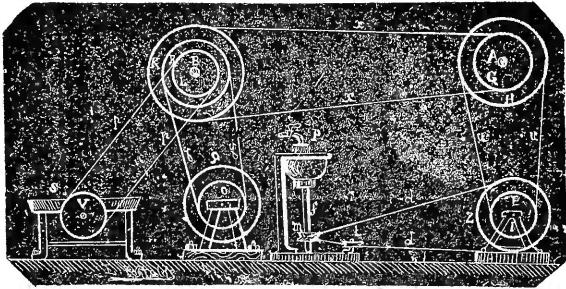


Fig. 110. — Vue d'ensemble des transmissions d'une laiterie de moyenne importance. I, intermédiaire de l'écrémeuse P ; Q, baratte à tonneau ; S, malaxeur.

Sur l'arbre de couche A, on cale une poulie H, qui est reliée par une courroie *uu*, à une petite poulie E, d'un intermédiaire I, établi au-dessous de l'arbre de couche A, sur un massif en maçonnerie. L'axe de cet intermédiaire porte un volant à gorge Z, ou une poulie à jante plane, reliés par un câble ou par une courroie *dd*, à une poulie *m*, très petite (0 m. 06 environ), calée sur l'axe *f*, du bol de l'écrémeuse. Un tendeur *t*, sert au réglage de la transmission.

La forme de l'intermédiaire varie suivant le système d'écrémeuse employée. Voici d'abord le système Laval (fig. 111). Il se compose d'une semelle ou patin en fonte avec deux montants verticaux, munis de paliers portant un arbre intermédiaire horizontal. Sur celui-ci, sont calées deux poulies *e*, dont l'une est folle et l'autre fixe ; et un grand volant à gorge où passe le câble de l'axe de l'écrémeuse. L'appareil est complété par un débrayage *b*, à fourches *cd*, manœuvré par une poignée *a*.

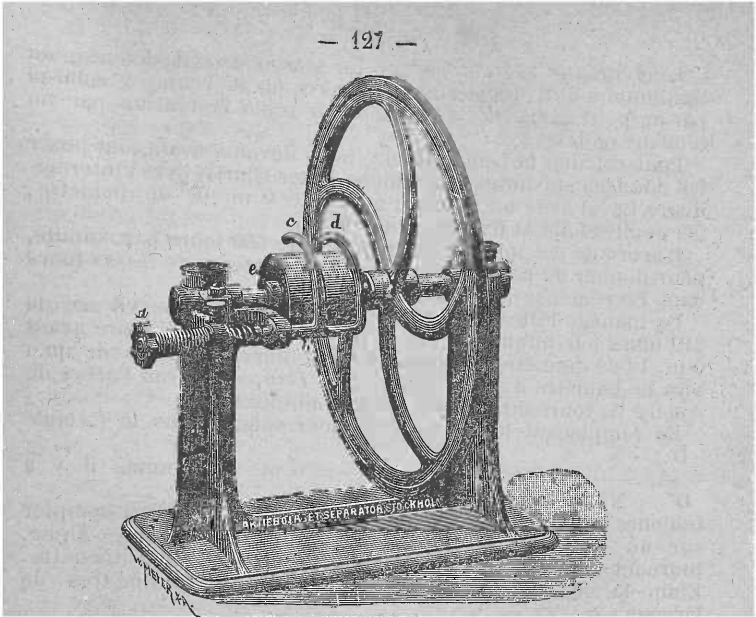


Fig. 111. — Intermediaire Pilter pour écremeuse centrifuge Laval.

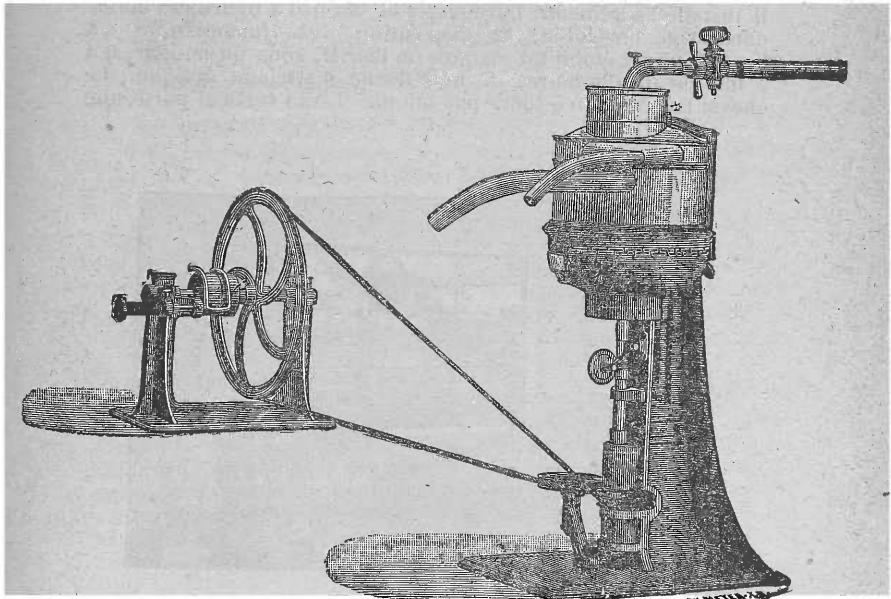


Fig. 112. — Disposition de l'intermediaire et d'une écremeuse centrifuge Laval (Pilter, Paris).

L'écrémeuse est établie sur un massif en maçonnerie, au minimum à 2 m. 10 de l'intermédiaire; on la réunit à celui-ci par un petit câble (*fig. 112*), dont on règle la tension par un tendeur mobile.

Pour calculer la transmission, nous devons, avant tout poser les données suivantes : La Maison Pilter (Paris) livre l'intermédiaire Laval avec un volant à gorge de 0 m. 60 de diamètre; les poulies folle et fixe ont 0 m. 12.

L'arbre de cet intermédiaire doit faire 600 tours par minute, pour donner au contre-arbre du bol une vitesse de 7.000 tours dans l'écrémeuse Laval ordinaire.

Le manège Pilter donne à l'arbre de couche une vitesse de 210 tours par minute. Donc la poulie de l'intermédiaire ayant 0 m. 12 de diamètre et tournant à 600 tours, on demande quel sera le diamètre d'une poulie H (*fig. 110*), calée sur l'arbre de couche A, tournant à 210 tours par minute ?

En remplaçant les lettres par leur valeur dans la formule $\frac{D}{D'} = \frac{N}{N'}$, on a : $\frac{D}{0,12} = \frac{210}{600} = 0$ m. 42. Comme il y a

toujours un peu de glissement dans la courroie, il faut compter sur un diamètre de 0 m. 43. Pour une écrémeuse Alpha, tournant à 5,600 tours, la poulie n'a que 0 m. 36 de diamètre. Enfin la courroie, doit avoir au moins 5 centimètres de largeur.

Une autre excellente disposition est celle de M. Hignette, ingénieur-constructeur, 162 et 164 Boulevard Voltaire (Paris), à l'obligeance duquel nous devons beaucoup de renseignements. Il installe l'écrémeuse Burmeister et Wain. La figure 113 donne dans son ensemble, la disposition des transmissions. A l'extérieur est établi un manège en l'air M, sous un hangar, il a 5 mètres de diamètre, et une flèche d'attelage oblique. Le cheval fait environ 5 tours par minute. L'axe vertical porte une

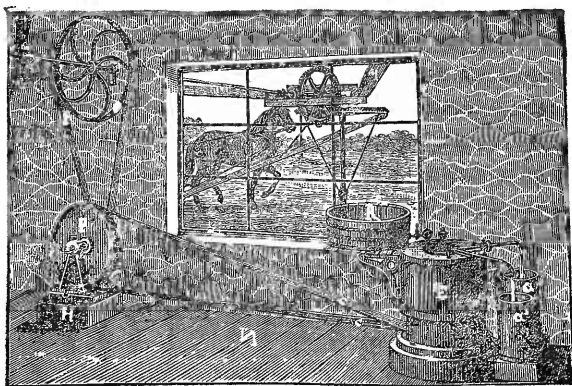


Fig. 113. — Vue d'ensemble d'une installation d'écrémeuse centrifuge Burmeister et Wain (Hignette, Paris).

grande couronne conique, de 1 mètre de diamètre, commandant par un pignon de 0 m. 20 un arbre intermédiaire, faisant 25 tours par minute. Sur celui-ci est calée une roue droite de 0 m. 96 de diamètre, engrenant avec un pignon de 0 m. 16, fixé à l'extrémité de l'arbre de couche. Ce dernier se rend dans la chambre des appareils de laiterie N, et tourne à raison de 140 à 150 tours par minute. Dans le mur de la laiterie est ménagée une fenêtre, comme le montre notre figure, pour surveiller les chevaux dans la marche.

Pour commander l'intermédiaire H de l'écrémeuse, on cale sur l'arbre de couche, une poulie O, de 0 m. 50 de diamètre, qu'on réunit par une courroie I, à la poulie de l'intermédiaire, ayant 0 m. 203 de diamètre sur 0,165 de largeur; elle tourne à 375 tours par minute. L'arbre de l'intermédiaire porte un plateau-poulie P, de 0 m. 56 de diamètre, sur lequel passe une courroie CC, commandant l'arbre du bol de l'écrémeuse E, par une poulie de 0 m. 075 de diamètre. La vitesse de celle-ci varie entre 2,800 à 4,000 tours à la minute. Voici les dimensions des poulies de l'intermédiaire, et la vitesse qu'il faut lui donner quand l'écrémeuse marche à 2 chevaux, à raison de 2,700 à 4,000 tours :

Vitesse de l'intermédiaire		Dimensions des poulies fixe et folle de l'intermédiaire.	
		Diamètre	Largeur
	à la minute		
Ecrémeuse à 2.700 tours	627 tours	0 m. 235	0 m. 09
Ecrémeuse à 4.000 tours	544	0 m. 203	0 m. 065

La distance à adopter entre l'arbre de couche et l'écrémeuse est de 2 m. 46. L'intermédiaire et l'écrémeuse sont montés sur un socle en maçonnerie.

M. Hignette emploie aujourd'hui pour ses écrémeuses l'intermédiaire Jonsson muni d'un régulateur de vitesse. Si celle-ci vient à être dépassée, le manipulateur est averti par une sonnerie, et en même temps la courroie est poussée sur la poulie folle, ce qui produit le débrayage. Il faut alors relever un peu le tendeur afin que la courroie glisse.

Installation de la Baratte. — La crème obtenue de l'écrémeuse doit subir un barattage dans le but de séparer les globules butyreux du petit lait, pour en former une masse appelée beurre. Ce travail mécanique est obtenu par la baratte. Dans l'installation de cet appareil deux cas peuvent se présenter : 1° La poulie de commande de la baratte tourne lentement (45 à 50 tours par minute); 2° la poulie tourne à 130 ou 140 tours par minute.

Premier cas. — Dans celui-ci on trouve l'installation des barattes à tonneau. La poulie de commande ne peut pas être calée directement sur l'arbre de couche parce que celui-ci

tourne trop vite ; il faut employer un arbre intermédiaire pour diminuer la vitesse.

Si nous nous reportons à la figure 110 , nous voyons l'arbre intermédiaire en B, commandé par une courroie *xx*, qui passe sur une poulie G de l'arbre de couche, et sur une poulie K. Le rapport du diamètre des poulies G et K doit être tel que si A fait 120 tours, B n'en fait plus que 60. C'est alors sur l'intermédiaire B qu'on cale une poulie R, pour commander la baratte Q, en la reliant par une courroie *yy* à sa poulie O.

De bonnes barattes à tonneau sont celles de MM. Simon, constructeurs à Cherbourg. La figure 114 en représente une.

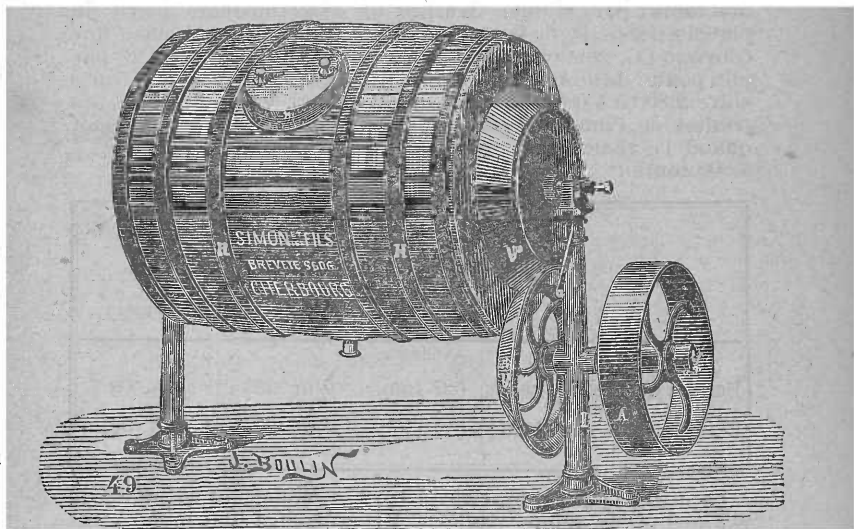


Fig. 114. — Disposition d'une baratte à tonneau de MM. Simon, de Cherbourg Type à changement de vitesse.

En principe, elle consiste en un tonneau en bois HH, porté par deux tourillons tournant dans des coussinets fixés à la partie supérieure de deux colonnes en fonte II, solidement boulonnées par des pattes à un massif en maçonnerie. Le tonneau porte à l'intérieur des palettes fixes ou batteurs, contre lesquels la crème vient frapper dans le mouvement de rotation. Pour le remplissage et la vidange, on a, d'une part, une grande ouverture munie d'un bouchon obturateur *m*, étanche, et, d'autre part, une bonde tire-lait placée en dessous de la figure. Le tourillon droit porte un cône de friction V', venant se mettre en contact avec un semblable V, calé sur l'arbre de la poulie de commande A. Grâce à un système de réglage à volant, mu à la main, on soulève ou on abaisse d'une certaine quantité le côté gauche de la baratte, ce qui fait varier le point de contact des cônes. La vitesse est variée par ce fait que les circonférences

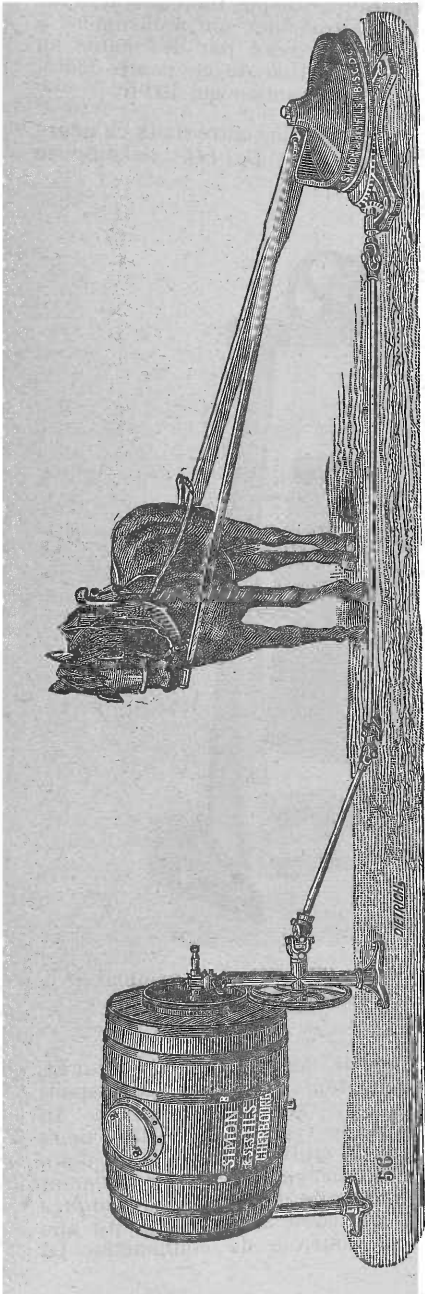


Fig. 145. — Disposition d'une baratte Simon commandée par manège.

de contact sont plus ou moins grandes. Enfin, à l'aide d'un levier à main *a*, on embraye en mettant les cônes en contact, ou on débraye en abaissant ce levier, ce qui fait soulever le tourillon droit et le contact n'a plus lieu. La poulie de commande a de 0 m. 40 à 0 m. 50 de diamètre, et fait 40 à 45 tours par minute. En admettant un diamètre moyen de 0 m. 45 une vitesse de rotation de 45 tours par minute et un arbre intermédiaire faisant dans le même temps 60 tours, on demande quel est le diamètre de la poulie de commande calée sur l'intermédiaire ?

$$\frac{D}{D'} = \frac{N}{N'} \quad \text{ou} \quad \frac{D}{0,45} = \frac{45}{60}$$

Et,

$$D = \frac{0,45 \times 45}{60} = 0,3375 \text{ m}$$

Dans les autres barattes simples de MM. Simon, dont la contenance varie entre 100 à 600 litres, la vitesse de rotation est comprise entre 50 à 55 tours par minute ; au-delà, on descend à 48 tours.

Dans quelques fermes, on se contente simplement de baratter la crème par force motrice. Le crémage se fait dans des pots à laits ou avec des écrémeuses spéciales telles que celles de Souchupinet, Cooley ou par la méthode Swartz.

Dans ce cas, la figure 115 montre une disposition adoptée par MM. Simon. Le manège à terre M transmet son mouvement à la baratte B par un arbre de couche relié par des joints au premier cône de friction. Une installation de ce genre coûte, pour une baratte de 200 litres, avec son manège, 400 fr.

Deuxième cas. — La baratte Danoise rentre dans ce genre d'installation. Celle de M. Pilter, de Paris (*fig* 116), se compose

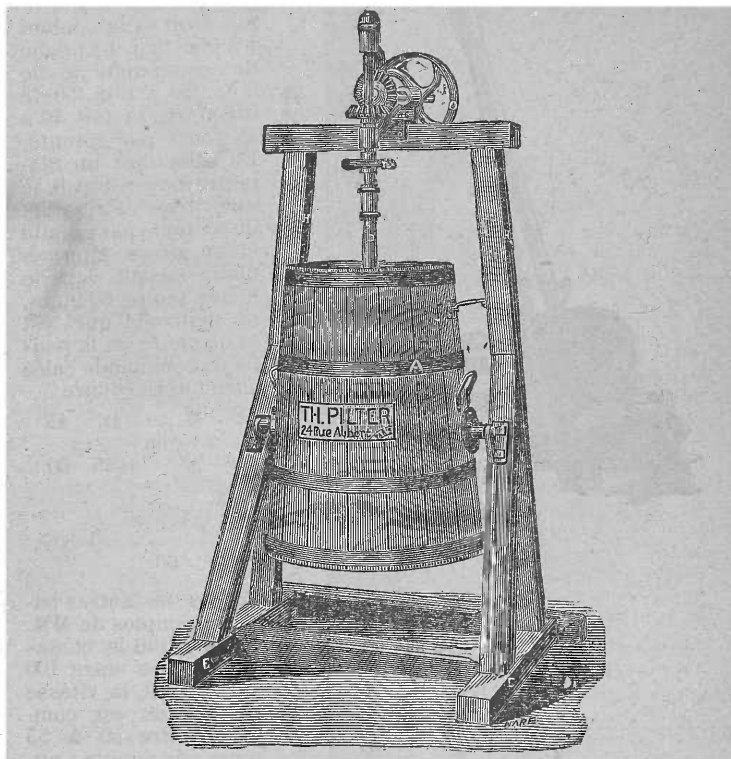


Fig. 116. — Baratte Danoise installée pour une commande par courroie.

d'un chassis en bois trapézoïdal HH, dont le cadre inférieur EE est boulonné au sol. Entre les montants verticaux, est suspendue une cuve tronçonnique A en bois, sur deux tourillons. Au centre de la cuve se meut un arbre vertical D, portant deux ailettes trapézoïdales, disposées en croix. L'arbre est en deux pièces réunies entre-elles par un manchon n. Le mouvement est transmis à ce batteur par une paire d'engrenages coniques dont l'un est fixé sur un arbre portant à son extrémité une poulie o, sur laquelle passe la courroie de commande. La

poulie mesure environ 0 m. 30 de diamètre, sa vitesse est de 130 tours par minute. M. Hignette lui donne souvent 0 m. 45 à 0 m. 50, et une vitesse de 146 tours.

La baratte danoise a cet avantage de ne pas nécessiter d'intermédiaire, on cale directement sur l'arbre de couche la poulie de transmission. En admettant le cas des appareils Pilter, chez lesquels l'arbre de couche fait 120 tours par minute, une poulie de baratte de 0 m, 30 de diamètre et tournant à raison de 130 tours : la poulie de commande aura le diamètre suivant :

$$\frac{D}{D'} = \frac{N}{N'}, \text{ ou } \frac{D}{0,30} = \frac{120}{130}$$

$$\text{Et, } D = \frac{120 \times 0,30}{130} = 0 \text{ m. } 276.$$

La baratte doit être placée au moins à 2 mètres de l'arbre de couche. Le nettoyage se fait en basculant la cuve sur ses tourillons ; mais on a soin, avant, d'enlever le manchon qui réunit les deux parties de l'arbre du batteur.

Pour qu'une baratte fonctionne bien, il ne faut pas la remplir à plus de la moitié de sa capacité. On doit aussi tenir compte de la température de la crème ; elle doit être, d'après M. Lézé, de Grignon, pour la crème douce, de 10 à 13° c., pour la crème acidifiée, de 18° c. La durée du barattage varie entre 40 à 45 minutes.

Installation du malaxeur. — Le malaxeur est le troisième appareil nécessaire à toute laiterie travaillant une quantité assez importante de beurre. Il a pour but de pétrir celui-ci pour en exprimer les gouttes de petit-lait renfermé dans les pores, et qui pourraient déterminer une fermentation rapide. Le beurre malaxé a plus d'homogénéité, le goût plus fin et une conservation plus longue que celui simplement pétri à la main. On s'en sert aussi pour la salaison et la coloration enfin pour effectuer des mélanges de beurre de différentes provenances.

Les malaxeurs rotatifs sont ceux qu'on emploie généralement. Le petit malaxeur de M. Simon se recommande par sa simplicité (*fig. 117*). Il se compose d'un bâti métallique qu'on boulonne au sol. Sur celui-ci est montée une table circulaire, tournante, dont le fond est garni d'un plancher en bois dur, sur lequel on étend le beurre à malaxer. Au-dessus de la table tourne sur son axe un rouleau en bois cannelé ; ces deux organes peuvent se rapprocher ou s'éloigner à volonté, afin d'obtenir une couche de beurre plus ou moins mince. Des racloirs ramènent constamment la masse au milieu de la table. Pendant le malaxage, on lave le beurre par un filet d'eau amené au moyen d'un tuyau non représenté sur notre figure. Cette eau est recueillie par une cuvette placée au-dessous de l'appareil.

L'arbre de commande porte une poulie de 0 m. 35 à 0 m. 40 de diamètre, tournant à une vitesse de 40 à 45 tours par minute.

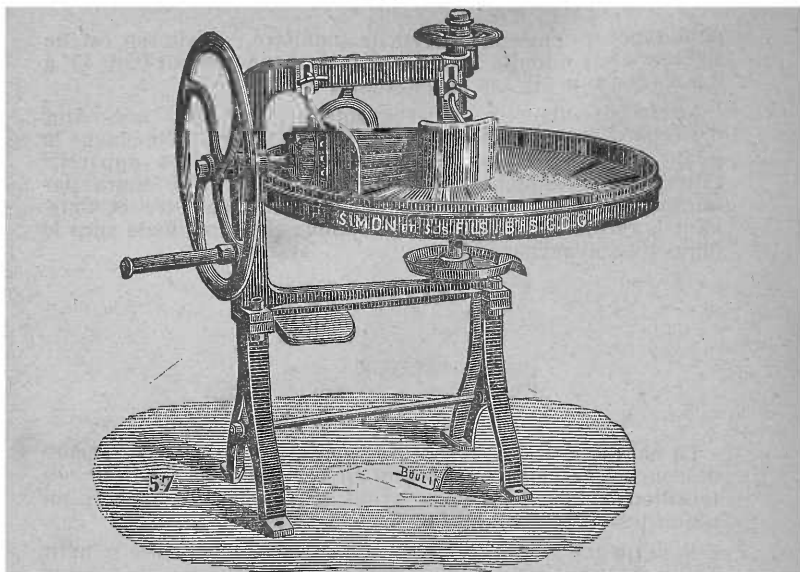


Fig. 117. — Malaxeur Simon, employé dans les petites laiteries.

Dans notre vue d'ensemble des transmissions d'une laiterie (fig. 110), la poulie V du malaxeur S est reliée par une courroie pp, à une poulie L, calée sur l'axe B, de l'intermédiaire.

Si V a 0 m. 40 de diamètre, une vitesse de rotation de 45 tours à la minute, et, d'autre part, si B tourne à 60 tours, on demande quel diamètre doit avoir L ?

$$\frac{D}{D'} = \frac{N}{N'}, \text{ ou } \frac{D}{0,40} = \frac{60}{45};$$

$$\text{Et, } D = \frac{0,40 \times 60}{45} = 0 \text{ m. } 533, \text{ ou } 0 \text{ m. } 54.$$

On travaille à chaque fois de 10 à 30 kilos de beurre, suivant le modèle de malaxeur.

Observations. — Dans certaines installations telles que celles de M. Hignette, il n'y a pas besoin d'employer d'arbre intermédiaire pour commander la baratte et le malaxeur. L'arbre de couche met en mouvement directement par poulies l'intermédiaire de l'écrémeuse, la baratte danoise et le malaxeur. Mais quand on veut employer une baratte à tonneau, il y a nécessité d'établir un arbre intermédiaire.

Installation d'une Cidrerie

La fabrication du cidre offre une très grande importance dans certaines régions comme la Bretagne et la Normandie. On construit aujourd'hui, pour cette industrie, des appareils

véritablement pratiques, dont nous allons parler ici. Dans certains cas, on peut même avoir à monter complètement une petite cidrerie commandée par manège. Les machines qui doivent y entrer se résument en un broyeur, un pressoir et des cuves de fermentation.

Le broyeur peut être à noix, montées sur deux axes commandés par une paire d'engrenages (types Savary, Garnier, Benech, Chapelier, etc.). Mais on doit donner la préférence aux broyeurs à un seul cylindre (types Simon et Ollagnier).

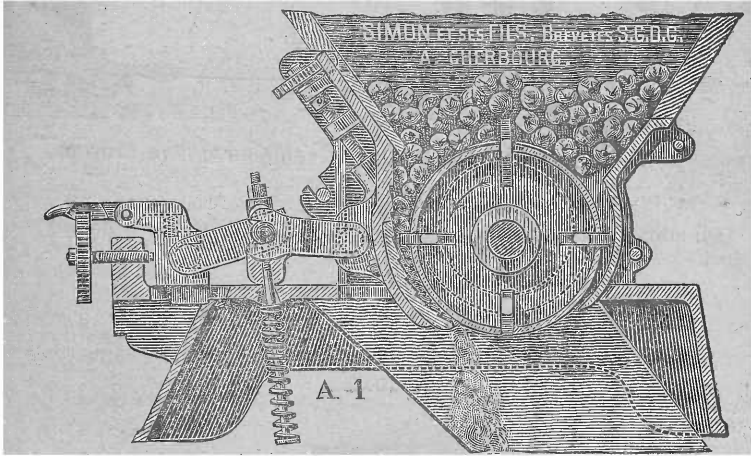


Fig. 118. — Coupe du broyeur Simon.

Le système Simon (Cherbourg), représenté en coupe par la figure 118, présente, comme partie travaillante, un tambour monté sur un axe; il porte, suivant ses génératrices, quatre rainures où s'engagent des palettes mobiles. Ce tambour tourne à la partie inférieure d'une trémie, et passe près d'une contre-plaque hérissée de saillies. Cette pièce est placée excentriquement au tambour, et on peut la rapprocher au moyen de vis de rappel pour donner plus ou moins de finesse au broyage. Elle peut même céder lors du passage d'un corps dur, grâce à un système de leviers monté sur un ressort de pression. Pour le broyage, les fruits sont pris par les palettes et amenés entre le tambour et la contre-plaque, d'où ils sortent sous forme de pâte. L'ensemble est monté sur une charpente en fonte dont les pieds sont boulonnés solidement. L'axe du tambour tourne à raison de 60, 80, à 100 tours par minute, avec des poulies de commande de 0 m. 35, 0 m. 40, 0 m. 50, 0 m. 60 à 0 m. 70, suivant les modèles. La transmission se fait, soit par un arbre à joint, soit par un arbre à terre avec poulie *d*, munie d'une courroie *c*, comme le représente la figure 119. Avec 5 mètres de courroie et un appareil complet dans le modèle précédent, le prix varie depuis 270 à 625 fr.

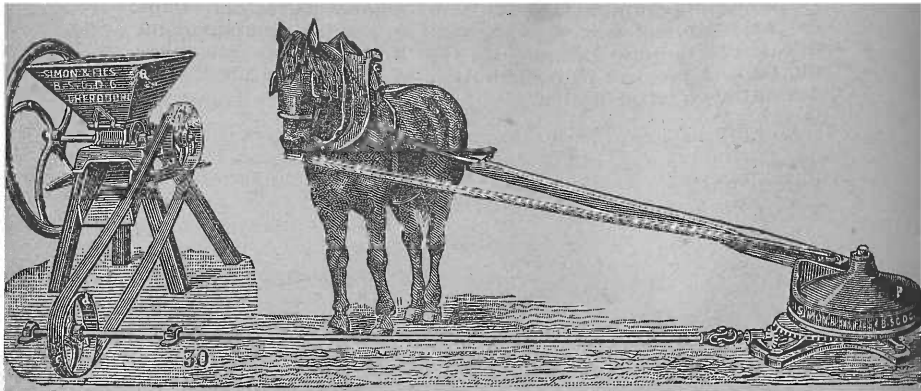


Fig. 119. — Installation Simon pour la commande d'un broyeur.

On admet en pratique qu'un cheval au manège peut broyer de 15 à 20 hectolitres à l'heure.

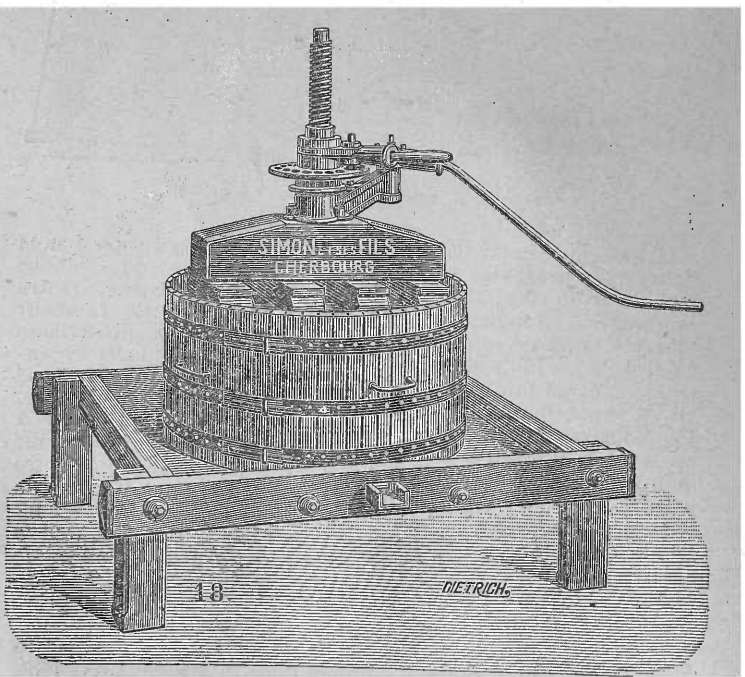


Fig. 120. — Pressoir à bras de M. Simon.

L'extraction du jus se fait au moyen de pressoirs. Les modèles les plus répandus sont ceux actionnés à la main. Le modèle de M. Simon, représenté par la figure 120, peut contenir de 400 k. à 3.000 k. de produit broyé ; son prix varie entre 250 à 1.150 fr. Il se manœuvre par un levier à biellettes commandant un écrou de serrage.

Depuis quelque temps, on tend à remplacer ces pressoirs à main par des pressoirs continus permettant d'effectuer le travail plus rapidement.

Celui de M. Simon (*fig. 121*) se compose d'un bâti en fonte

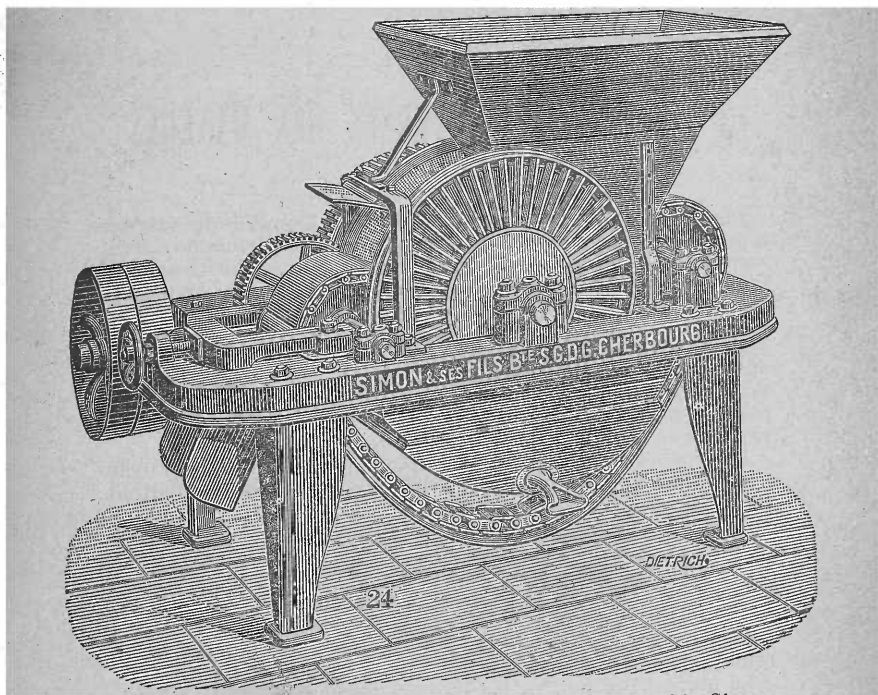


Fig. 121. — Vue d'ensemble du pressoir continu de M. Simon.

monté sur quatre pieds ; au-dessus se trouve une trémie au fond de laquelle passe une chaîne sans fin, portée à ses extrémités par des rouleaux, dont l'un, denté, lui communique le mouvement. Sur l'un des côtés du fond de la trémie, il se trouve un rouleau compresseur muni de joues ; un coursier est calé excentriquement à son axe. Le pulpe étant dans la trémie, elle est entraînée par la chaîne et est amenée entre les rouleaux compresseurs sous forme d'une tranche triangulaire. Dans ce passage, le jus se sépare et vient se recueillir dans le récipient, d'où il s'écoule au dehors par une ouverture. Pendant ce temps le marc continue à avancer et vient tomber au dehors

sur un plan incliné. Afin de maintenir lisse le rouleau compresseur, un racloir nettoie constamment la jante. Le réglage de la pression se fait avec un volant.

La commande se fait par une poulie de 0 m. 50 de diamètre, faisant 75 tours par minute. Au manège, il faut employer un à deux chevaux pour le mettre en mouvement. On peut obtenir, avec cette machine, de 200 k. à 850 k. de liquide, pour 250 k. à 1.200 k. de marc pressé, suivant le modèle. D'après les expériences faites avec cet appareil, on a obtenu en première pression un rendement en poids de 65 à 72 0/0, selon la nature des fruits.

L'appareil se place à côté du broyeur, il est relié par courroie à une poulie calée sur l'arbre de terre.

3° APPLICATIONS DIVERSES DES MANÈGES

Jusqu'ici nous nous sommes occupés de l'emploi du manège à demeure fixe, là où un travail constant est demandé. Mais, comme nous l'avons vu, le manège est une machine transportable que l'on peut utiliser sur la ferme pour la mise en marche de machines très diverses.

Battage des céréales. — On trouve dans les petites fermes des batteuses commandées par manège, qu'on transporte à volonté d'un point à un autre. Certains entrepreneurs les emploient aussi pour les battages de la petite culture. La batteuse va, dans ce cas, de ferme en ferme.

Le type de batteuse le plus employé pour manège est celui dans lequel le batteur est à pointes, ainsi que le contre-batteur. La vitesse de rotation varie entre 500, 1.100 et 1.200 tours par minute. Les épis, en passant entre les pointes de ces deux organes, sont débarrassés de leur grain. On engrène la gerbe en bout, ce qui brise un peu la paille.

Les batteuses à manège de M. Gautereau, de Dourdan, ont au contraire un batteur à bannes, et l'engrenage de la gerbe se fait en travers; cette disposition est excellente parce qu'elle rend la paille entière.

La plupart des petites batteuses à manège sont sans roues, on les charge sur des voitures pour les transporter; d'autres sont locomobiles. Le système de manège le plus employé est celui dit à terre et semi-fixe; enfin on emploie aussi les manèges en l'air. Voici quelques dispositions:

M. Millot, de Gray (Haute-Saône), emploie un manège mi-fixe à vis sans fin; il transmet son mouvement à une batteuse à pointes par un joint à la Cardan. Le manège et la batteuse coûtent 340 à 360 fr.

La petite machine à battre de M. Texier, de Vitry, a été, très employée autrefois, elle l'est encore aujourd'hui. D'un côté on a un manège en l'air monté sur une colonne en bois avec crozillon à la partie inférieure. L'arbre de couche se rendant à la batteuse est soutenu par une charpente en bois rendant les

deux machines solidaires l'une de l'autre. Pour le transport, le tout est monté sur quatre roues. Le prix varie entre 520 à 670 fr., suivant le modèle (fig. 122).

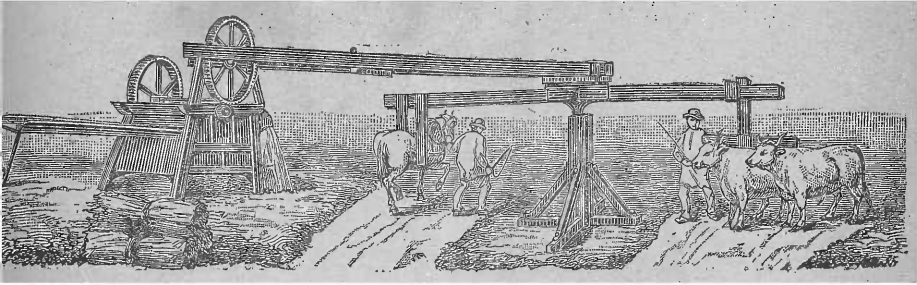


Fig. 122. — Machine à battre Texier, commandée par bœufs et par cheval

La batteuse Pinet a été une des premières machines à battre qui aient été employées dans les fermes. A l'heure actuelle encore, elle est très vendue pour la petite culture, où elle rend de nombreux services. Le nombre livré à l'agriculture atteint le chiffre de 11.000.

La figure 123 donne l'ensemble de l'installation du manège avec sa batteuse. Suivant le modèle, on bat de 35 à 80 hectolitres de blé non vanné par jour. Par une poulie et une courroie supplémentaires, on peut actionner un tarare simultanément avec la batteuse. Un manège à trois chevaux, avec sa batteuse à secoueurs, coûte 550 fr., du poids de 830 k.

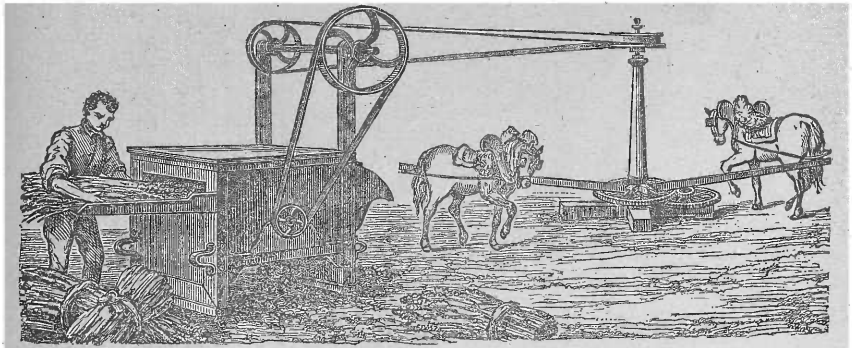


Fig. 123. — Vue d'ensemble d'une batteuse Pinet, actionnée par un manège à deux chevaux.

Nous terminons notre étude des batteuses à manège par celles de M. Gautereau, de Dourdan (Seine-et-Oise). Les types qu'il construit sont à commande en l'air. Parmi ceux-ci, le plus recommandable est celui représenté par la figure 124.

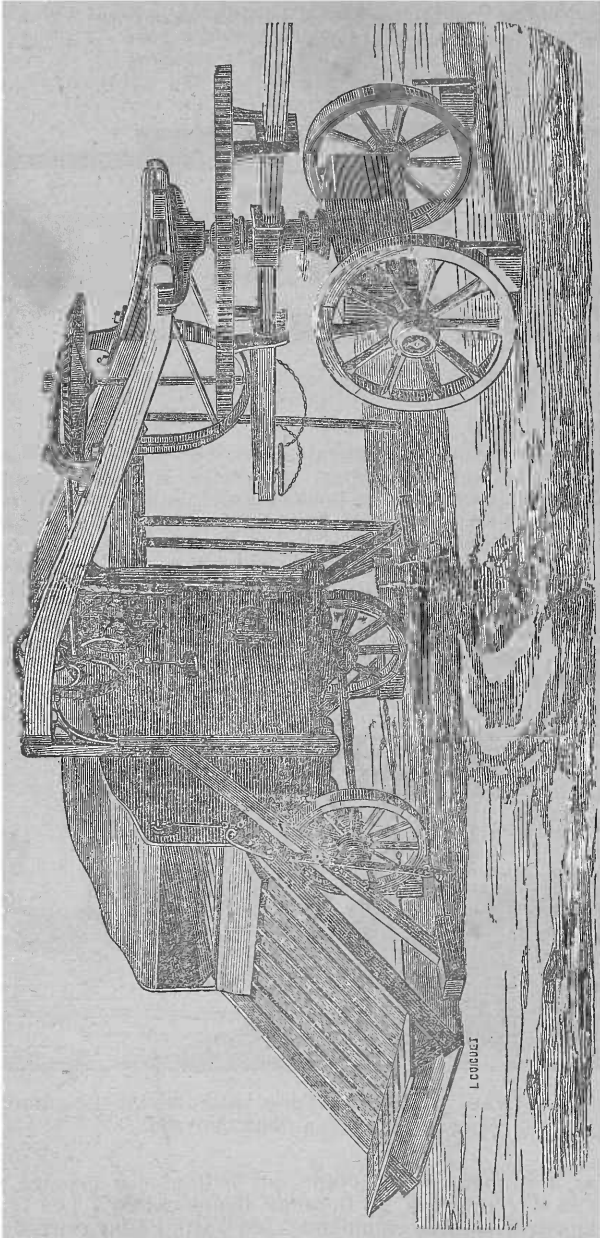


Fig. 124. — Batteuse Gautereau, disposée pour le travail.

Le manège en l'air porte une grande couronne à denture droite munie de deux flèches d'attelage; elle commande un arbre vertical qui met en mouvement l'arbre de couche horizontal de la batteuse. Celle-ci est munie d'un batteur à battes, d'un secoueur et d'un appareil de nettoyage. L'engrènement se fait en travers. Une charpente en bois réunit le manège à la batteuse; enfin, l'ensemble est monté sur quatre roues, ce qui rend le transport facile. On compte qu'une machine à deux chevaux, du poids de 2.370 k., et coûtant 1.950 fr., peut battre et vanner le grain de 60 à 100 gerbes à l'heure

Compression des Fourrages

Presses actionnées par manège. — Les manèges servent souvent à commander des presses à fourrages à action continue, dont le but est de comprimer le foin ou la paille en balles d'un chargement et d'un transport faciles. Cette compression réduit considérablement le volume du fourrage, on arrive à en loger de grandes quantités dans un espace restreint. La densité est portée jusqu'à 300 et 400 kilos au mètre cube. La conservation se fait mieux; l'arôme, la coloration, de même que la valeur nutritive, sont supérieures. Si on envisage la question de transport à grandes distances, la compression s'impose pour les achats de l'armée et des grandes compagnies, employant des chevaux pour la traction.

Il nous suffira de signaler ici quelques presses, dont nous donnerons la description détaillée dans un fascicule suivant. En principe une presse à fourrages à action continue, se compose d'une caisse en bois, prismatique, à section rectangulaire plus étroite à la sortie qu'à l'entrée. Elle porte une trémie par laquelle on engage la matière à comprimer, qu'un piston chasse en arrière. Le fourrage s'accumule par couches de 2 ou 3 centi-

mètres d'épaisseur; lorsqu'elles sont en nombre suffisant, on place des plateaux en bois pour former une nouvelle balle, celle qui sort est liée avec du fil de fer et présente la forme suivante (fig. 125).

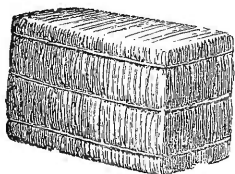


Fig. 125. — Fourrage pressé en balle prismatique (presse Déderrick).

Le principe de la presse Pilter n'est plus le même, la balle est cylindrique et sa formation se fait par l'enroulement d'un cordon de fourrage en spirale.

Le mouvement de va-et-vient du piston est donné par une flèche à mouvement circulaire continu, soit par une flèche à mouvement semi-circulaire alternatif.

Dans le premier cas, on a la presse Déderrick, construite par la Maison Albaret, de Liancourt (Oise) (fig. 126). Elle est actionnée par un manège locomobile que nous avons décrit

précédemment, mû par quatre chevaux. Cette machine peut presser 1.000 k. de foin à l'heure, les balles atteignent une densité de 350 à 400 kilos au mètre cube.

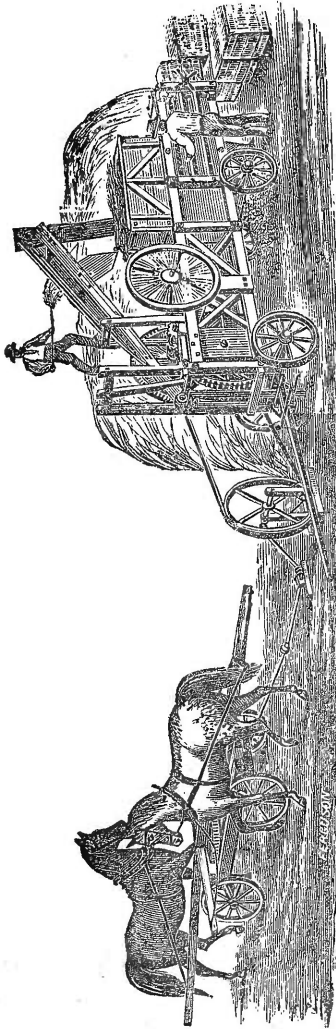


Fig. 126. — Presse Dédéric en travail (Albaret).

La nouvelle presse Whitman est aussi à mouvement circulaire continu, la commande de la tige du piston se fait par came.

Dans les presses à mouvement semi-circulaire alternatif, on a les presses Tristchler, de Limoges, d'Albaret et de Withman, de la Maison Mot, de Paris. Dans celle-ci (fig. 127), l'animal fait décrire à la flèche de commande environ $\frac{1}{3}$ de circonférence, le conducteur est obligé de lui faire changer le sens de sa marche en faisant revenir les animaux pendant que le piston est ramené à son point de départ par la réaction du fourrage. La compression des balles est réglée par des vis à volant A et B, qui rétrécissent la sortie de la caisse. Quand on veut faire fonctionner cette machine, on la cale solidement avec des traverses et des contre-fiches JJ. Par heure, on presse de 15 à 20 balles, pesant 55 k., et d'une densité de 338 k. au mètre cube.

Les manèges commandant les presses sont mis en marche par des chevaux ou par des bœufs.

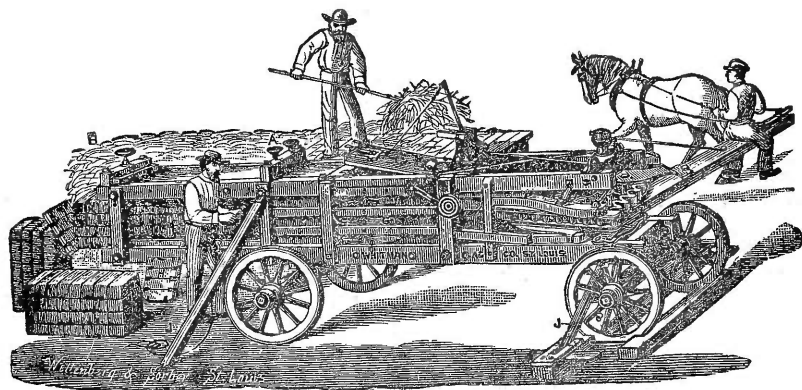


Fig. 127. — Presse Whitman en travail (Mot, de Paris).

Élévation des Eaux dans les Exploitations rurales.

Dans une ferme l'eau est indispensable pour une foule de besoins sur lesquels nous n'insisterons pas. Si on ne possède pas de source à proximité, ou si on ne peut amener l'eau par une canalisation spéciale, on est obligé d'avoir recours à des machines élévatoires commandées par un moteur. Dans ce cas, le manège actionné par les animaux de la ferme est l'appareil le moins coûteux auquel on puisse avoir recours.

Parmi les machines élévatoires qu'on pourra installer, il faut citer les norias, les pompes à chapelet et les pompes à piston. Nous donnerons quelques exemples de ces machines, qui pourront servir de guide aux propriétaires.

La noria (*fig. 128*), se compose en principe d'une double chaîne à maillons métalliques, sur laquelle sont fixés des seaux en métal, de forme rectangulaire, en nombre variable suivant la profondeur du niveau de l'eau à atteindre. Cette chaîne passe sur deux tambours à pans; l'un est situé dans l'eau, l'autre est calé sur le bâti du manège, à 0 m. 75 environ au-dessus du sol, pour permettre le déversement des auges. De plus, il est à lanterne, avec partie centrale creuse, pour permettre à l'eau de s'échapper au dehors par une conduite en bois placée en dessous.

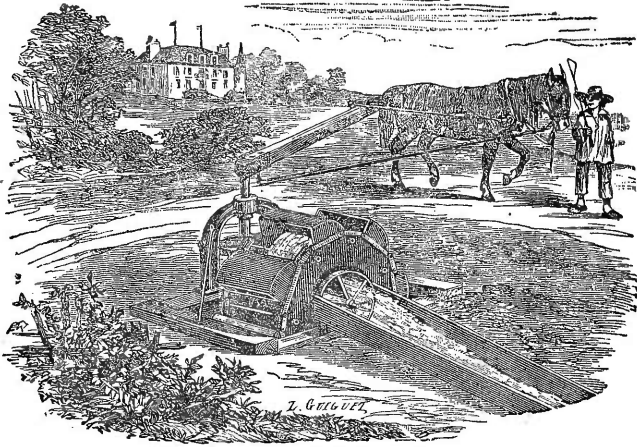


Fig. 128. — Installation d'une noria (Société de Matériel agricole de Vierzon).

Le mouvement est transmis à l'axe du tambour supérieur, au moyen d'un pignon conique engrenant avec la roue de commande du manège. Une flèche d'attelage complète l'installation. Le rapport des engrenages doit être tel que la vitesse d'élévation de la chaîne soit comprise entre 0 m. 15 à 0 m. 30 par seconde, pour éviter la rupture et les balancements. La capacité moyenne des auges est comprise entre 7 à 8 litres. Le rendement mécanique d'une noria, d'après Navier, est de 88 0/0 environ.

Les norias sont assez répandues dans les pays chauds.

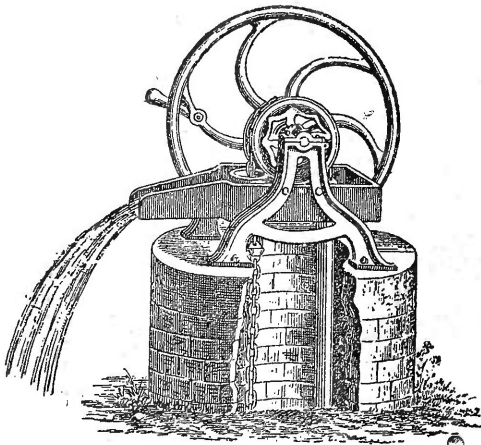


Fig. 129. — Principe de la pompe à chapelet (Mot, Paris).

La pompe à chapelet, ou pompe-chaine est aussi beaucoup employée lorsqu'on veut élever de grandes quantités d'eau. En principe, elle se compose d'un tuyau vertical en fonte ou en cuivre, ouvert à ses deux extrémités; la partie inférieure est évasée en entonnoir, et la partie supérieure vient déboucher dans une auge de déversement (*fig. 129*). Ce tube plonge dans l'eau du puits et est fixé solidement à ses parois. Un peu au-dessus du sol est monté un bâti en fonte portant un axe horizontal sur lequel est calée une poulie à gorge hérissée de saillies. Sur cette poulie passe une chaîne à maillons en fer, portant, de distance en distance, des rondelles en fonte ou en caoutchouc tronconiques, appelées obturateurs. L'un des brins de cette chaîne tombe librement dans le puits, tandis que l'autre remonte par le corps de pompe.

La marche est facile à saisir. En faisant tourner la poulie à gorge, la chaîne est entraînée, et en montant dans le tuyau elle chasse une colonne d'eau emprisonnée entre les obturateurs; ceux-ci font l'office de pistons. Arrivée en haut du tube, l'eau se déverse au dehors par le dégorgeoir.

Ces machines peuvent puiser de l'eau jusqu'à 40 mètres de profondeur quand elles sont commandées par manège.

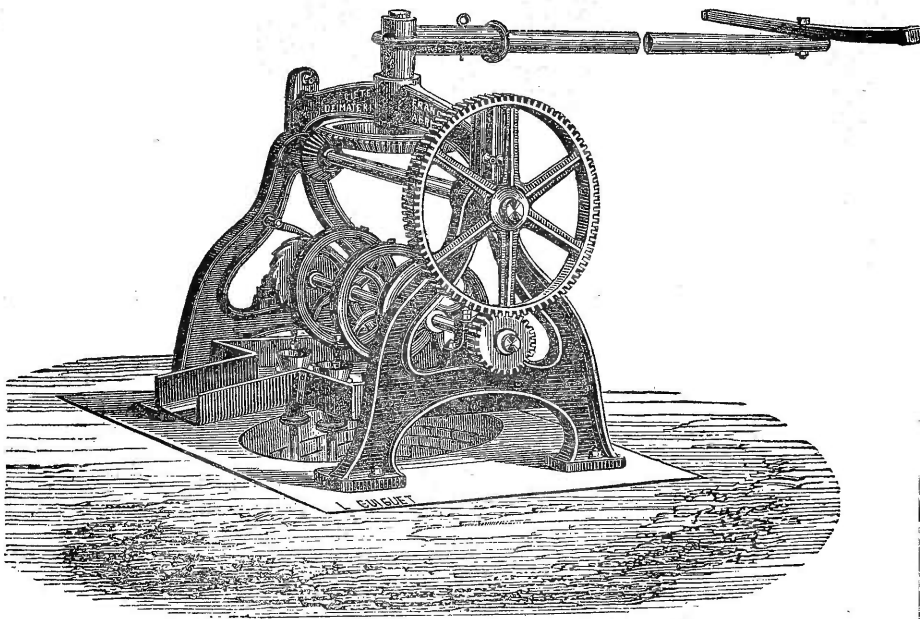


Fig. 130. — Installation d'une pompe à chapelet à 3 corps (Société de matériel agricole de Vierzon).

La figure 130 montre une installation de ce genre, construite par la Société de Matériel agricole de Vierzon. Sur un bâti en fonte est monté un manège qui transmet son mouvement par deux paires d'engrenages à un arbre de couche portant 3 poulies à gorge. Celles-ci commandent des chaînes à chapelet passant dans 3 tuyaux verticaux descendant dans le puits. L'eau élevée est déversée dans un dégorgeoir unique. Une roue à rochet calée sur l'arbre de couche évite les accidents de recul.

On trouve dans la figure 131 une autre disposition. Le manège est placé à côté du puits, sur un massif en maçonnerie. Il commande un arbre de couche horizontal qui se prolonge sur le puits, où sont calées les poulies à gorge des chaînes à chapelet. La Maison Mot, de Paris, livre le manège, avec un corps de pompe, au prix de 325 fr. et à 400 fr. lorsqu'il y en a deux.

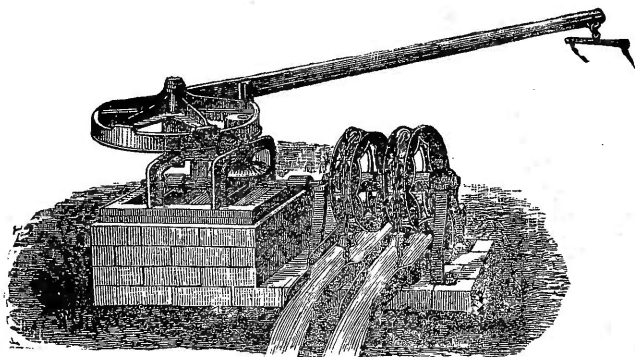


Fig. 131. — Installation Mot pour pompe à chapelet.

M. David, d'Orléans, établit le manège et la pompe sur un massif en maçonnerie circulaire, dont la périphérie forme auge et réservoir d'eau. Cette disposition est excellente pour abreuver une grande quantité d'animaux.

Pour les irrigations, certains constructeurs ont établi des pompes à chapelet avec leurs manèges, sur des chariots permettant de les transporter. Citons : MM. Sauzay, Fourmis-Benoist, Beaume, etc.

Le débit des pompes à chapelet est assez variable ; on admet en pratique qu'un cheval peut élever environ 90 à 100 mètres cubes d'eau par heure, à la hauteur de 1 mètre. Les tubes de ces pompes doivent avoir un diamètre d'autant plus petit que la profondeur du puits est plus grande ; on les fait depuis 0 m. 04 jusqu'à 0 m. 10, pour des profondeurs de 3 à 40 mètres. D'après M. Ringelmann, une pompe simple de Beaume débite à l'heure de 4.000 à 15.000 litres d'eau, pour des profondeurs variant entre 40 à 6 mètres ; deux pompes accouplées du même constructeur débiteraient 18.000 à 50.000 litres d'eau à l'heure, la profondeur variant entre 15 à 3 mètres.

Quant au rendement mécanique, on a encore peu de chiffres exacts à ce sujet, car il varie avec le débit de la pompe, plus celui-ci est grand, plus le rendement est élevé.

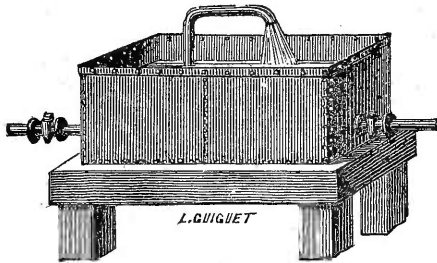


Fig. 132. — Réservoir monté sur une charpente, pour jardin.

Lorsqu'on veut élever l'eau dans un réservoir pour la distribuer ensuite par des conduites dans les locaux de la ferme, on est obligé d'employer des pompes à piston. Le réservoir est ordinairement métallique, de forme prismatique (fig. 132), ou cylindrique (fig. 133). Il est posé dans un endroit élevé d'un bâtiment, ou sur une charpente en bois, ou sur une construction en forme de tour, appelée *château d'eau* (fig. 133). On doit toujours faire déboucher le tuyau de refoulement au-dessus du niveau supérieur que l'eau atteint dans le bassin.

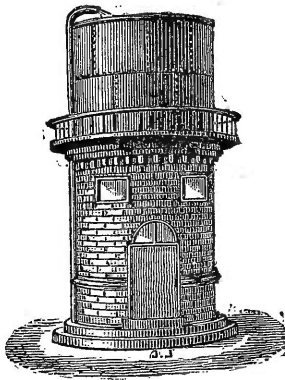


Fig. 133. — Réservoir monté sur une tour en maçonnerie.

Les pompes employées peuvent être *aspirantes et élévatoires* ou *aspirantes et foulantes*. Dans la pose de ces machines, on ne doit pas oublier qu'elles ne peuvent aspirer l'eau au-delà de 7 à 8 mètres de profondeur. Dans les cas où cette hauteur n'est pas dépassée, on installera les pompes au niveau du sol, à côté du manège.

Si l'aspiration atteint 8 à 10 m. et plus, comme dans les puits, on est obligé de descendre la pompe dans l'intérieur et de la fixer solidement à la paroi. On commande le piston par une longue bielle.

Pour un puits profond il est préférable d'employer une pompe aspirante et élévatoire, parce que la bielle du piston ne travaille qu'à l'extension, c'est-à-dire quand elle remonte. On évite les cassures.

Ce genre d'installation est représenté par la figure 134. D'un côté on a un manège à cloche dont l'arbre de couche se continue sur le puits. Il porte trois vilebrequins commandant les tiges des pistons de trois corps de pompe. Ces tiges sont articulées à des guides. Le tuyau de refoulement part d'un réservoir d'air faisant compression, il envoie l'eau dans le réservoir du château d'eau.

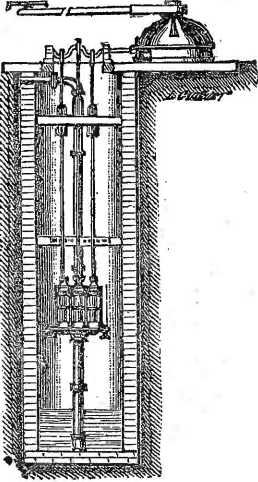


Fig. 134. — Installation d'une pompe à 3 corps pour puits profond (Société de Matériel agricole de Vierzon).

La commande devra être calculée de telle façon que l'arbre de couche des pistons exécute 25 à 40 tours par minute.

Si la pompe est très puissante, on descend jusqu'à 22.

La vitesse du piston est comprise entre 0 m. 20 à 0 m. 30 par seconde.

Avec ces chiffres, et connaissant sa course, il est facile de calculer le rapport des engrenages donnant le mouvement.

Le volume d'eau débité varie entre 0,90 à 0,95 du volume théorique engendré par le piston.

Défoncement des terres par Treuils à manège.

Le manège trouve une application considérable aujourd'hui dans la mise en marche d'un treuil chargé de conduire par câble une charrue défonceuse. Cette application tend à se multiplier rapidement dans les pays vignobles où la reconstitution ne peut se faire qu'après avoir défoncé profondément le sol. Le labour doit être, dans ce cas, au minimum de 0 m. 50 de profondeur, on va jusqu'à 0 m. 70. S'il fallait faire traîner la défonceuse par des animaux, leur nombre ne serait pas moins de 14. Sans insister sur la difficulté de conduire un tel attelage et sur les pertes de force dues aux irrégularités de traction, on comprendra aisément que si, avec un manège à deux chevaux, on peut mettre en mouvement la charrue en question, on fait

une économie considérable de capital, de nourriture, etc. Le treuil à manège est la machine de petite culture et même des entrepreneurs. Il remplace avantageusement, pour les petites surfaces, les appareils à vapeur de Howard, Fowler, etc.

Principe du treuil à manège. — Dans le treuil à manège on doit distinguer : 1° le *manège*; 2° le *treuil* ou *cabestan*.

Le manège se compose d'un bâti FFFF, portant un axe vertical a (fig. 135), fixe ou mobile, et d'un manchon porte-flèches L.

Le treuil est formé par un tambour à joues T, calé sur l'axe a , ou mobile, sur lequel s'enroule un câble en fil de fer ee , à l'extrémité duquel est attachée la charrue défonceuse C.

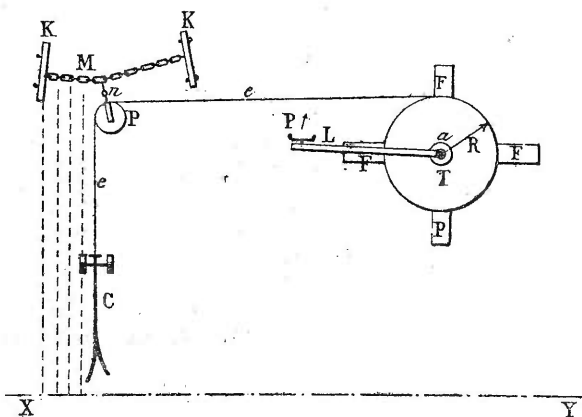


Fig. 135. — Principe du treuil à manège.

Dans les treuils où l'axe du manège est fixe, le tambour et le manchon des flèches sont mobiles, on les réunit ensemble par un embrayage à mâchoires ou par des clavettes lorsque la charrue ouvre la raie ; au contraire, on les débraye quand la charrue va reprendre à vide sa raie au bout du champ. Pendant ce temps, les chevaux sont arrêtés et le tambour tourne librement autour de l'axe ; le porte-flèches fait souvent l'office de frein pour régulariser le déroulement du câble.

Dans les treuils à axe mobile, le tambour est calé à l'axe et le manchon des flèches est fou. Pour le travail, on rend ce manchon solidaire du tambour, ordinairement avec deux clavettes qu'on retire lorsque la charrue va reprendre sa raie. Le tambour tourne alors librement, laissant le câble se dérouler.

Equilibre du treuil à manège. — Théoriquement, il est très facile d'établir l'équilibre d'un treuil de défoncement. On doit considérer deux leviers dans notre machine (fig. 135). L'un L, ou barre d'attelage, auquel est appliquée la puissance

P, ou effort du cheval; l'autre R, ou rayon du tambour, sur lequel agit tangentiellement une résistance Q, occasionnée par le poids de la charrue et la bande de terre à retourner.

Pour qu'il y ait équilibre, il faut que le moment $P \times L =$ moment de $Q \times R$, ou $P \times L = Q \times R$. On peut encore exprimer cette égalité de la façon suivante : la puissance P est à la résistance Q comme la longueur de la barre d'attelage L est au rayon R du tambour. Ou, $\frac{P}{Q} = \frac{R}{L}$.

Application et considérations générales. — Soit un treuil ayant une flèche L de 4 mètres, sur laquelle un cheval exerce un effort de traction de 35 kilogrammes; soit d'autre part un tambour d'un rayon R de 0 m. 30, on demande à quelle résistance Q peut faire équilibre le cheval si on ne tient pas compte du frottement?

En appliquant la formule $\frac{P}{Q} = \frac{R}{L}$, on a :

$$\frac{35}{Q} = \frac{0,30}{4} \text{ et,}$$

$$Q = \frac{35 \times 4}{30} = 466 \text{ kilogrammes } 66.$$

Comme généralement le manège est à deux chevaux, ceux-ci pourraient théoriquement, s'il n'y avait pas de perte, équilibrer une résistance de 933 kgr. 32.

Le treuil n'est donc que l'application du levier, il permet, avec l'effort de 2 chevaux, d'obtenir des labours de 0 m. 50 à 0 m. 70 de profondeur, suivant les sols.

On peut même faire varier à l'infini la puissance d'un treuil en modifiant la longueur des flèches d'attelage et le rayon du tambour d'enroulement. En principe, plus la flèche L est longue et R petit, moins l'effort P doit être élevé pour faire équilibre à une résistance Q. Cependant, on doit rester dans certaines limites pour faire du treuil un appareil pratique. Si, en effet, on avait de grandes flèches et un petit tambour, il faudrait aux animaux un temps très long pour exécuter un tour de piste, le câble s'enroulerait d'une faible longueur et la charrue avancerait fort peu. Avec un appareil de ce genre, il faudrait peu de force, mais on ferait peu de travail. En général, pour un treuil simple, on établit les flèches et le tambour dans le rapport de 10 à 1. Si nous prenons pour exemple une flèche de 3 m. 60 de longueur, un tambour d'un rayon de 0 m. 36, et d'autre part, si le cheval marche à raison de 0 m. 90 par seconde, la charrue avancera 10 fois moins, soit 0 m. 09 par seconde, ou de 5 m. 40 par minute. La vitesse de la charrue, pour des labours de 0 m. 50, 0 m. 60 à 0 m. 70 de profondeur, devra être de 0 m. 10, 0 m. 09 et 0 m. 08 par seconde. Lorsque la charrue est ramenée à vide par câble, on pourra lui donner une vitesse de 0 m. 45 par seconde.

Le rendement du treuil n'a été déterminé, jusqu'ici, que par M. Chabaneix, de l'école d'agriculture de Montpellier. Il résulte de ses essais que le rendement mécanique a été de 89 0/0 du travail produit, 11 0/0 ont été absorbés par le frottement. Mais il est à remarquer que le treuil expérimenté est le type Beauquesne, sans engrenage.

Pratiquement, nous ne devons donc compter avec le treuil à deux chevaux que nous avons choisi plus haut, que sur $933,32 \times 0,89 = 830$ k. 65, pour équilibrer le charrue, et non sur 933 k. 32, comme la théorie l'indique.

La mise en marche des treuils peut se faire par chevaux, mulets ou bœufs. Dans ce dernier cas, il faut donner au tambour d'enroulement un plus grand diamètre, pour ne pas diminuer la vitesse d'avancement de la charrue. Chez le bœuf on ne doit compter au manège que sur une allure de 0 m. 60 par seconde.

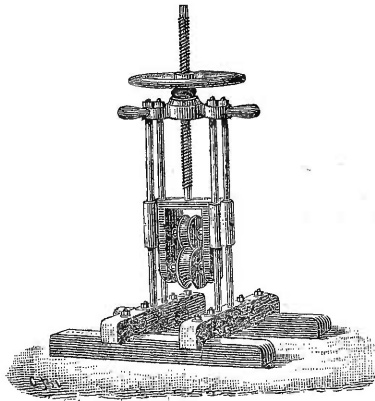


Fig. 136. — Guide-câble (Vernette).

Accessoires des treuils. — Certains accessoires sont nécessaires pour l'installation des treuils. On a le *guide-câble*, dont le type Vernette est excellent (*fig. 136*). Il se compose

d'un bâti à montants verticaux, entre lesquels coulisse une chape à vis, portant deux poulies à gorge superposées où passe le câble. Au moyen de la vis d'appel, on amène les poulies à peu près au niveau du milieu du tambour, sur lequel le câble s'enroule régulièrement.

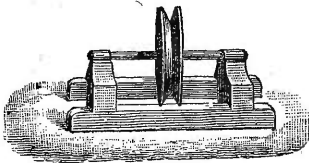


Fig. 137. — Porte-câble (Vernette).

On a les porte-câbles, formés en principe par des poulies à gorge montées sur

un bâti. Ce dernier peut être sans roues (*fig. 137*), ou avec roues (*fig. 138*).

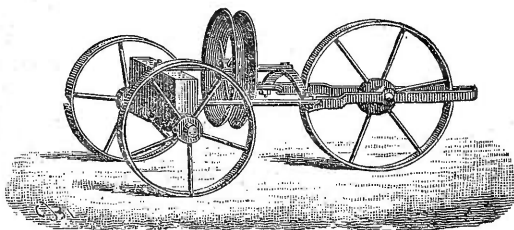


Fig. 138. — Porte-câble monté sur roues (Vernette)

Dans les treuils fixes on utilise une poulie de renvoi à gorge montée sur un plateau en bois, lequel porte une chaîne permettant de réunir l'ensemble à une amarre (fig. 139).

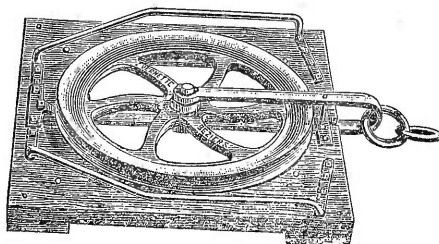


Fig. 139. — Poulie de renvoi (Vernette).

Le câble est un accessoire indispensable à tout treuil. Il est en fil d'acier, composé de 4 torons à 4 brins chacun, enroulés autour d'une âme en chanvre, le diamètre varie entre 0 m. 014 à 0 m. 022. Il doit être souple, élastique, résistant régulièrement à un effort de 40 kilogrammes par millimètre carré de section et à 80 kilogr. à la rupture. Le câble ordinaire se vend à raison de 1 fr. le mètre courant.

Différents systèmes de Treuils à manège

Suivant l'ingénieur Desforges, ce serait vers 1815, que des tentatives d'emploi de treuil auraient été faites par un vieux marin, dans le département des Pyrénées, pour défricher ses terres. En 1834, M. Aubert, dans les Basses-Alpes, aurait aussi fait usage du treuil. Il faut arriver à l'année 1876, pour voir

cette machine utilisée d'une manière pratique. C'est de cette époque que datent les Treuils Grué, de Solliès-Pont (Var); puis vinrent les treuils de MM. Bourguignon, Beauquesne.

Aujourd'hui, beaucoup de constructeurs se sont fait une spécialité de ce genre de machines; citons notamment les treuils Grué, Beauquesne, Musquère, Bourguignon, Bajac, Vernet, Pelous, Guyot, etc.

Classification des Treuils. — On peut classer les treuils à manège en deux grandes catégories: 1^o En treuils travaillant à poste fixe (*treuils fixes*); 2^o En treuils travaillant à poste mobile (*treuils à déplacement*).

On peut aussi faire cette deuxième classification: 1^o *Treuils à simple effet*, ne faisant travailler la charrue que dans un sens; 2^o *treuils à double effet*, faisant travailler la charrue dans les deux sens (aller et retour). Il est à remarquer que les treuils fixes ou mobiles, peuvent être à la fois à simple ou à double effet. On peut donc faire le tableau synoptique suivant, résumant la classification.

A Treuils fixes	{ 1 ^o à simple effet.
	{ 2 ^o à double effet.
B Treuils mobiles.	{ 1 ^o à simple effet.
	{ 2 ^o à double effet.

A. — Treuils fixes. — Les treuils à manège de cette catégorie reposent sur une semelle en forme de croisillon FFFF (*fig. 135*), ou de cadre rectangulaire en bois ou en fonte, sur laquelle est monté le mécanisme.

Pour le travail, on place l'appareil à un angle du champ à défoncer, en enfonçant la semelle en terre, puis on relie le câble *ee* du tambour T à une poulie de renvoi à gorge P, ancrée à un angle de la fourrière; enfin l'extrémité libre est attachée à la charrue défonceuse C. Le treuil est très stable; en le faisant tourner, le câble tire la charrue lentement, puis il vient s'enrouler sur le tambour T. Lorsque la charrue est arrivée au bout du rayage, on arrête les animaux, puis on débraye les flèches pour rendre le tambour libre afin de dérouler le câble en arrière. La charrue est ensuite sortie de terre, puis ramenée à l'autre fourrière XY, pour ouvrir une deuxième raie. Enfin, la poulie de renvoi est déplacée d'une quantité égale à la largeur d'une raie. Pour faciliter cette manœuvre et la rendre plus rapide, on tend une chaîne M plus ou moins longue, dont les extrémités sont attachées à deux madriers en bois KK, enterrés dans le sol. C'est sur cette amarre que l'on accroche, par une chaîne *n*, la poulie à gorge P, montée sur un croisillon. Les déplacements se résument donc à transporter de temps à autre la chaîne d'amarre, puis à chaque raie à avancer de quelques mailles la chaîne de la poulie de renvoi.

Toutes ces opérations terminées, il ne reste plus qu'à embrayer les flèches et à commander les animaux.

Dans ce genre de treuil, avec 250 mètres de câble, on peut, sans le déplacer, défoncer 6 hectares. La fourrière où sont installés le treuil et la poulie mesure 7 à 8 mètres de largeur, l'autre ne mesure guère que 3 mètres.

Parmi les treuils fixes on a les systèmes de M. Beauquesne, de Musquère, de Vernet, etc.

Treuil Vernet. — Il se compose (*fig. 140*), d'un croisillon métallique, avec essieu muni de deux roues pour le transport. Au centre du bâti s'élève un axe vertical fixe, autour duquel tournent un tambour à joues et un manchon porte-flèches. Quand on veut mettre le tambour en mouvement on le réunit au manchon avec deux clavettes.

La poulie de renvoi employée est à gorge, attachée à un câble d'amarre par une attache automatique. La défonceuse que nous décrivons plus loin est très forte.

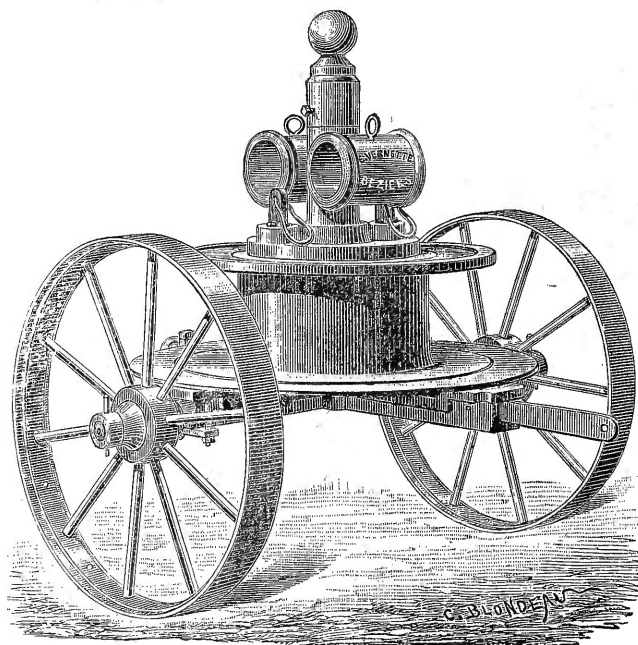


Fig. 140. — Treuil fixe de Vernet disposé pour le transport.

Pour opérer sur champ, il faut installer le treuil dans un des angles sur une fourrière ; du même côté et en face la raie à ouvrir, on fixe la poulie de renvoi au câble d'amarre, attaché à deux madriers enfoncés en terre. Le câble de traction est alors passé sur la poulie de renvoi et attaché à la charrue. A chaque raie on déplace l'attache automatique, puis on embraye pour mettre en marche, tandis qu'on enlève les clavettes pour le retour à vide.

Ce treuil avec sa charrue et ses accessoires, coûte 1,850 fr.

Treuils simples mobiles. — Les treuils de cette catégorie doivent être déplacés toutes les raies, le long d'une fourrière. Ils se meuvent sur deux rails parallèles, en T ou en double T. Ce système est le plus répandu, on trouve notamment : les treuils Grué, Bourguignon, Vernet, Bajac, Guyot, Pelous, etc.

Treuil Grué ou de Beaulieu. — Le premier treuil de M. Grué date de 1876, où il fonctionna dans sa ferme de Solliès-Pont (Var). Le type actuel se compose d'un bâti en fer, formé de poutrelles en double T, dont la base est rectangulaire, montée sur 4 galets roulant sur deux rails creux. Sur ce bâti, sont fixés deux axes verticaux mobiles ; l'un porte un tambour en tôle et cornières, et en haut une roue dentée, engrenant avec un pignon calé sur l'autre arbre, mis en mouvement par le porte-barres des chevaux. Avec cet engrenage, on peut obtenir trois vitesses, suivant la profondeur du défoncement. Quand le pignon commande la grande roue dentée, on obtient une faible vitesse, et une dépense de force de 1 peut faire équilibre à 20 de résistance. Pour un défoncement moyen, on supprime les engrenages, en calant les flèches sur l'axe du tambour ; 1 de force dépensé, fait équilibre à 10 de résistance. Enfin quand le défoncement exige peu de force, on fait commander le pignon par la grande roue, en les déplaçant d'axe ; 1 de force dépensée ne fait plus équilibre dans ce cas, qu'à 5 de résistance. Le déplacement des engrenages se fait rapidement.

Ce treuil sans câble ni charnue, coûte 1,600 fr. ; on lui adjoint souvent la grosse défonceuse de M. Durand, de Montereau, coûtant 950 fr. environ.

Treuils Bajac. — M. Bajac, de Liancourt, construit plusieurs systèmes de treuils actionnés par animaux, ils sont tous à déplacement sur rails.

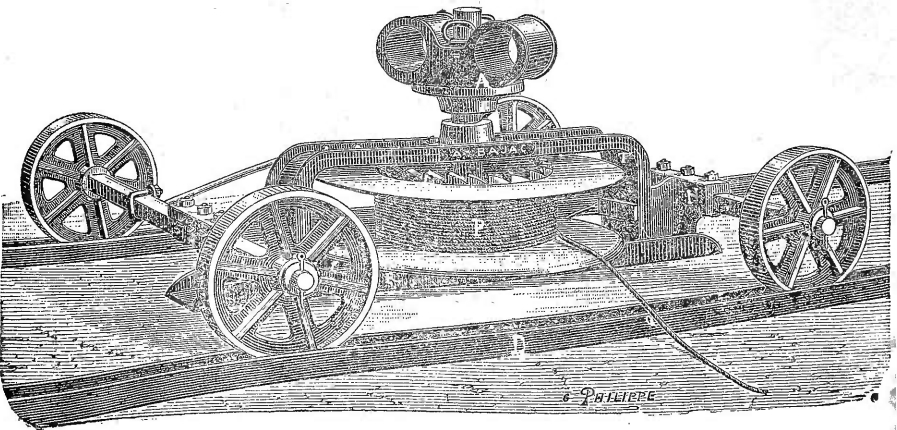


Fig. 141. — Treuil simple de M. Bajac.

La figure 141 indique son treuil à simple effet. Le bâti est formé par une semelle de fer en U, R, sur laquelle est boulonnée une chaise T portant des pattes H fixées solidement à deux essieux C munis de roues. Entre la semelle et la chaise se trouve un tambour à joues P, calé sur un axe vertical tournant inférieurement dans une crapaudine. Il est à remarquer que les joues du tambour sont en tôle d'acier et fixées à l'aide de solides

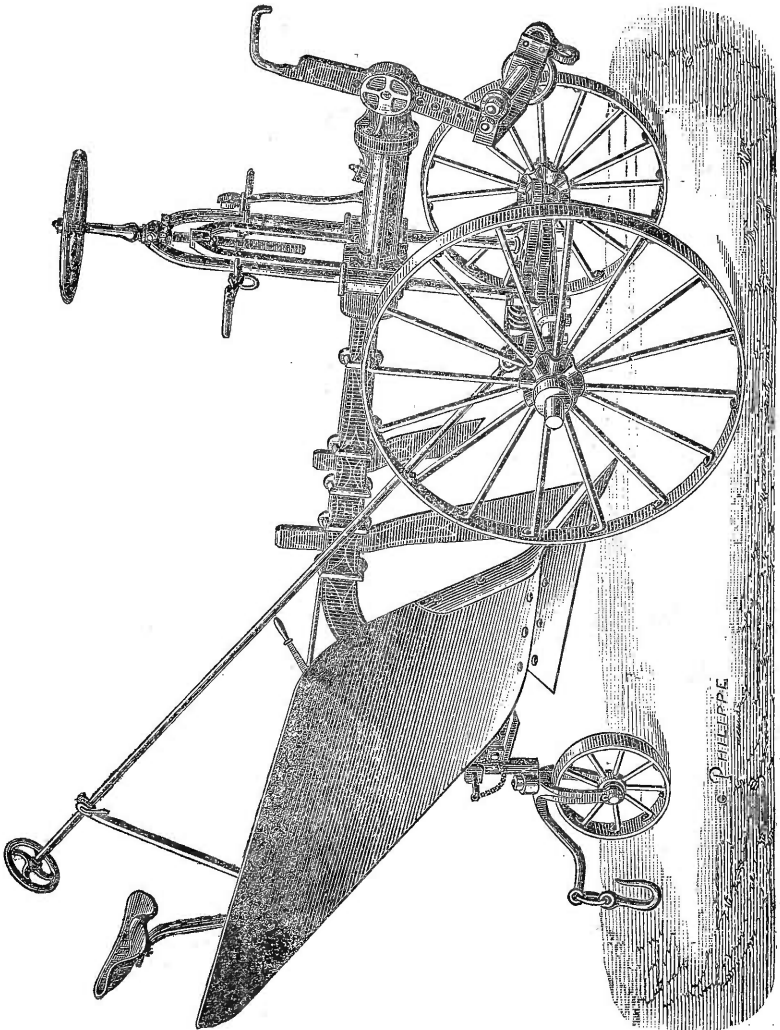


Fig. 142. — Charrue défonceuse Bajac.

boulons. Les joues en acier n'ont jamais le risque de se rompre comme la fonte. La partie supérieure de l'arbre porte un manchon porte-flèches A, non calé, reposant sur un plateau circulaire calé à l'axe. On rend solidaires ces deux pièces au moment de la traction de la charrue par deux clavettes qui sont enlevées pour la ramener à vide quand elle va reprendre la raie. Le bord intérieur du tambour porte un rochet d'arrêt, afin d'éviter le recul lorsque les chevaux sont en marche.

Dans le champ, le treuil occupe une fourrière, ou est monté sur deux rails creux D, son poids seul suffit pour le maintenir stable. A l'extrémité du câble *a* on attache la charrue défonceuse (fig 142). Cet instrument est de construction rustique et peut résister à des efforts considérables ; on peut exécuter avec, des labours de 0 m. 50 à 0 m. 60 de profondeur. Les pièces travaillantes sont très solides, l'avant-train est très sensible au régulateur que manœuvre le conducteur de son siège placé à l'arrière de la charrue. L'ensemble pivote à droite ou à gauche ; quant à la profondeur elle se règle par des vis montantes, élevant ou abaissant les roues. Cette défonceuse pèse depuis 350 k. jusqu'à 750 k., vendue à raison de 1 fr. 30 le kilogr.

M. Bajac adopte souvent à son treuil simple une autre défonceuse simple, genre bascule, dont l'un des bouts forme flèche de déterrage.

Défoncement à deux treuils simples de Bajac.

— Lorsque dans un vignoble on a de grandes surfaces à défoncer, nous conseillons d'employer une charrue à bascule, commandée par deux treuils simples. Les entrepreneurs auront aussi intérêt très souvent à adopter ce dispositif.

La figure 143, indique une vue d'ensemble où deux treuils Bajac sont en travail. Sur les deux fourrières sont établis sur leurs rails les treuils M et N ; leurs câbles sont attachés à la charrue C, de la façon suivante : celui qui s'enroule en M, est attaché au corps de charrue travaillant ; celui qui se déroule en N, est fixé au corps de charrue relevé en l'air et ne travaillant pas. Chaque manège est attelé de deux chevaux.

La charrue à bascule à employer varie de force, suivant le défoncement que l'on veut obtenir. Pour une profondeur n'excédant pas 0 m. 60, on utilisera le modèle représenté par la figure 144. Dans celle-ci, l'age pivote sur l'avant-train ; la profondeur se règle par les montants à vis portant les roues ; la largeur s'obtient par un gouvernail manœuvré par vis ou par levier, que le conducteur, assis à l'arrière de la charrue commande à la main. Le poids varie entre 500 et 1,200 k., la vente se fait à raison de 1 fr. 30 le k.

En se reportant au dessin d'ensemble (fig. 143), on voit que les treuils doivent travailler alternativement. Quand l'un travaille et tire la charrue, l'autre est arrêté, mais son tambour est débrayé pour permettre au câble de se dérouler. Quand la charrue est arrivée au bout de la raie, on la bascule, c'est-à-dire que le côté ne travaillant pas précédemment ouvrira la raie, puis le treuil qui fonctionnait est débrayé, tandis que l'autre est mis à son tour en mouvement. De cette façon, les chevaux ont un repos toutes les deux raies, ce qui est un



Fig. 143. — Vue d'ensemble d'un champ où travaillent deux treuils simples de M. Bajac.

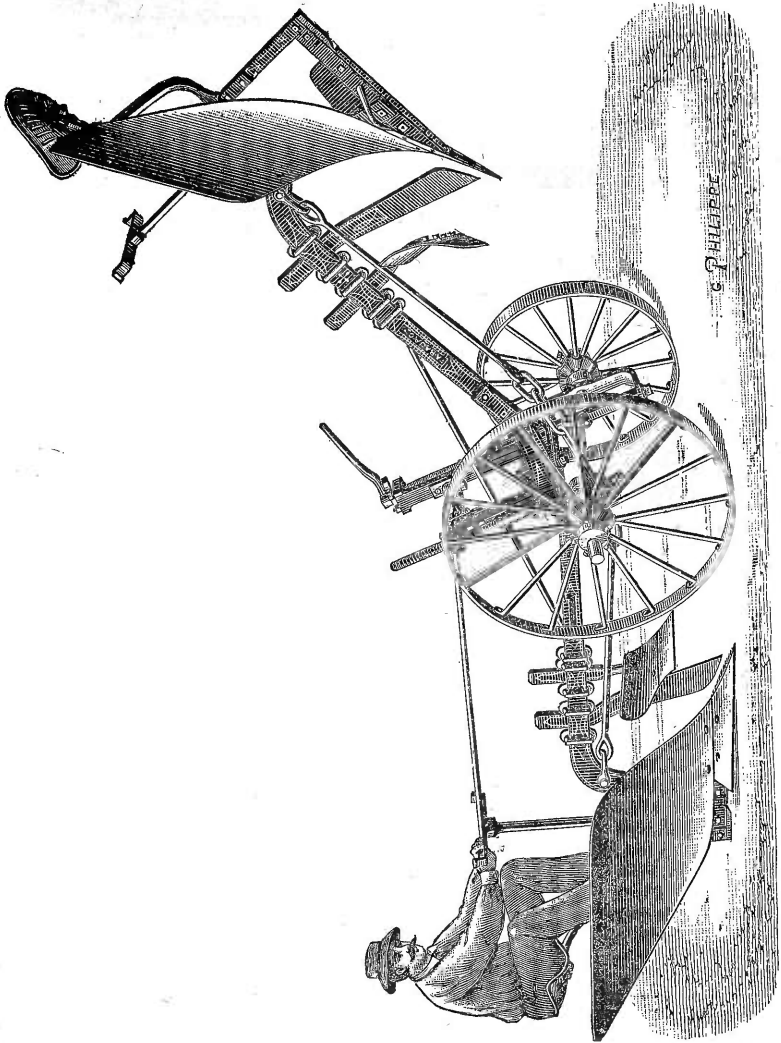


Fig. 144. — Charrue à bascule de M. Bajac, servant au défoncement par deux treuils simples.

avantage considérable. Si le voyage n'est pas trop long, deux hommes peuvent suffire pour déplacer les treuils, guider la charrue, et commander les chevaux.

Treuil simple avec retour à vide de M. Bajac. — Ce treuil est ainsi appelé parce qu'il met la charrue en mouvement à l'aller et au retour ; cependant elle ne travaille que dans un

sens ; quand elle retourne prendre la raie, elle marche à vide.

La figure 145 représente le treuil en question. Le bâti est en acier en U, monté sur quatre roues. Entre la semelle O et la chaise du bâti II, sont deux axes verticaux D et *a*, tournant indépendamment dans des crapaudines. Autour de D tourne un tambour à joues M, où s'enroule un câble *a* tirant la charrue lorsqu'elle ouvre la raie. La joue supérieure est à rochet T muni d'un cliquet A. Au-dessus de ce tambour est calée sur l'axe D une roue dentée R, enfin l'extrémité porte un manchon porte-barres FF. Le mouvement est communiqué au tambour M en le reliant par deux clavettes *cc* à la roue dentée R ; quand on veut le rendre fou pour dérouler le câble, on les enlève.

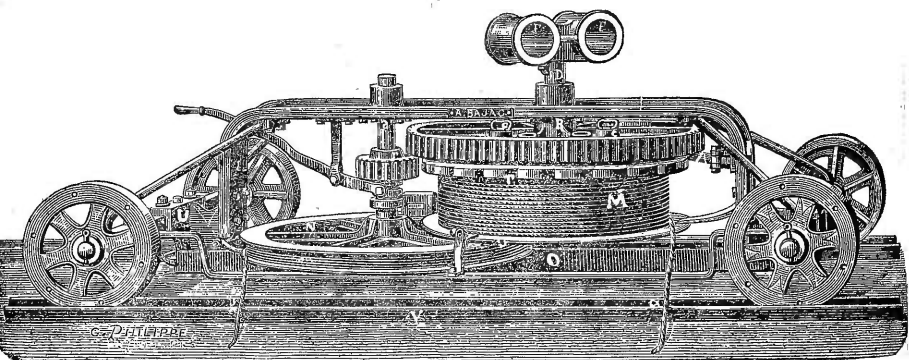


Fig. 145. — Treuil simple avec retour à vide de M. Bajac.

Sur la partie inférieure de l'axe *a* est calée une poulie à gorge de grand diamètre N, où s'enroule un câble *f* de retour. Il est mis en mouvement par un pignon fou *r*, en le rendant solidaire à l'axe par un embrayage à mâchoires H.

Voici comment on opère sur champ (*fig. 146*). Le treuil A est placé sur ses rails dans une fourrière, puis à l'autre extrémité, on fixe perpendiculairement au rayage, une chaîne d'amarre à des piquets enfoncés profondément dans le sol, ou mieux à des plateaux-arrêtoirs en bois. Enfin, à cette amarre on accroche une poulie de renvoi à gorge H. Les câbles sont alors attachés à la charrue C de la façon suivante : celui du tambour est attaché à l'age près du versoir, il passe sur un galet en avant ; celui de la poulie de retour est attaché à l'étançon d'arrière, puis il vient passer sur la poulie de renvoi H et va s'enrouler sur la poulie à gorge du treuil N, (*fig. 145*).

La défonceuse étant en raie et la poulie à gorge débrayée, on met en marche. Le câble du tambour M, entraîne la défonceuse tandis que le câble de retour *f*, se déroule.

Au bout de la raie voici les manœuvres à faire pour ramener la défonceuse en arrière. On commence par débrayer le tambour en enlevant les clavettes qui le réunissaient à la couronne

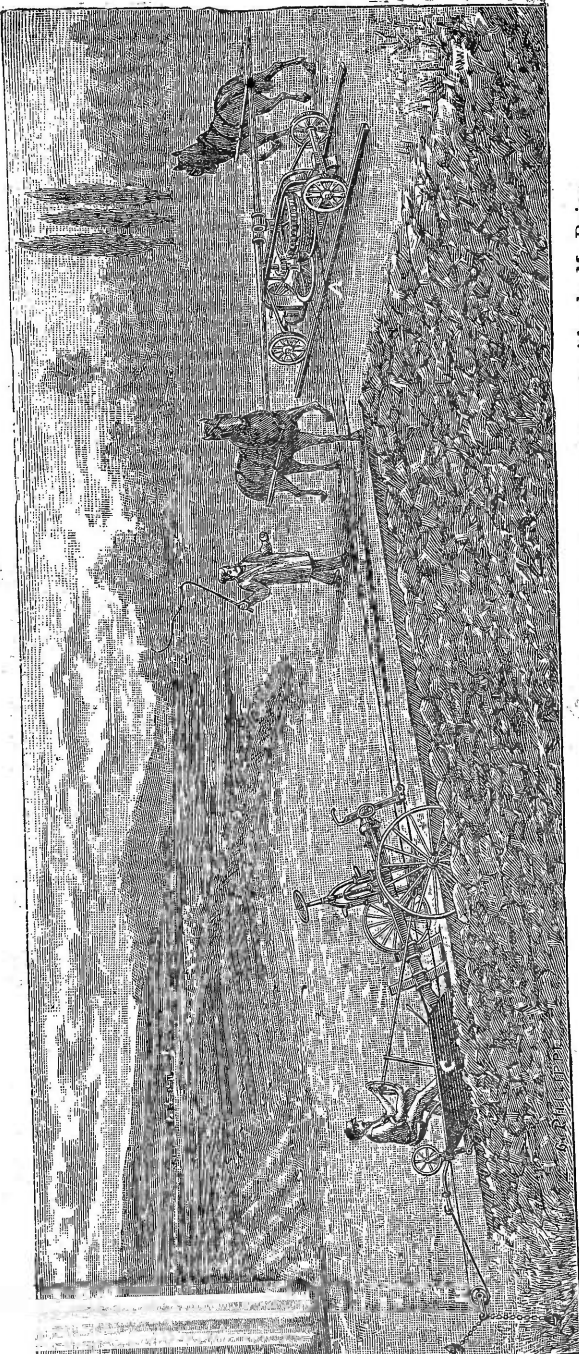


Fig. 146. — Vue d'ensemble d'un défoncement à treuil simple avec retour à vide de M. Bajac.

dentée R, puis on embraye le pignon r de la poulie de retour. Les chevaux étant mis en marche, le câble de retour vient s'enrouler sur la poulie à gorge en ramenant en arrière la défonceuse, tandis que le brin d'aller se déroule. A chaque raie, il faut faire avancer le treuil sur ses rails et porter la poulie de renvoi de quelques mailles en avant sur la chaîne d'amarre.

Ce treuil, avec ses accessoires comprenant une poulie de renvoi, des rails, 225 mètres de câble pour appel de la charrue, 450 mètres pour retour, un chariot de transport, coûte 2.000 fr. On peut exécuter des défonceurs depuis 0 m. 50 à 0 m. 70 de profondeur.

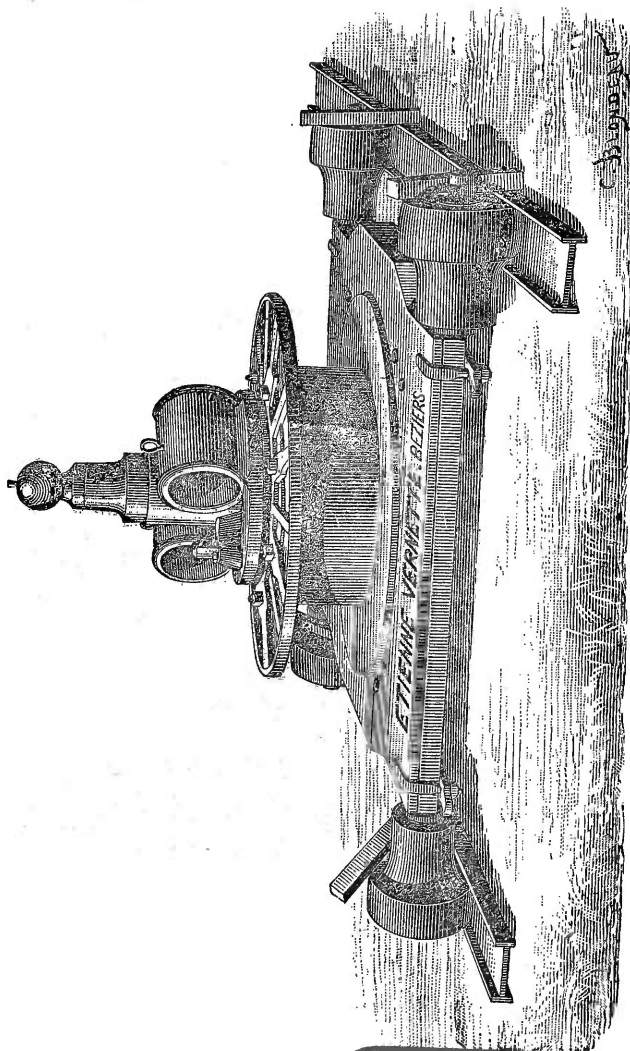


Fig. 147. — Treuil simple de M. Vernet

Treuil Vernette. — M. E. Vernette, de Béziers, construit un treuil à déplacement sur rails, très simple (*fig. 147*). Il se compose d'un plateau métallique formant semelle, muni de deux essieux à galets roulant dans des rails à double T. Sur la semelle est boulonné un croisillon en fonte portant en son centre un arbre vertical fixe. Autour de celui-ci tourne un tambour à jantes de 0 m. 60 de diamètre, où s'enroule le câble de la charrue. Au-dessus, se trouve le porte-flèches, muni inférieurement d'un plateau qu'on rend solidaire au tambour par deux clavettes mobiles à volonté. On peut voir sur la figure que le câble peut prendre toutes les directions parce que le bâti n'a pas de chaise.

Pour faire fonctionner ce treuil, on le place sur deux rails creux, le long de la fourrière et en face de la raie à ouvrir. Des piquets en fer maintiennent l'appareil stable. La charrue étant à l'autre extrémité du champ, on embraye le porte-flèches avec le tambour en plaçant les clavettes. Les chevaux, en tournant, amènent la défonceuse; lorsqu'elle est arrivée au bout de la raie, on la charge sur un trainoir, et un cheval la ramène à l'arrière, mais on a soin d'enlever les clavettes pour débrayer le tambour.

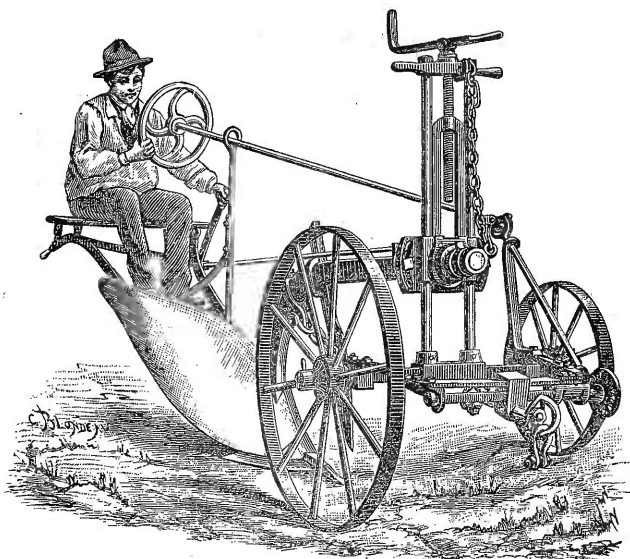


Fig. 148. — Défonceuse Vernette.

La défonceuse Vernette pour treuil est représentée par la figure 148. L'age repose sur un avant-train, à l'arrière elle porte un coutre et un versoir puissants. La profondeur se règle par une vis de terrage; enfin la largeur de bande est obtenue par le déplacement d'un écrou auquel est attaché le câble. Cet

écrou est porté à droite ou à gauche au moyen d'une vis commandée par une paire d'engrenages recevant le mouvement d'un arbre à volant que l'ouvrier manœuvre assis de l'arrière de la charrue.

Le treuil coûte 860 fr. et la charrue 750 fr.

Surface labourée dans une journée par un treuil simple et prix de revient du défoncement à l'hectare.

— On peut comprendre après l'étude des treuils à simple effet que nous venons de faire, qu'il est difficile de donner des chiffres très exacts en ce qui concerne la surface défoncée par jour. Celle-ci varie d'abord avec la profondeur du labour; ensuite avec la longueur du rayage. L'habileté des conducteurs consommés dans le mode opératoire du défoncement, n'est pas étrangère à la rapidité d'exécution du travail. Pour calculer la surface défoncée, on se basera sur la vitesse de translation de la charrue, sur la largeur de la raie et sur le nombre de tours effectués. Il faut compter que les déplacements, retours à vide, arrêts accidentels, absorbent autant de temps que le labour proprement dit, c'est-à-dire 50 0/0. En définitive, on ne doit compter que sur une surface de 8 à 10 ares par journée de dix heures, et avec un défoncement de 0 m. 50 de profondeur.

Pour établir le prix de revient d'un hectare défoncé, il faut faire intervenir les facteurs suivants :

- 1° Amortissement du capital d'achat du treuil et de sa charrue;
- 2° l'intérêt du capital ;
- 3° les dépenses journalières d'entretien;
- 4° les dépenses journalières nécessitées pour le fonctionnement.

Un matériel complet vaut environ 2.000 fr., qui doivent être amortis dans dix ans, ce qui donne par an, en prenant un intérêt de 5 0/0, un amortissement de 260 fr.

Si l'appareil fonctionne 50 jours par an, nous aurons un amortissement journalier de $\frac{260}{50} = 5$ fr. 20. La dépense annuelle

en réparations est estimée 100 fr., soit 2 fr. par jour.

Quant aux dépenses journalières pour le fonctionnement, elles seraient, d'après M. Ferrouillat, auquel nous empruntons ces chiffres, à peu près les suivantes :

3 ouvriers à 3 fr.	9 fr.
1 gamin à 1 fr. 50.	1 50
3 chevaux à 4 fr.	12

Total. 22 fr. 70

En récapitulant ces dépenses, on obtient par jour :

Frais fixes.	22 fr. 50
Amortissement du matériel.	5 20
Entretien.	2 »

Total. 29 fr. 50

En admettant qu'on puisse défoncer 10 ares de terrain par jour, il faudra 10 journées pour un hectare. Le prix de revient sera de $29,50 \times 10 = 297$ fr., ou 300 fr. en chiffre rond.

Si le treuil travaillait plus de 50 jours par an, le prix de revient serait diminué, à cause de la répartition de l'amortissement et de l'entretien sur un plus grand nombre d'heures ; au contraire, s'il travaillait moins de 50 jours, il y aurait augmentation.

III

Cames.	47
Bielle et manivelle.	47
Embrayages, débrayages et encliquetages.	48
Volants et régulateurs.	49
Joints.	50
Transmissions téléodynamiques.	50

Etude des Moteurs et des Machines motrices employées en Agriculture.

Transformation et conservation de l'énergie dans un moteur.	54
Sources d'énergie.	55
Machines calorifiques ou thermiques.	55
Mode d'action de l'énergie développée par un combustible.	55
Mode d'action de l'énergie développée par un aliment.	55
Equivalent mécanique de la chaleur (la calorie).	56
Comparaison des machines thermiques au point de vue économique et thermique.	56

Moteurs animés

Travail de l'homme.	58
— des différents animaux domestiques.	59

Manèges

Définition du manège.	63
Utilisation de l'effort musculaire dans les manèges.	64
Diagramme des pièces d'un manège à traction.	66
Etude spéciale de chaque organe d'un manège à traction.	67
Socle.	67
Bâti.	68
Flèche et ses différentes formes.	68
Boitards.	69
Engrenages des manèges.	70
Arbres de transmission des manèges.	71
Joint à la Cardan.	71
Poulies et courroies.	72
Transmissions à terre et en l'air.	73
Emploi des intermédiaires pour supprimer les arbres de transmission.	75
Principe de l'intermédiaire.	75
Intermédiaire Mot.	75
— Simon.	76
— Pilter.	77
Manèges à orientation pour la suppression de plusieurs transmissions.	78
Accessoires des transmissions des manèges.	79
Encliquetages.	79
Amortisseurs.	80
Classification des manèges à traction.	80

IV

Manèges à terre

a. Fixes. Manège Albaret.	81
b. Mi-fixes. Manège Albaret.	82
Manège à cloche.	83
— Simon.	84
— de la Société de Matériel agricole.	85
— à mouvement équilibré de M. Millot.	86
— à vis sans fin (Millot).	87
c. Manèges à terre locomobiles.	87

Manèges en l'air

a. Fixes.	89
Manèges fixes à axe tournant.	89
— à axe immobile (type Gautereau).	91
b. Mi-fixes.	92
Manèges Pinet.	92
— Texier.	94
c. Locomobiles.	96
Manèges Pinet.	96
— Gautereau.	96
— Fortin.	97
— de la Société de Matériel agricole de Vierzon.	99

Manèges à plan incliné

Principe du manège à plan incliné.	101
Régulateur de vitesse, système Fortin.	102
Transmission de l'effort musculaire dans le manège à plan incliné.	103
Travail produit par un animal au manège à plan incliné.	104
Expériences de M. Ringelmann sur les manèges à plan incliné.	105
Installation et applications des manèges à plan incliné.	106

Installations des manèges et leurs principales applications en agriculture

1° Installations à demeure

Dans un grange.	108
Sur l'une des façades de la grange.	110
Sous un hangar.	110
Dans un local à part.	111
Pose et installation des appareils d'intérieur de ferme	112
Hache-paille.	112
Broyeur d'ajonc.	113
Coupe-racines.	115
Laveurs de racines.	115
Concasseurs et aplatisseurs.	116
Moulins à farine.	121
Brise-tourteaux.	124
Tableau indiquant les vitesses de rotation des différents appareils d'intérieur de ferme et le diamètre de leurs poulies.	125

V

2^o Installations spéciales

Installation d'une laiterie.	125
Disposition générale des transmissions.	126
Pose de l'écrémeuse.	126
Installation de la baratte.	129
— du malaxeur.	133
— d'une cidrerie.	134
Broyeur Simon.	135
Posé d'un broyeur.	135
Pressoir continu de M. Simon.	137

3^o Applications diverses des manèges

Battage des céréales.	138
Différents systèmes de machines à battre commandées par manège.	138
Compression des fourrages.	141
Presse Déderick	141
— Withman.	142
Élévation des eaux.	143
Installation d'une noria.	143
— d'une pompe à chapelet.	145
Réservoirs d'eau pour ferme.	147
Installation d'une pompe à piston.	147

Défoncement des terres par Treuils à manège

Principe du treuil à manège.	149
Équilibre du treuil.	149
Accessoires des treuils.	151
Classification des treuils à manège.	153

Treuils simples. Fixes.

Considérations générales sur les treuils fixes.	153
Treuil Vernette.	154

Mobiles

Considérations générales sur les treuils mobiles.	155
Treuil Grué ou de Beaulieu.	155
Treuil Bajac simple.	155
Défoncement à deux treuils simples de M. Bajac.	157
Treuil simple avec retour à vide de M. Bajac.	159
Défoncement d'une terre avec treuil simple et retour à vide de M. Bajac.	160
Treuil Vernette.	163
Charrue Vernette.	163
Surface labourée dans une journée par un treuil simple, et prix de revient du défoncement à l'hectare.	164

Treuils à double effet

Principe des treuils à double effet.	165
Treuils à double effet fixes.	165
Treuils à double effet mobiles.	165

LES

MACHINES A VAPEUR

EMPLOYÉES EN AGRICULTURE

NOUVEAU TRAITÉ DE MÉCANIQUE AGRICOLE

II

LES
MACHINES A VAPEUR
EMPLOYÉES EN AGRICULTURE

PAR

L. FONTAINE

PROFESSEUR A L'ÉCOLE PRATIQUE D'AGRICULTURE DE FAURELLES

AVEC 195 FIGURES DANS LE TEXTE

MONTPELLIER
COULET ET FILS, ÉDITEURS
5, Grand'Rue, 5

—
PARIS
MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
120, boulevard Saint-Germain

—
1900

PRÉFACE

L'accueil favorable que les élèves des Écoles d'agriculture et le grand public agricole ont donné à la première partie de notre *Traité de mécanique agricole* nous a engagé à terminer cet ouvrage.

Nous avons suivi la même méthode didactique pour étudier les différents moteurs inanimés. Les élèves des Ecoles et les agriculteurs trouveront, en dehors de l'étude théorique de ces moteurs, des exemples d'applications nombreuses, donnant la solution de problèmes courants.

Dans l'avenir, suivant nous, la culture du sol ne donnera des profits qu'à celui qui saura utiliser les engrais chimiques et les machines agricoles, mises en mouvement par des moteurs mécaniques. Tôt ou tard, les générations futures seront amenées à faire cet emploi, et si nous ne voyons pas nos rêves se réaliser, ce sera toujours quelque chose d'avoir préparé les fils aimant les progrès de notre chère agriculture.

En terminant, nous tenons à remercier ici tous les constructeurs qui ont bien voulu nous prêter leur concours, et nos éditeurs, MM Coulet et fils, qui ont bien voulu faire reproduire les nombreuses figures dont nous avons tenu à orner notre ouvrage.

L. FONTAINE.

MÉCANIQUE AGRICOLE



MACHINES A VAPEUR

HISTORIQUE DE LA MACHINE A VAPEUR

L'emploi de la vapeur comme moteur est une des plus grandes inventions de notre siècle. La réalisation des puissantes machines thermiques que nous connaissons a donné lieu à des travaux considérables.

L'*éolypile* d'Héron, philosophe d'Alexandrie, vivant vers l'an 120 avant Jésus-Christ, semble être le premier appareil pouvant produire un mouvement de rotation au moyen de la vapeur.

Le Français Salomon de Caus, en 1615, proposa la force motrice de la vapeur pour élever l'eau. En 1663, le marquis de Worcester, en Angleterre, reprit l'idée de Salomon de Caus et construisit un appareil à deux chaudières élévatoires.

Savery, capitaine anglais, inventa, en 1689, une machine d'épuisement pour les houillères, dans laquelle la vapeur produite par une chaudière agit par pression dans un récipient muni d'un tuyau d'aspiration et de refoulement.

Jusqu'à cette époque, aucune invention ne permettait d'obtenir du mouvement. C'est après les expériences d'Otto de Guéricke et de Pascal que Denis Papin, de Blois, en 1690, appliqua la force expansive de la vapeur au déplacement d'un piston dans un cylindre. Le premier élément de la machine à vapeur était trouvé.

Quelques années plus tard, en 1705, la découverte de Papin était appliquée par Cawley et Newcomen, artisans de Dar-mouth et Savery, dans leur célèbre *pompe à feu* ou *machine atmosphérique*, destinée à la distribution des eaux de Londres

et à l'épuisement des mines. La figure 1 représente la machine en question. En A se trouve la chaudière à vapeur, posée sur un foyer en maçonnerie H. A cette chaudière est raccordé, par un tuyau de vapeur, un cylindre vertical B, dans lequel se meut un piston P, relié par une chaîne *p* à un

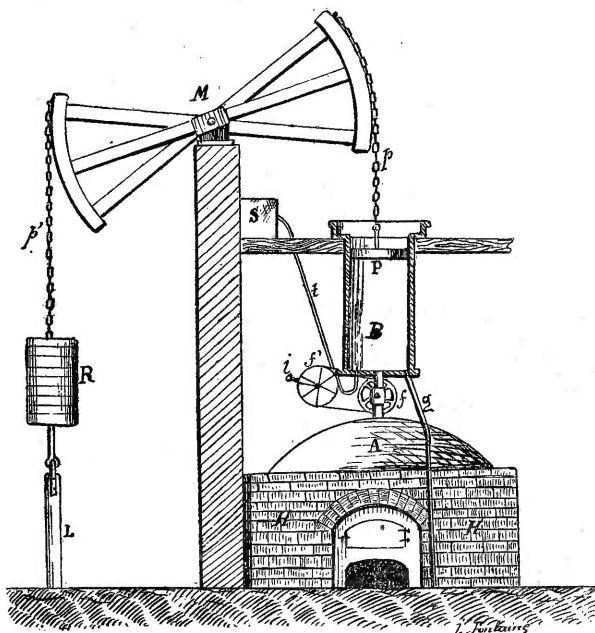


Fig. 1. — Machine de Newcomen.

balancier oscillant M. A l'extrémité opposée, sont fixés une chaîne *p'* et un contre-poids R, destinés à manœuvrer la tige d'une pompe d'épuisement L.

En ouvrant le robinet *f*, au moyen d'une transmission à corde passant sur la roue *i*, munie d'une manivelle *i*, la vapeur pénètre dans le cylindre et soulève le piston P, ce qui oblige le balancier M à osciller. Arrivé en haut de sa course, le piston s'arrête et le robinet *f* est fermé. D'un réservoir S et, par un tuyau *t*, on fait arriver de l'eau froide dans le cylindre, qui détermine la condensation de la vapeur. La pression atmosphérique n'étant plus contre-balançée, elle fait descendre le piston, en soulevant cette fois la tige L. En ouvrant à nouveau *f*, le même mouvement se reproduisait ; par minute, la machine donnait 8 à 10 coups de piston. Il fallait constamment un

ouvrier pour manœuvrer la manivelle *i*, afin d'ouvrir et fermer le robinet d'admission *f*.

Par un heureux hasard, un enfant, Henri Potter, dit le *parresseux de génie*, fut conduit, un jour, à rattacher les poignées des robinets par des ficelles au balancier. Par son mouvement, la machine fit ouvrir et fermer en temps voulu les robinets; on vit alors, pour la première fois, une machine à vapeur fonctionner seule.

La machine à vapeur devait rendre à jamais célèbre l'Anglais James Watt, né en 1736, à Greenock (Écosse). Il débuta, en 1769, par l'invention du *condenseur* et de la *pompe à air*. Puis vinrent successivement son cylindre à *double effet*, son *paralélogramme* articulé, son *régulateur à force centrifuge*, sa *détente*. Olivier Evans, en 1797, invente les machines à *haute pression*, dans lesquelles la tension de la vapeur est égale à plusieurs atmosphères.

En 1801, Murray invente le *tiroir à coquille*, simplifiant considérablement la distribution de la vapeur au cylindre.

L'année 1827 voit l'invention des *chaudières tubulaires*, par Séguin aîné, d'Annonay.

Enfin, Stephenson nous dota de sa *coulisse* à changement de marche, qui avec les chaudières tubulaires permit de résoudre le problème de la locomotion à vapeur.

Emploi de la vapeur en agriculture. — Les Anglais ont employé la vapeur en agriculture quelques années avant nous. C'est vers 1850 qu'apparurent dans les fermes françaises les premières machines à vapeur sous forme de locomobiles. Citons comme point historique dans l'emploi de la vapeur en agriculture, les noms de MM. Calla, Lotz, Renaud, Duvoir, Cumming, Gérard, Gautreau, etc., tous constructeurs qui contribuèrent à l'amélioration et à la vulgarisation des locomobiles.

Aujourd'hui, grâce aux formes multiples auxquelles se prête la machine à vapeur, on a pu en faire un moteur d'une force et d'un prix relativement peu élevés. Simplifiée, mais jouissant néanmoins des perfectionnements de la machine de manufacture, la machine à vapeur agricole a révolutionné dès son apparition les procédés de culture. Comme tout moteur, elle a permis à l'industrie agricole d'obtenir à meilleur compte les produits du sol. On ne saurait donc appeler trop l'attention des agriculteurs progressistes sur son emploi. Elle remplace le manège dans la moyenne culture, dès que la force demandée dépasse deux chevaux, et que celle-ci doit être *régulière*.

Avec une machine à vapeur à la ferme, on peut commander

une salle de préparation d'aliments, battre les céréales, labourer les terres, faire des dessèchements, irriguer les prairies, etc., etc.

Il est intéressant de suivre le développement de la machine à vapeur en agriculture; quelques chiffres vont montrer cette évolution. En 1855, c'est-à-dire dans l'enfance des machines à vapeur, on en comptait 311; en 1860, 1.044 produisant 4.381 chevaux-vapeur. A partir de ce moment, le progrès se poursuit lentement: en effet, en 1862, on trouve 1.312 établissements agricoles possédant 1.366 machines, donnant 5.825 chevaux-vapeur.

En 1864, les chiffres s'élèvent brusquement à 1.735 machines, produisant 8.693 chevaux-vapeur, répartis dans 1.622 établissements.

De 1877 à 1879, on voit employer en agriculture 34.151 chevaux-vapeur, donnés par 6.757 machines. En 1882, il y avait 9.288 machines, produisant 42.591 chevaux de force; et en 1887, 13.677 machines donnant 78.740 chevaux-vapeur. La statistique agricole décennale de 1892 donne 12.037 machines, dont la puissance peut être évaluée à plus de 86.000 chevaux-vapeur.

La machine à vapeur, en agriculture, sera bientôt concurrencée par le moteur à pétrole, qui déjà prend une grande extension depuis qu'on l'a rendu transportable. Néanmoins, la machine à vapeur conservera sa supériorité sur le moteur à pétrole, quand il s'agira de grandes puissances.

Au point de vue de l'emploi de la vapeur, on constate que c'est surtout la grande exploitation qui s'en sert, non pas au point de vue cultural pur, mais surtout pour commander des appareils d'intérieur ou des usines annexes: laiteries, beureries, sucreries, etc.

Nous ne cessons de nous élever, dans tout le cours de cet ouvrage, contre l'aversion qu'on a, en général, de l'application directe d'un puissant moteur, comme la vapeur, à la culture du sol. Les résultats étonnants auxquels sont arrivés les Anglais dans leur culture ne sont dus qu'à un outillage perfectionné, actionné par des machines à vapeur. Ils ont compris depuis longtemps qu'il fallait d'abord améliorer le sol dans lequel les plantes vivent. C'est alors qu'ils ont fait ces défoncements extrêmement étendus, où la culture est des plus prospères depuis quarante ans. L'Amérique nous donne également un exemple saisissant, dans lequel les machines à vapeur sont appliquées à la culture du sol.

En France, les entrepreneurs de battages ont vulgarisé la locomobile à vapeur et en ont fait profiter la moyenne et la

petite culture. Enfin, dans le même ordre d'idées, les entrepreneurs de défoncements à vapeur ont rendu à la viticulture française un service immense en préparant le sol destiné à la reconstitution des vignobles détruits.

Mais on devrait multiplier l'emploi de la machine à vapeur dans la ferme, car, comme tout moteur, elle doit faire le plus de journées de travail possible pour que les frais d'intérêt, d'amortissement, d'entretien, se répartissent sur un plus grand nombre d'heures dans l'année.

Il n'est plus utile aujourd'hui de démontrer que la conduite d'une machine à vapeur agricole ne nécessite aucun mécanicien spécial, le premier ouvrier de ferme intelligent venu peut être chargé de sa direction après un apprentissage très court.

PRINCIPE D'UNE MACHINE A VAPEUR

Toute machine à vapeur est formée de deux parties distinctes : 1^o d'un *générateur* destiné à produire la vapeur ; 2^o d'un *moteur* destiné à transformer en mouvement la force élastique de la vapeur.

On fait quatre classes de machines à vapeur : 1^o les *machines fixes* ; 2^o les *machines semi-fixes* ; 3^o les *machines locomobiles* ; 4^o les *locomotives* (dans celles-ci nous n'étudierons que les *locomotives routières agricoles*).

GÉNÉRATEURS A VAPEUR

Dans un générateur à vapeur on distingue trois parties : 1^o un *appareil de chauffage* ; 2^o une *chaudière* proprement dite, contenant l'eau et la vapeur produite ; 3^o des *appareils de sûreté* exigés par la loi.

APPAREILS DE CHAUFFAGE D'UNE CHAUDIÈRE

Tout appareil de chauffage dans une chaudière comprend : 1^o un *foyer* où brûle le combustible ; 2^o des *conduites* chargées de transporter les gaz provenant de la combustion à la cheminée, appelées *carneaux*, *tubes à fumée* suivant le système de la chaudière ; 3^o une *cheminée d'appel*, destinée à rejeter au dehors les produits de la combustion.

Prenons comme principe la figure 2 ; en A se trouve la chaudière établie sur un massif en maçonnerie M M, constituant le fourneau. Les parois sont formées par des murs en

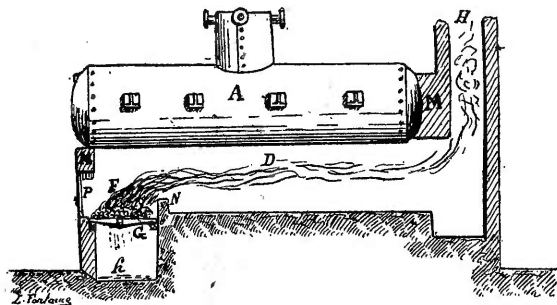


Fig. 2. — Disposition du chauffage.

bricks réfractaires, dont les angles sont soutenus par des fers cornières (fig. 3), réunis par des tringles avec boulons de serrage. Ces parois servent également à empêcher le rayonnement de la chaleur.

Foyer. — Le foyer est établi à l'intérieur du fourneau ; il se compose d'une grille G sur laquelle on étale le combustible qui brûle dans une chambre de combustion F, donnant des gaz chauds, dirigés par un rebord N, appelé *autel*, dans le carneau D, puis de là dans la cheminée d'échappement H. La grille est chargée de combustible par une porte P ou *gueulard* ; l'air nécessaire à la combustion arrive en dessous par le *chendrier* h, qui recueille ensuite les résidus.

a) GRILLE. — La grille est une surface à claire-voie, occu-

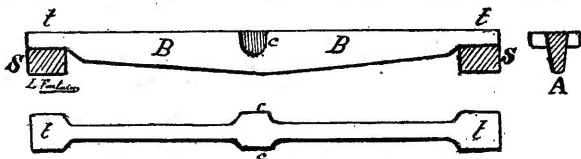


Fig. 4. — Barreaux d'une grille.

pant toute la largeur du foyer. Sa longueur ne doit pas dépasser 1^m,20 pour que le chauffeur conduise bien son feu. Elle est composée de barreaux en fonte ou en fer B B (fig. 4), droits ou ondulés, de la forme d'un solide d'égale résistance. Ils ont



Fig. 3. Cornière pour foyer en maçonnerie.

0^m,02 de largeur à la partie supérieure et 0^m,01 à la partie inférieure. Les bouts sont aplatis en talon *t t*, reposant sur deux traverses ou *sommiers* *S S* quand la grille est rectangulaire, ou sur un cercle de fer lorsqu'elle est circulaire. Ces barreaux laissent entre eux des vides limités par des saillies *c c*, dont la somme doit être égale au tiers ou au quart de la surface totale de la grille. Il doit, en outre, exister aux extrémités des barreaux un vide leur permettant de se dilater dans tous les sens. Dans certaines chaudières on trouve des grilles étagées.

Surface à donner à la grille. — L'expérience a montré qu'il fallait 1 mètre carré de grille pour brûler 70 kil. de houille par heure dans les chaudières fixes. Pour les chaudières de locomobile, la consommation dans le même temps s'élève à 90 kil. et à 250 chez les locomotives. Donc, si on représente par *S* la surface de grille à donner, par *n* le nombre de kilogrammes de houille à brûler, on aura pour les chaudières fixes :

$$S = \frac{n}{70} \quad (1)$$

Pour les chaudières de locomobile :

$$S = \frac{n}{90} \quad (2)$$

Et pour les locomotives :

$$S = \frac{n}{250}$$

Lorsqu'on fait usage du coke, il faut, pour brûler 100 kil. de cette matière par heure, 0^m240 à 0^m250 de grille, et seulement 0^m230 à 0^m240 avec le bois. En général, on compte un décimètre carré de surface de grille par kilogramme de houille brûlée et par heure. C'est le tirage de la cheminée qui règle la surface de grille ; plus celui-ci est fort, moins la grille doit être étendue, car alors l'air arrive en plus grande quantité au combustible.

Dans les pays où le combustible est rare et d'un transport coûteux, on se sert de la paille. Les grilles des chaudières sont alors à barreaux très espacés, et l'ensemble peut basculer pour déposer les cendres sous le foyer. L'alimentation se fait par chaîne sans fin.

Enfin, si on fait un soufflage d'air par injecteur ou par aspiration au moyen de ventilateurs en maintenant sous la grille une pression de 5 centimètres d'eau, on peut brûler jusqu'à 400 kil. de charbon par mètre carré de grille-heure (chaudières marines).

b) CHAMBRE DE COMBUSTION. — La chambre de combustion est, comme nous l'avons dit, l'espace situé au-dessus de la grille, dans lequel se font les combinaisons du carbone avec l'oxygène dégageant du calorique. Sa forme est rectangulaire ou circulaire, d'une hauteur de 0^m,50 à 0^m,60 pour les chaudières consommant du bois ou de la houille grasse, et de 0^m,40 quand on emploie des charbons maigres. Les parois sont en maçonnerie (chaudières à bouilleurs) ou métalliques (chaudières à foyer intérieur).

La porte du foyer est protégée du feu par une plaque de fer placée à une distance de 0^m,03 à 0^m,04, on lui donne une ouverture de 0^m,25 à 0^m,30 de hauteur pour une largeur qui varie avec la grandeur de la grille (fig. 5).

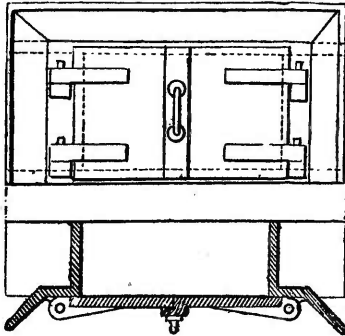


Fig. 5. — Porte de foyer.

Surface de chauffe. — Les parties de la chaudière exposées à l'action des gaz chauds constituent sa *surface de chauffe*, c'est-à-dire la région où se font les échanges calorifiques entre ceux-ci et la paroi métallique les séparant de l'eau à évaporer. On distingue : 1° la *surface de*

chauffe directe dans laquelle les flammes lèchent le métal ; 2° la *surface de chauffe indirecte*, laquelle utilise les gaz chauds s'échappant par des carneaux.

Il y a un certain rapport à donner entre la surface de chauffe et la surface de la grille ; ainsi, pour brûler 70 kil. de combustible par mètre carré, on prend une surface de chauffe égale à 20 ou 25 fois la surface de la grille. Pour 250 kil., la surface de chauffe est portée à 72 fois celle de la grille. Par cheval-vapeur il faut compter sur 1^m,50 à 1^m,65 de surface de chauffe (directe et indirecte).

c) CENDRIER. — Le cendrier est une chambre *h* placée au-dessous de la grille ; il est chargé de recueillir les résidus de la combustion (cendres, fragments de charbon) et d'amener l'air à la grille. Il est muni en avant d'une porte, dont la section doit être égale aux deux tiers du vide de la grille, car l'air en arrivant au feu s'échauffe et occupe un volume plus grand. La porte sert de régulateur de combustion, car l'activité du feu dépend de la quantité d'air qui afflue. Si l'on veut un ti-

rage rapide, on ouvre en grand ; si au contraire on veut diminuer l'activité, il suffit de fermer l'ouverture d'une certaine quantité.

Dans les chaudières à foyer en maçonnerie, le cendrier est construit en briques, creusé en contre-bas de quelques centimètres ; dans les chaudières à foyer intérieur, il est formé par une caisse métallique (fig. 6). Le chauffeur doit toujours entretenir au fond du cendrier

une couche d'eau de quelques centimètres, destinée : 1° à éteindre les parcelles incandescentes de charbon qui tombent de la grille ; on peut les utiliser ensuite ; 2° à voir l'état de la grille par réflexion. Les charbons tombant dans l'eau en réduisent une certaine quantité en vapeur ; celle-ci arrivant au contact du feu est décomposée et donne une longue flamme et refroidit les barreaux en dessous.



Fig. 6. — Cendrier.

entretenir au fond du cendrier une couche d'eau de quelques centimètres, destinée : 1° à éteindre les parcelles incandescentes de charbon qui tombent de la grille ; on peut les utiliser ensuite ; 2° à voir l'état de la grille par réflexion. Les charbons tombant dans l'eau en réduisent une certaine quantité en vapeur ; celle-ci arrivant au contact du feu est décomposée et donne une longue flamme et refroidit les barreaux en dessous.

Carneaux. — Les carneaux sont des conduits qui ont pour but de transporter à la cheminée les gaz provenant de la combustion et d'augmenter la surface de chauffe. On les fait aussi nombreux et étendus que possible. Les parois de la chaudière qui sont exposées dans les carneaux constituent la surface de *chauffe indirecte*. Dans les chaudières à foyer en maçonnerie, les carneaux entourent la chaudière et font décrire autour d'elle un circuit aux gaz, avant de les rendre à la cheminée. Dans les chaudières tubulaires, les carneaux sont remplacés par des *tubes à fumée*, très nombreux, d'un faible diamètre, traversant le générateur. Dans les chaudières à tubes bouilleurs, tels que les systèmes Field, Belleville, Collet, il n'y a pas de carneaux.

Cheminée. — La cheminée est un conduit vertical chargé d'expulser les gaz dans l'atmosphère et de leur donner une vitesse suffisante pour faire un appel d'air sous la grille du foyer. Ce mouvement d'ascension est appelé *tirage*. Les gaz en arrivant dans la cheminée ont une température voisine de 100 à 300 degrés, ils sont pressés de bas en haut par une colonne d'air venant de l'extérieur, en passant sous la grille. On peut déterminer la vitesse d'ascension par la formule

$$v = \sqrt{\frac{2ghl-t'}{273}}$$

Celle-ci indique que la *vitesse du courant gazeux* ou le *tirage* de la cheminée est proportionnelle à la racine carrée de la hauteur et à la racine carrée de la température du gaz qui parcourt la cheminée. Ceci montre, en outre, que pour une

cheminée dont on quadruplerait la hauteur, la vitesse théorique du gaz ne serait que doublée ; le frottement, qui est proportionnel à la longueur, serait au contraire quadruplé. Il y a donc une hauteur limite à adopter en pratique, celle-ci est d'environ 20 mètres ; on ne descend pas au-dessous de 6 à 8 mètres. Dans les locomobiles, où la cheminée n'a guère que 2 à 3 mètres de hauteur, on supplée à l'insuffisance de son tirage en y lançant un jet de vapeur venant du cylindre.

Quantité d'air nécessaire à la combustion. — Théoriquement, la quantité d'air nécessaire à la combustion complète d'un kilogramme de houille est de 8 mètres cubes ; mais en pratique, il faut compter sur 12 à 15 mètres cubes, car on estime que la moitié environ de l'air qui passe dans le foyer échappe à la combustion.

Volume de gaz qui passe par la cheminée. — Si le combustible était du carbone pur, le volume de l'acide carbonique formé serait, à température et à pression égales, le même que celui de l'oxygène employé, et le volume de gaz qui passerait par la cheminée serait égal à celui de l'air arrivant au foyer, dilaté à la température de la cheminée. Mais il passe en outre de la vapeur d'eau provenant : 1° de l'eau contenue dans le combustible et qui donne à zéro 1^m24 de gaz ; 2° de l'oxygène et de l'hydrogène, se combinant en proportions convenables pour donner de l'eau, soit 0^m57 pour le bois sec ; 3° de l'hydrogène en excès, se combinant avec de l'oxygène, pour former de l'eau, à raison de 8 d'oxygène pour 1 d'hydrogène.

Donc, en résumé, s'il faut 15^m28 d'air à zéro degré pour la combustion d'un kilogramme de houille, il donnera, à la température d'évacuation de 200°, un volume

$$v = 15,28 (1 + \alpha t) = 15,28 (1 + 0,00367 \times 200) = 26^m43,$$

0,00367 étant le coefficient de dilatation des gaz.

La cheminée devra donc être construite de façon à débiter par kilogramme brûlé :

$$\begin{aligned} & 15^m28 \times (1 + 0,00367 \times t) \text{ pour la houille ;} \\ & 10^m05 \times (1 + 0,00367 \times t) \text{ pour le bois sec.} \end{aligned}$$

Or, le débit d'une cheminée est proportionnel à la vitesse d'ascension des gaz et à sa section. Nous connaissons le premier élément. Quant à la section, on admet en pratique les règles suivantes : *On donne ordinairement à la cheminée une section quadruple du cendrier.* Ou on emploie encore la règle de Darcet : *Si la hauteur de la cheminée est de 20 mètres,*

la section devra contenir autant de décimètres carrés qu'on doit brûler de fois 4 kil. 5 de houille par heure.

Péclet a donné pour les cheminées en briques, enduites intérieurement de suie, les formules suivantes :

$$(1) V = \frac{Q \times V' (1 + 0,00367 t)}{3600}$$

$$(2) D^5 = \frac{V^2 \times (13. D + 0,05 L)}{2 g P}, \text{ ou en négligeant le terme}$$

$$0,05 L, \text{ on a : } D^4 = \frac{V^2 \times 13}{2 g P}$$

$$(3) P = H \times 0,00367 (t - t').$$

Dans lesquelles H est la hauteur en mètres de la cheminée ; t , la température des gaz au bas de la cheminée ; t' celle de l'air extérieur ; Q, le poids de la houille à brûler par heure ; V' , le volume d'air froid nécessaire pour brûler 1 kil. de combustible ; D représente le diamètre ou le côté d'une cheminée circulaire ou carrée ; V, le volume d'air chaud qui doit s'écouler par la cheminée ; L, la longueur du canal de diamètre D, qui produirait la même résistance à l'écoulement du gaz que la totalité du circuit de la fumée depuis le foyer jusqu'au haut de la cheminée. Si les carnaux ont la même section que la cheminée, L est la somme de la longueur des carnaux développés et de la hauteur de la cheminée. P, pression en hauteur d'air chaud qui produit l'écoulement au bas du tuyau ou pression nécessaire pour vaincre les frottements de l'air dans la cheminée et les carnaux, et enfin g , intensité de la pesanteur qui est de 9 m. 81.

Pour appliquer ces formules dans un exemple, on cherchera d'abord la valeur P, puis V. et enfin D.

La perte de chaleur éprouvée par les cheminées est environ le quart de celle produite par le combustible. En effet, dans les bonnes chaudières, 1 kil. de houille produit 8 kil. de vapeur. Le kilogramme de houille dégage 8000 calories de chaleur et les 8 kil. de vapeur n'en prennent que 5096 ; le rapport d'utilisation est donc $\frac{5096}{8000} = 0,637$, ou une perte de 36 o/o. Cette chaleur est utile, elle représente une force motrice destinée à alimenter le foyer d'air.

Forme et établissement des cheminées. — Les cheminées se construisent en briques ou en tôle. Les premières s'emploient dans les usines agricoles importantes, telles que les sucres, distilleries, laiteries, etc. Leur forme est conique (fig. 7), à section circulaire ; l'inclinaison qu'on leur donne par mètre

est de 25 à 30 millimètres. La base A A, ou piédestal, est ordinairement carrée; sur celle-ci repose la partie conique C, terminée en haut par un chapiteau *c c*. A l'intérieur se trouve le canal d'échappement B, de diamètre à peu près égal sur

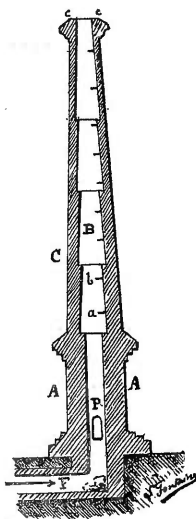


Fig. 7. — Coupe d'une cheminée en maçonnerie.

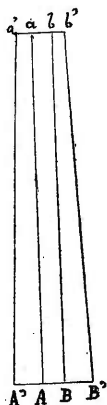


Fig. 8. — Calcul du diamètre d'une cheminée.

toute la longueur. Le fruit se fait à l'intérieur, par retraits successifs; le sommet de la cheminée possède un mur d'une largeur de brique ou de 0^m,11.

Voici comment on peut trouver la section transversale de la cheminée et son diamètre extérieur à la partie inférieure. On commence par tracer un rectangle *a b*, A B (fig. 8), ayant comme largeur *d* le diamètre du conduit, et pour hauteur *H* la longueur de la cheminée; sur le même axe de ce rectangle, on construit un trapèze *a' b'*, A' B', ayant pour base au sommet $d + 0,22$, et pour base à la partie inférieure $d \times 2 n H$, *n* étant le fruit par mètre. Jusqu'à une hauteur de 2 ou 3 mètres, on construit l'intérieur de la cheminée en briques réfractaires, afin de résister à la chaleur. Les gaz arrivent par le carneau F; en montant dans le canal B, ils laissent beaucoup de suie sur les parois, qu'il est bon d'enlever par raclage. L'ouvrier chargé de ce travail grimpe à des crampons en fer *a* et *b*, fixés à l'intérieur tous les 0^m,50. Les résidus sont retirés de la base de la cheminée par une porte murée P. Autrefois, la

construction demandait des échafaudages, mais, aujourd'hui, l'ouvrier monte la cheminée de l'intérieur en plaçant des traverses sur lesquelles il installe un plancher où il reçoit d'un monte-charge les briques et le mortier. A Paris, le mètre cube de maçonnerie revient à 10 et 15 francs de main-d'œuvre.

Les cheminées en tôle sont les plus répandues. Elles sont à section circulaire, l'épaisseur de la tôle qui forme la base a 2 millimètres d'épaisseur (fig. 9). Dans les installations à demeure, elles sont soutenues par des haubans fixés solidement à la toiture. La partie inférieure porte une couronne que l'on boulonne à la chaudière; ceci permet d'enlever cette dernière sans rien changer à l'installation. Dans les locomobiles, la cheminée est à charnière, la partie mobile est rabattue sur la machine lors des transports. Pour préserver le métal des oxydations, on le goudronne, et un chapiteau recouvre la partie supérieure pour empêcher les pluies de pénétrer et arrêter les flammèches.

Pour activer le tirage de la cheminée, lors de la mise en pression, on se sert d'un *souffleur*. Il prend la vapeur par un petit tuyau qui vient déboucher à la base de la cheminée; il est très employé dans les locomotives et dans beaucoup de locomobiles.

FUMIVORITÉ. — Il se produit toujours, dans la combustion, une certaine quantité de fumée noire contenant des hydrocarbures distillés qui sortent sous forme de nuages noirs, il y a perte de carbone. C'est surtout au moment de la charge de la grille que la fumée se produit, l'oxygène n'est pas en quantité suffi-

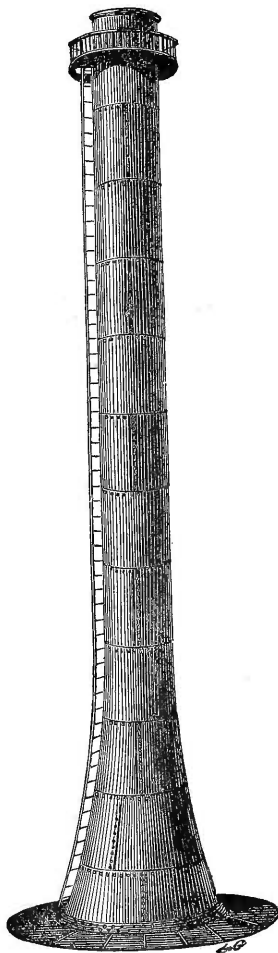


Fig. 9. — Cheminée en tôle (Bonnet-Spazin).

sante pour s'unir au carbone. Dans les villes, ces fumées sont nuisibles, aussi a-t-on cherché à éviter leur production en

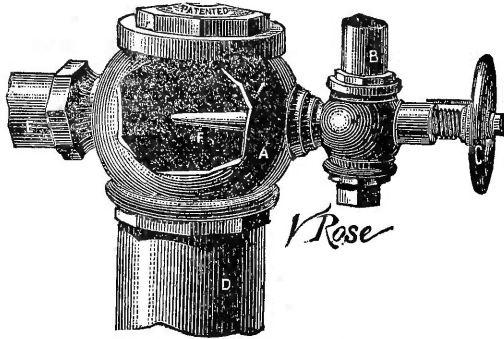


Fig. 10. — Fumivore Orvis.

employant des appareils fumivores. On distingue trois groupes :

1° Ceux où l'on *injecte de l'air chaud ou froid sous la grille*;

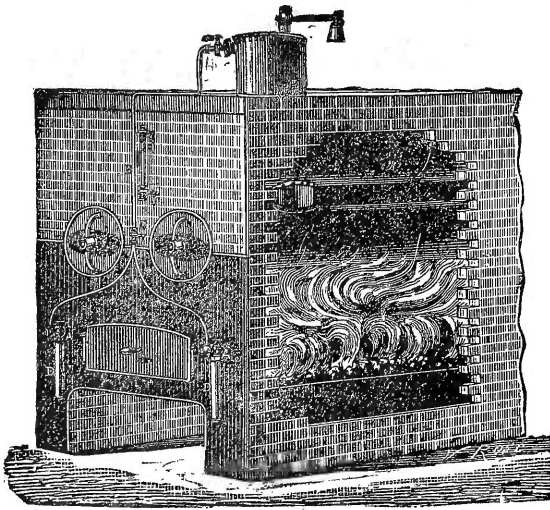


Fig. 11. — Installation de deux fumivores Orvis.

2° ceux à *grilles à gradins*; 3° ceux qui emploient par *insufflation de la vapeur directe ou surchauffée* sur le combustible. Dans cette dernière catégorie, on a le *fumivore Orvis*, construit par MM. Muller et Roger (Paris). En principe, il se compose (fig. 10) d'une sphère creuse A, dans laquelle arrive un puissant

jet de vapeur par la tuyère F, communiquant avec le tuyau B, muni d'un robinet C. Cette vapeur s'échappe par le tuyau E, débouchant au-dessus du foyer. La figure 11 montre la disposition de deux fumivores adaptés à une chaudière à bouilleurs ; le tuyau de vapeur B se divise en e, en deux, chaque partie se rend aux fumivores A D.

Chauffage méthodique. — On entend par chauffage méthodique la disposition du chemin parcouru par les gaz, par rapport à celui de l'eau d'alimentation ; la circulation doit se faire en sens contraire. L'eau froide qui arrive au générateur doit d'abord être chauffée par les gaz les moins chauds qui sont prêts à s'échapper par la cheminée, puis, continuant sa marche, elle rencontre ceux dont la température augmente et ainsi de suite. Il en résulte que les eaux s'épurent avant d'arriver à la chaudière et que la chaleur est mieux utilisée.

COMBUSTIBLES

Les combustibles employés dans les machines à vapeur sont : l'antracite, la houille, le lignite, la tourbe, le bois et la paille.

Ils sont tous d'origine végétale et leur puissance calorifique est proportionnelle à la quantité de carbone qu'ils renferment. C'est surtout la houille qui est employée ; on en distingue trois sortes : 1° la *houille sèche*, renfermant 90.36 à 93.34 o/o de carbone total ; 2° la *houille grasse*, renfermant 87.30 à 90.49 de carbone ; 3° la *houille à longue flamme*, renfermant 83.33 à 85.27 de carbone.

La puissance calorifique d'un combustible est la quantité de calories qu'il dégage en brûlant.

Combustibles	Puissances calorifiques
Hydrogène	34.462 calories
Carbone.... .. .	8.080 —
Antracite.	7.500 —
Houille grasse dure (Alais)	7.370 —
Houille grasse à longue flamme (Lancashire).	7.050 —
Houille sèche à longue flamme (Blanzv).	6.230 —
Lignite parfait (Dax)..... .. .	5.790 —
Tourbe ordinaire..... .. .	3.600 ..
Bois parfaitement desséché..... .. .	3.500 —
Bois d'une année de coupe (20 à 25 o/o d'eau)..	2.600 —

CHAUDIÈRES

En principe, une chaudière est formée d'un vase clos en acier, contenant, dans sa partie inférieure, de l'eau : c'est la *chambre à eau*; la chambre supérieure renferme la vapeur. La chambre à eau est chargée d'absorber la chaleur pour la production des bulles de vapeur; généralement, celle-ci est prise dans une partie appelée *dôme de vapeur*, où elle est la plus sèche.

Dans certaines chaudières actuelles, la vapeur se produit dans des tubes de circulation appelés *vaporisateurs*.

Les générateurs fixes sont noyés dans des massifs en maçonnerie, mais on tend, de plus en plus, à les remplacer par des systèmes moins encombrants que nous étudierons dans la suite.

Classification des chaudières

Suivant la disposition du foyer par rapport à la chaudière, on a fait quatre classes dans les chaudières :

- 1° *Chaudières à foyer extérieur*;
- 2° *Chaudières à foyer intérieur*;
- 3° *Chaudières tubulaires*;
- 4° *Chaudières à tubes bouilleurs*.

A. — CHAUDIÈRES A FOYER EXTÉRIEUR

Chaudière de Watt. — C'est dans cette catégorie qu'on trouve la chaudière en *tombeau* ou en *chariot* de Watt. Sa forme était prismatique avec angles arrondis, l'ensemble était enfermé dans un fourneau en maçonnerie. Cette chaudière était peu résistante et vaporisait environ 25 kil. d'eau par mètre carré de surface de chauffe; elle a été remplacée depuis longtemps dans la pratique.

Chaudière de Woolf. — Woolf inventa plus tard la chaudière cylindrique simple, terminée à ses extrémités par deux hémisphères qu'on a remplacés dans la suite par deux calottes sphériques, d'une construction plus simple. Cette chaudière s'emploie encore dans certaines installations pour la production d'une faible quantité de vapeur.

Chaudières à bouilleurs. — La chaudière à bouilleurs fut pendant longtemps la seule que les grandes industries employèrent. On distingue, d'après leur forme, les chaudières à bouilleurs horizontales et les verticales.

Les figures 12 et 13 donnent les coupes en long et en travers

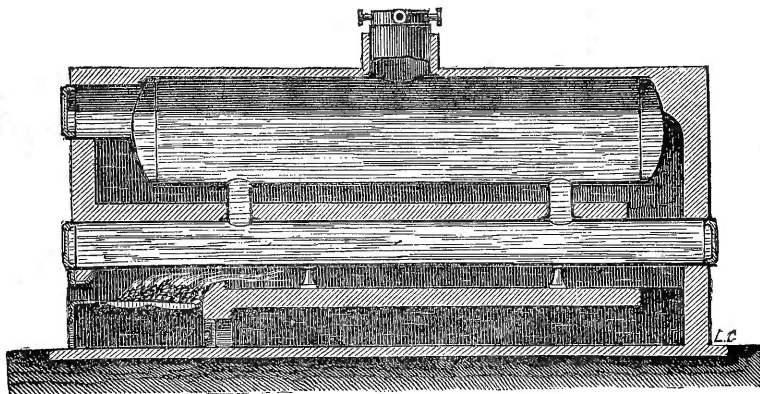


Fig. 12. — Coupe longitudinale d'une chaudière à bouilleurs.

d'une chaudière à bouilleurs ordinaire, construite par MM. Bonnet et Spazin, de Lyon-Vaise. Au-dessus du foyer sont placés deux bouilleurs en tôle de 0 m. 40, 0 m. 60 à 0 m. 80 de diamètre et d'une longueur de 4 m. 60 à 10 m. 50, réunis chacun à la chaudière par deux *cuissards* ou *communications*. La chaudière est d'une grande capacité, son diamètre varie entre 1 mètre à 1 m. 60, avec 3 m. 62 et 9 m. 52 de long. L'installation comporte un fourneau en maçonnerie muni de carneaux. Les flammes et les gaz chauds, après avoir léché les bouilleurs, reviennent en arrière par un carneau chauffant une des parties latérales de la chaudière, puis ils passent dans l'autre carneau qui les mène à la cheminée d'échappement. Il y a donc trois circulations. Les carneux

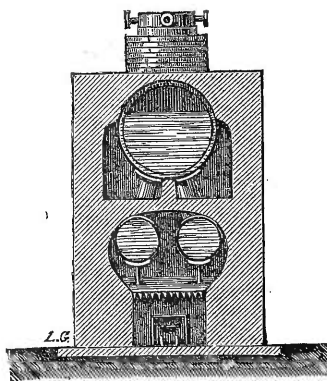


Fig. 13. — Coupe transversale d'une chaudière à bouilleurs.

doivent s'élever jusqu'à la hauteur de l'axe de la chaudière de manière que l'action directe des produits de la combustion s'exerce sur la moitié de sa circonférence; les bouilleurs doivent être chauffés sur plus des trois quarts de leur surface extérieure. L'alimentation de l'eau se fait par une pompe qui l'envoie à l'arrière de la chaudière, puis de là elle descend dans les bouilleurs par les cuissards d'arrière et se vaporise; les bulles remontent par les cuissards d'avant. La circulation de l'eau peut être représentée par une circonférence. Le niveau de l'eau dans la chaudière doit toujours être élevé de 0 m. 10 au-dessus du bord supérieur des carneaux.

Dans ce générateur, la chaudière n'est pas exposée aux coups de feu et peut durer très longtemps; les bouilleurs, au contraire, doivent se renouveler au bout d'un certain temps. On estime, ordinairement, à 15 ou 20 kil. la vapeur produite par mètre carré de surface de chauffe et par heure; le kilogramme de houille fournit dans ce système 5 à 7 kil. de vapeur.

La maçonnerie en briques a une longueur de 4 m. 40 à 10 m. 30; la largeur de 2 m. 30 à 2 m. 80; la hauteur de 3 m. 90 à 4 m. 40. La façade du foyer peut être munie d'une devanture en fonte, et le tout est armé pour donner une grande solidité.

Dans les grandes usines agricoles, on accouple plusieurs chaudières en *batterie*, de sorte que si l'une est arrêtée pour les nettoyages, les autres travaillent.

Chaudières à bouilleurs réchauffeurs. — Dans ce système de générateur, la chaudière reçoit directement l'action du feu. Les figures 14 et 15 donnent la coupe en long et en travers de la chaudière Hermann-Lachapelle, construite par M. Brulé, 31-33, rue Boinod (Paris). Le corps de la chaudière N est surmonté d'un dôme de vapeur D; il est réuni à deux bouilleurs latéraux V V par des cuissards K. Les bouilleurs sont soutenus par des supports ou chandeliers en fonte. La chaudière N reçoit directement l'action du feu de la grille G; les gaz arrivés à l'extrémité passent dans les *carneaux*, où sont logés les bouilleurs V V.

Un registre R est adapté à l'extrémité du carneau supérieur et sert au réglage du tirage. Le nettoyage de la chaudière se fait par un *trou d'homme*, fermé à l'aide d'un autoclave A. Le fourneau en maçonnerie Z Z est divisé en trois compartiments correspondant à la chaudière et aux bouilleurs. De distance en distance, des cornières noyées dans la maçonnerie supportent la chaudière.

L'eau d'alimentation arrive dans le bouilleur supérieur où

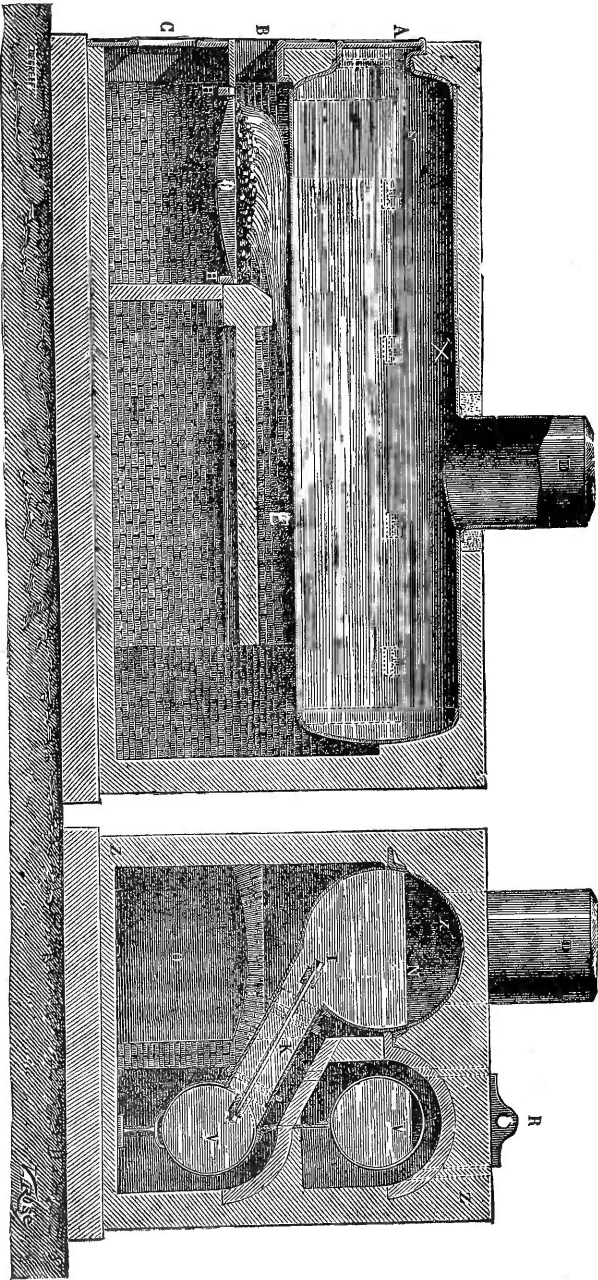


Fig. 14. — Coupe en long d'une chaudière à bouteillers-réchauffeurs Hermann-Lachapelle.

Fig. 15. — Coupe en travers.

elle s'échauffe et se débarrasse de l'acide carbonique et des sels calcaires; elle passe très propre à la chaudière, ce qui évite les coups de feu et les explosions. La circulation de l'eau se fait en sens inverse de la marche des gaz; cette disposition est excellente et constitue le chauffage méthodique. Les frais d'installation du fourneau occasionnent une dépense que l'on évalue à 500 et 1.700 fr., pour des forces de 8 à 25 chevaux-vapeur.

Avec cette chaudière, on arrive à produire 8 kil. de vapeur par kilogramme de combustible.

Chaudières à bouilleurs superposés. — Ces générateurs sont encoir dits *multibouilleurs* et s'emploient pour produire

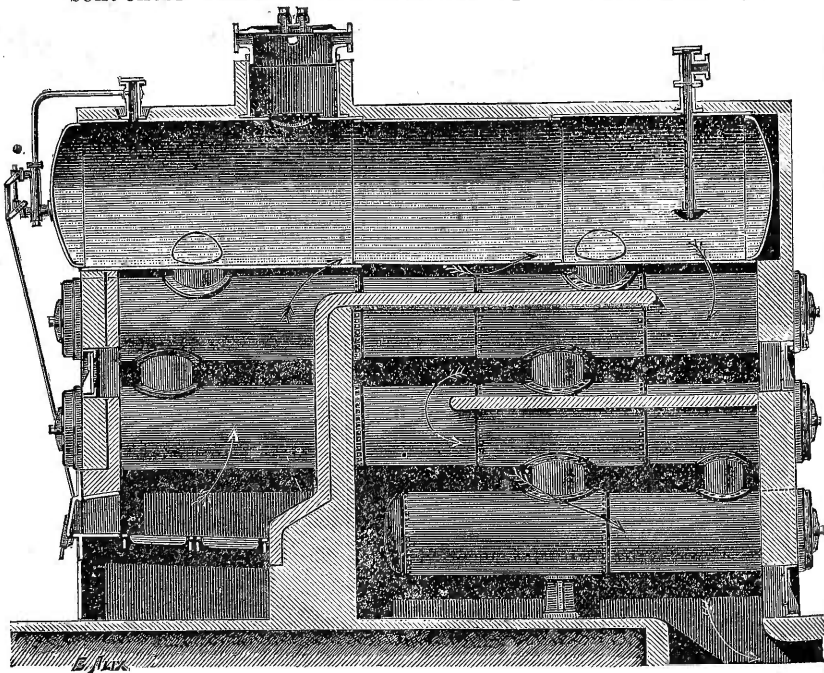


Fig. 46. — Coupe longitudinale de la chaudière Bonnet-Spazin (Lyon-Vaise)

de grandes quantités de vapeur à une haute pression. Les figures 16 et 17 donnent une coupe en long et en travers du système Bonnet-Spazin, qui n'est qu'une modification de la chaudière Farcot.

Elle comprend une chaudière supérieure réunie à deux groupes de bouilleurs formant serpentín, logés dans des carneaux dont l'inférieur communique avec la cheminée. Le premier bouilleur reçoit l'action du feu, puis les gaz passent dans un carneau supérieur, contournent la chaudière et redescendent pour chauffer les bouilleurs de la deuxième rangée. L'eau d'alimentation circule en sens inverse, constituant le chauffage méthodique. Dans ces chaudières, la combustion est lente, mais la surface de chauffe est considérable et le rendement économique est de 7 à 8 kil. de vapeur par kilogramme de charbon brûlé.

Chaudières verticales à bouilleurs. — Cette disposition s'emploie pour les petites forces; cependant, on construit des types de la force de 10-20 chevaux, leur foyer est intérieur.

La figure 18 représente en coupe verticale le principe de la disposition des bouilleurs dans cette chaudière. La porte du foyer ou *gueulard* est en E; la grille G est circulaire et supportée par un cercle H. Au-dessus du foyer, sont placés deux bouilleurs croisés V V. Ceux-ci sont destinés à augmenter la surface de chauffe et à arrêter les gaz qui renferment des produits en combustion, avant qu'ils s'échappent par la cheminée O.

Tout le foyer est entouré d'une colonne d'eau Y Y, communiquant avec les bouilleurs; le niveau s'élève jusqu'en N. La prise de vapeur se fait par un tuyau D, à l'endroit où elle est la plus sèche et la plus surchauffée. Le nettoyage des incrustations calcaires se fait en passant le bras et une brosse par les autoclaves C C A. L'ensemble est cylindrique et d'une

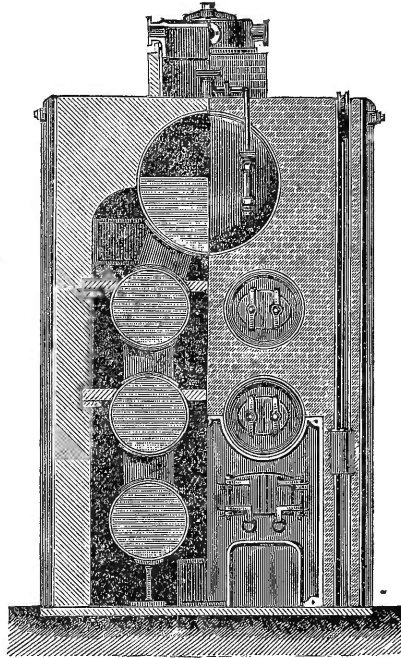


Fig. 17.— Coupe transversale.

hauteur de 1 m. 30 à 2 m. 60, suivant la force de la chaudière. Un socle F, très solide, soutient la machine et sert à la fixer à un massif en maçonnerie par des boulons.

Les tôles XX ont leurs parois baignées par l'eau, ce qui évite les brûlures ; la circulation de l'eau est active et empêche les encrassements. Le foyer est disposé pour brûler toute espèce de combustible, bois, tourbe, coke, houille, etc. Il suffit

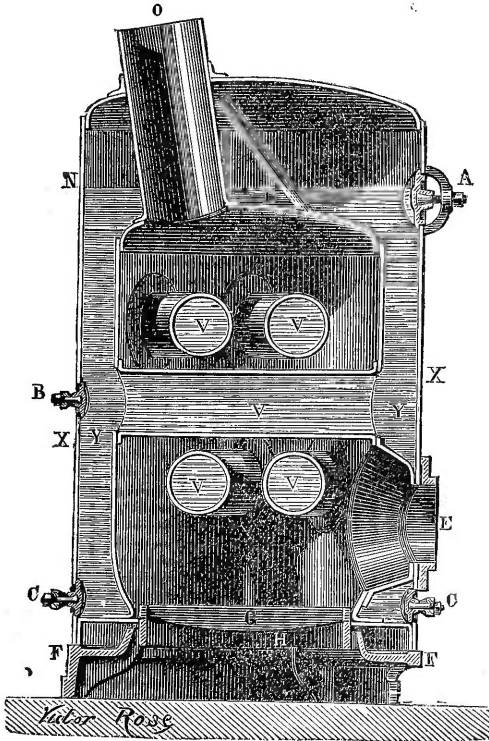


Fig. 18. — Coupe verticale, chaudière à 6 bouilleurs.

de vingt minutes pour la mise en pression, la surface de chauffe est directe.

Voici quelques données pratiques sur les chaudières Hermann-Lachapelle, de la force de 1 à 4 chevaux :

Puissance en chevaux-vapeur	1	2	3	4	
Corps de la chaudière. {	hauteur..	1 ^m .03	1 ^m .24	1 ^m .40	1 ^m .54
	diamètre..	0 ^m .51	0 ^m .65	0 ^m .82	0 ^m .93
Bouilleurs.....	nombre..	1	2	2	2
Foyer..... {	hauteur..	0 ^m .68	0 ^m .88	1 ^m .00	1 ^m .00
	diamètre..	0 ^m .40	0 ^m .52	0 ^m .68	0 ^m .775
Cheminée.....	diamètre..	0 ^m .43	0 ^m .45	0 ^m .47	0 ^m .49
Surface totale de chauffe directe..		1 ^m 2.150	2 ^m 2.250	3 ^m 2.300	4 ^m 2.400
Capacité totale de la chaudière....		0 ^m 3.107	0 ^m 3.221	0 ^m 3.355	0 ^m 3.465
Diamètre de la grille.....		0 ^m .30	0 ^m .38	0 ^m .49	0 ^m .585

B. — CHAUDIÈRES A FOYER INTÉRIEUR

Dans ces chaudières, le foyer est entouré d'eau de toutes parts, presque toute la chaleur rayonnante du foyer est utilisée, ce qui n'avait pas lieu dans les chaudières précédentes, dont les murs en briques empruntent une grande somme de calorique.

Chaudière de Cornouailles ou de Cornwall. — La chaudière de Cornouailles est le type des chaudières à foyer intérieur. Elle se compose (fig. 19) d'un vaste cylindre terminé

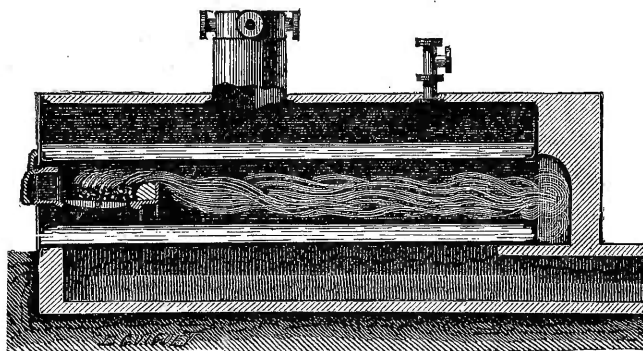


Fig. 19. — Coupe longitudinale d'une chaudière Cornouailles.

par des fonds plats, à l'intérieur se trouve un tube la parcourant dans toute sa longueur et boulonné aux fonds. La partie antérieure de ce tube porte en avant la grille du foyer, tandis que l'autre extrémité est ouverte et communique avec deux carneaux latéraux. Les gaz chauds, en circulant dans toute l'étendue du tube, rayonnent et échauffent l'eau qui les entoure, puis ils reviennent vers l'avant en léchant l'extérieur

de la chaudière. Ils sont ensuite repris par un troisième carneau qui les ramène vers la cheminée. La surface de chauffe est considérable, la combustion lente; aussi la production de vapeur s'élève à 8 kil. par kilogramme de houille. L'installation se fait dans une maçonnerie rectangulaire (fig. 20).

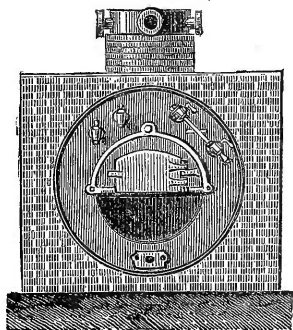


Fig. 20. — Façade.

Cette chaudière présente les inconvénients d'être assez compliquée, lourde, la partie du tube soumise à l'action directe de la flamme est rapidement hors d'usage; enfin, le tube, pressé de dehors en dedans par la vapeur, peut se déformer et faire explosion. On les *emploie* surtout en Angleterre et en Amérique.

Chaudières Fairbairn et de Lancashire. — La chaudière Fairbairn, du nom de son inventeur, est très employée en Angleterre. Le corps de la chaudière est traversé par deux *tubes-foyers* de 0 m. 25 de diamètre, ils portent à l'avant des grilles où se fait la combustion. Les gaz circulent sur une grande surface de vaporisation, ce qui explique le bon rendement de ces générateurs.

La chaudière dite de Lancashire, d'origine anglaise, est semblable à la précédente, on lui adjoint souvent des bouilleurs-réchauffeurs.

Chaudière de Galloway. — Cette chaudière a été inventée

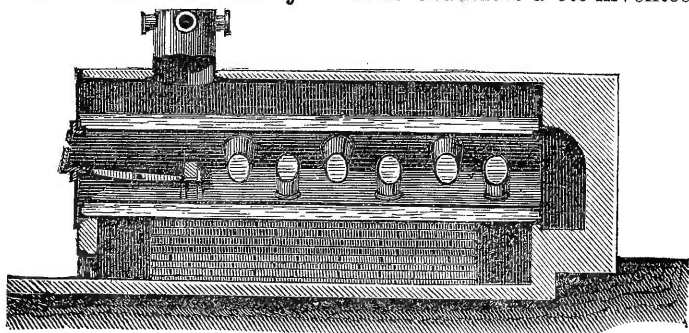


Fig. 21. — Coupe longitudinale de la chaudière Galloway (Bonnet-Spazin). également en Angleterre; en France, elle est construite par MM. Bonnet-Spazin, à Lyon-Vaise.

Ce générateur se compose (fig. 21 et 22) de deux cylindres placés l'un dans l'autre excentriquement. L'extérieur forme *calandre* et renferme l'eau ; l'intérieur constitue le *vaporisateur*. Celui-ci renferme en avant le foyer, puis vient une série de *tubes Galloway* de forme tronconique placés en croix, et alternant dans toute la longueur du faisceau. Ces tubes sont ouverts à leurs deux extrémités et font communiquer le liquide du haut et du bas de la calandre. Ils sont assujettis à chaque extrémité au moyen d'un mandrin conique ; les collets recevant la pression normalement à leurs génératrices ont une grande résistance. La surface de chauffe est augmentée et les tubes retardent la marche des gaz, ce qui leur permet d'absorber beaucoup de chaleur qui serait perdue. La circulation des gaz se fait au milieu des espaces vides 1, puis ils reviennent en arrière par les carneaux en maçonnerie 2, 2, enfin ils sont expulsés par le carneau 3. L'eau circule très rapidement par l'aspiration produite dans les tubes. La chaudière Galloway vaporise en moyenne 8 kil. 500 d'eau par kilogramme de combustible brûlé ; dans certains grands modèles on est arrivé jusqu'à 10 kil. Elle a l'inconvénient d'être d'un nettoyage peu facile.

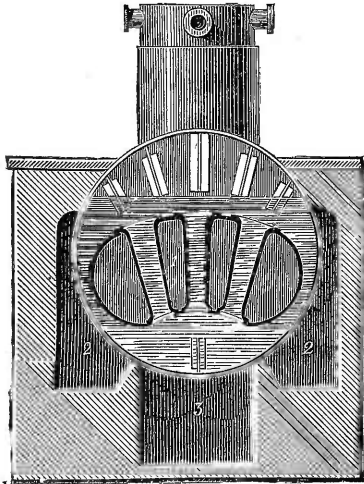


Fig. 22. — Coupe transversale.

M. Hidien, de Châteauroux, a appliqué une chaudière Galloway à ses locomobiles.

C. — CHAUDIÈRES TUBULAIRES

Joël Barlow est considéré comme le premier qui ait eu l'idée de ces machines ; mais c'est véritablement l'ingénieur français Marc Séguin, d'Annonay, qui appliqua le système tubulaire aux locomotives.

On a substitué cette forme aux générateurs fixes ou locomobiles, et aujourd'hui les chaudières tubulaires jouissent

d'une grande faveur, justifiée du reste par le bon rendement qu'elles donnent en pratique.

Chez elles, les produits de la combustion sont obligés de passer par une multitude de petits trous, entourés de l'eau à vaporiser, pour se rendre à la cheminée. La grande surface de chauffe qu'elles possèdent permet de réduire considérablement le volume des générateurs. Les tubes conducteurs de fumée sont en cuivre rouge, en laiton ou en fer ; les premiers sont préférables.

Deux formes ont été données aux chaudières tubulaires qui permettent de les classer en :

1° *Chaudières tubulaires à flamme directe* ;

2° *Chaudières tubulaires à retour de flamme.*

1° Chaudières tubulaires à flamme directe. — Dans ces chaudières, les gaz ne font que traverser des tubes avant de se rendre dans l'atmosphère. Dans celles-ci, on distingue : 1° Une partie verticale K (fig. 23) ; 2° Un corps horizontal cylindrique XX, dans lequel sont logés les *tubes à fumée* ; 3° Un compartiment M, appelé *boîte à fumée*, où aboutissent les tubes ; l'évacuation des gaz se fait par une cheminée O O.

Le foyer Y est situé dans la partie verticale de la chaudière et est entouré d'eau ; c'est donc un foyer intérieur. Il porte une grille G et une porte extérieure E, pour l'introduction du combustible. Un cendrier K reçoit les débris de la combustion.

Les tubes à fumée sont ordinairement en laiton de 0 m. 05 à 0 m. 06 de diamètre. Ils se fixent dans des *plaques tubulaires*, en les matant à leurs extrémités avec des mandrins coniques ou avec des bagues en acier que l'on peut serrer à volonté.

La boîte à fumée M est en tôle et fermée par une porte F. qui permet de ramoner les tubes en passant dans leur intérieur une tige garnie de chiffons ou de fils de fer. Dans le cas de la chaudière demi-fixe de notre figure, l'ensemble repose sur le cendrier et à l'avant sur un support en fonte P S.

Un dôme de vapeur muni de soupapes et un tube de prise, alimentant le moteur. Des autoclaves A B C servent au nettoyage intérieur.

Quand le foyer est de forme carrée, on a la chaudière type *locomotive* ; quand, au contraire, il est circulaire, on a la chaudière en T. Ces deux formes sont aussi répandues l'une que l'autre ; les machines anglaises affectent souvent la première forme.

Pour éviter les déperditions de chaleur, on entoure généralement ces chaudières de douves en bois recouvertes de tôles

ou de feutrages spéciaux goudronnés. Ces substances calorifuges étant mauvaises conductrices, elles diminuent le rayonnement.

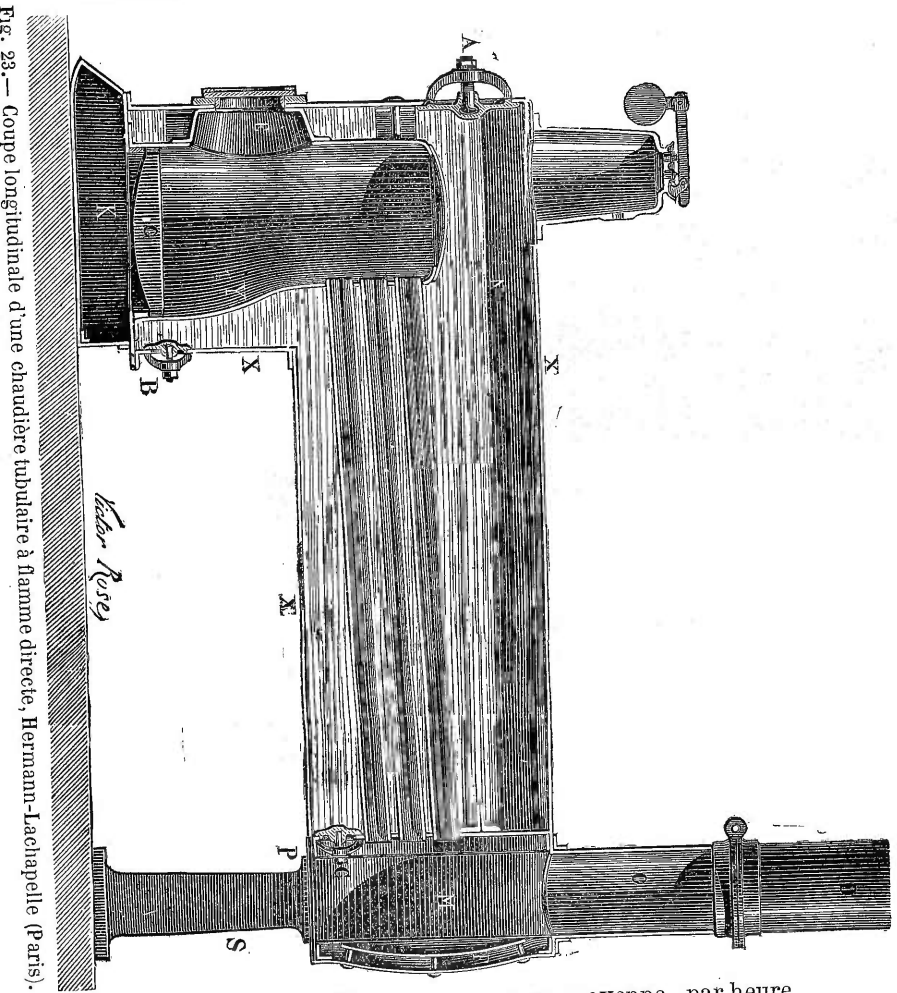


Fig. 23.— Coupe longitudinale d'une chaudière tubulaire à flamme directe, Hermann-Lachapelle (Paris).

Ce type de chaudière consomme, en moyenne, par heure, suivant les forces :

De 2 à 5 chevaux....	4 kil.	de houille
— 5 à 10 —	3 kil. 500	—
— 10 à 15 —	3 ⁱ kil.	—

2° Chaudières tubulaires à retour de flamme.— La disposition tubulaire à retour de flamme a été inventée par Thomas

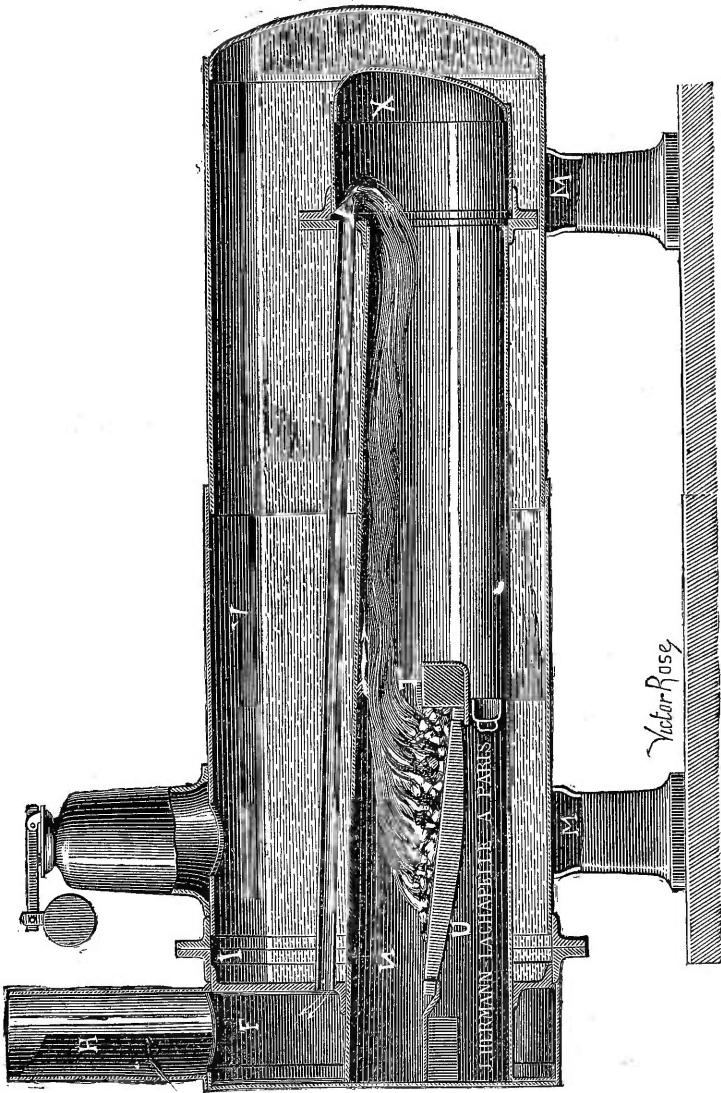


Fig. 24. — Coupe longitudinale d'une chaudière à retour de flamme.

et Laurens. Dans ces chaudières, le foyer, étant intérieur et à l'avant, cède une grande partie de sa chaleur rayonnante

avant d'arriver à une chambre à combustion, où les gaz sont obligés de rebrousser chemin en s'engageant dans des tubes à fumée qui les ramènent au même point d'où ils sont partis. Toutes les parcelles de charbon qui ont pu échapper à la combustion sont utilisées dans les tubes à fumée, c'est là le grand avantage de ces chaudières.

La consommation de charbon par cheval-vapeur et par heure s'élève à :

Machines de 3 à 5 chevaux.....	2 kil. 500
— 7 à 10 —	2 kil. 250
— 10 à 12 —	2 kil.
— 15 à 20 —	1 kil. 800

Ces chaudières possèdent un foyer intérieur *amovible* ou démontable, la dilatation est libre dans un sens, ce qui évite les fuites.

En principe, une chaudière à retour de flamme se compose d'un corps cylindrique soutenu par des supports en fonte M M (fig. 24). A l'intérieur se trouve un cylindre vaporisateur N, dont la partie antérieure porte la grille U, et la partie postérieure une chambre de combustion X. De celle-ci partent les tubes à fumée A, se rendant à une boîte à fumée F, surmontée d'une cheminée H. Le vaporisateur est réuni au corps de la chaudière par un joint à brides I, muni de boulons et d'une rondelle de caoutchouc pour le rendre étanche. Ce joint, étant à l'extérieur de la chaudière, est peu chauffé et supporte plusieurs démontages. La flamme T, après avoir parcouru le vaporisateur, arrive en X, puis passe dans les tubes A et arrive en F, d'où elle s'échappe dans l'atmosphère par H.

Quand on veut nettoyer la chaudière, on défait le joint I, puis on retire le vaporisateur en le faisant glisser, au moyen d'un palan, sur des rouleaux en bois. On enlève avec un burin les dépôts calcaires qui adhèrent aux tubes ; ce nettoyage se fait très vite et ne demande guère qu'une journée.

Les principales maisons qui construisent ce genre de chaudière pour les machines agricoles sont : Brouhot à Vierzon, Brulé à Paris, Gautreau à Dourdan (Scine-et-Oise), Weyher et Richemond à Pantin.

On emploie une autre disposition dans laquelle la chaudière est surmontée d'un réservoir d'eau et de vapeur, l'ensemble est fixé dans un massif en maçonnerie M M (fig. 25). On voit la chaudière V à la partie inférieure contenant le foyer et le faisceau tubulaire, puis deux cuissards en tôle de grand diamètre la réunissant au réservoir N.

Le foyer n'est pas concentrique à la chaudière, il est placé incliné, ce qui facilite le dégagement des gaz. Ceux-ci, à leur

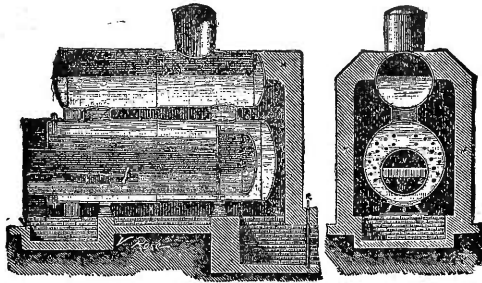


Fig. 25. — Coupes longitudinale et transversale de la chaudière à foyer amovible (Hermann-Lachapelle),

sortie du faisceau tubulaire, reviennent en arrière en léchant l'extérieur de la chaudière et du réservoir, où ils abandonnent beaucoup de chaleur, pour enfin sortir par le canal o, muni d'un registre R. Ce générateur a une production de vapeur régulière, grâce à l'addition du réservoir.

Le nettoyage du faisceau tubulaire se fait comme dans le cas précédent, en démontant le joint et en faisant rouler le vaporisateur sur des rouleaux de bois. La traction se fait avec un palan.

Chaudières semi-tubulaires. — Cet excellent système de chaudière est très employé dans les industries. En coupe

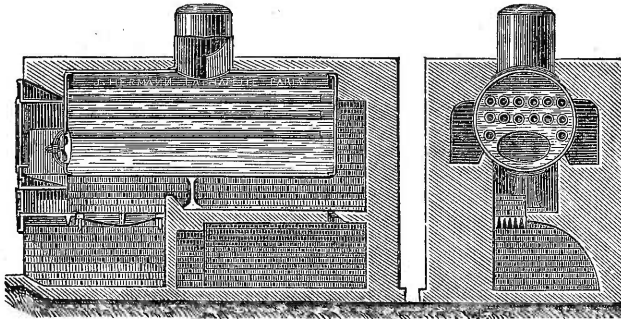


Fig. 26. — Chaudière semi-tubulaire.

(fig. 26), elle se compose d'un corps de chaudière muni d'un dôme de vapeur et traversé par des tubes à fumée pour le retour des gaz chauds. Le corps de la chaudière repose par sa

partie inférieure sur un foyer ; la flamme longe le dessous et revient en avant par les tubes à fumée, puis elle passe par deux carneaux latéraux la ramenant à la cheminée.

Le fourneau est en maçonnerie et la façade est munie de la porte du foyer et de deux autres portes pour visiter l'avant de la chaudière et nettoyer les tubes.

Ces chaudières sont timbrées ordinairement à 7 kil Le prix approximatif de la maçonnerie s'élève, sans la cheminée, entre 300 et 1.000 fr. pour des forces de 6 à 25 chevaux vapeur.

D. — CHAUDIÈRES A TUBES BOUILLEURS

Ces chaudières sont encore connues sous les noms de *chaudières tubulaires à circulation rapide* ou de *chaudières inexplosibles*. Dans celles-ci, l'organe vaporisateur est formé d'un tube à faible diamètre rempli d'eau. Les échanges à travers la masse se font rapidement, favorisant la circulation de l'eau. La faible capacité de ces vaporisateurs évite les explosions ; aussi, ces générateurs sont-ils d'une grande sécurité.

Suivant la disposition des tubes bouilleurs, on a des types verticaux et des types horizontaux.

Chaudière Field. — Le système Field, dit à *tubes bouilleurs* ou *pendentifs*, est représenté en coupe par la figure 27.

Cette chaudière est cylindrique et repose sur un socle en fonte B formant cendrier et sur un massif en maçonnerie comme dans le cas précédent. Dans l'intérieur du corps se trouve logé le vaporisateur portant à sa base un foyer E, et à sa partie supérieure un fond plat, dans lequel sont fixés les tubes bouilleurs AA dits pendentifs, parce qu'ils pendent au-dessus du foyer.

Chacun de ces bouilleurs se compose de deux tubes emboîtés l'un dans l'autre. L'extérieur a un diamètre de 0 m. 06, fixé dans des ouvertures coniques pratiquées dans le ciel du foyer et pend au-dessus du feu. Dans son intérieur se trouve un tube plus petit, ayant 0 m. 03 de diamètre, ouvert à ses deux extrémités et soutenu un peu au-dessus de l'ouverture du précédent au moyen d'ailettes (fig. 28 et 29).

Cette disposition permet une vaporisation rapide : l'eau qui se trouve entre les deux parois des tubes s'échauffe vite, parce qu'elle reçoit directement l'action de la chaleur ; elle tend à s'élever et est remplacée immédiatement par de l'eau

froide amenée par le tube intérieur. Il s'ensuit deux courants : l'un d'eau chaude et ascendant ; l'autre d'eau froide et des-

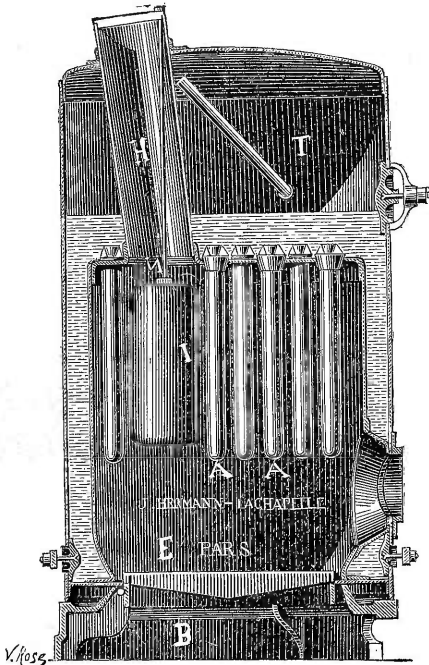


Fig. 27. — Coupe d'une chaudière Field.

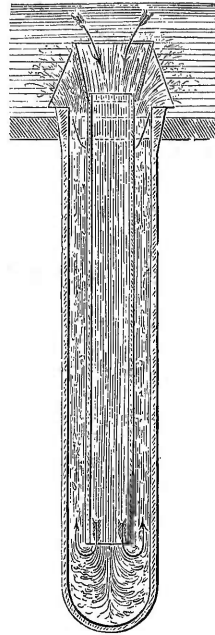


Fig. 28. — Tube de circulation d'eau.

endant (les flèches de la figure 28 les indiquent). La vitesse de cet échange peut atteindre 3 mètres par seconde. La vapeur produite se réunit dans la chambre de vapeur T.



Fig. 29. — Coupe d'un tube de circulation en plan transversal.

Cette disposition offre une grande garantie contre tout encrassement dans les tubes bouilleurs, car la vitesse de circulation devient telle qu'elle entraîne avec elle, hors des tubes, les boues, les sables, les matières calcaires, qui auraient pu s'y déposer accidentellement. Toutes ces matières se réunissent dans les bas-côtés de la chaudière, d'où on les retire

par les autoclaves.

La dilatation des tubes se fait librement, puisqu'ils ne sont fixés que par l'une de leurs extrémités ; ils forment, en outre,

l'office de bouchons fusibles. En cas d'explosion de l'un d'eux, l'eau qui s'échappe éteint immédiatement le feu. La grille est circulaire et disposée pour brûler toute espèce de combustible. La mise en pression demande une demi-heure. La surface de chauffe est entièrement directe, elle s'exerce sur les tubes bouilleurs et sur toute la paroi interne du vaporisateur. Beaucoup de chaleur serait perdue si les gaz s'échappaient directement dans l'atmosphère, sans la présence d'un obturateur I, placé à la base de la cheminée H, qu'on monte ou qu'on descend avec une tige.

Ces chaudières, dans leur installation, demandent un faible emplacement, 1 mètre carré suffit pour une force de 1 cheval-vapeur; 1^m2,50 pour 4 chevaux. On les boulonne par leur socle en fonte sur un massif en maçonnerie. C'est surtout pour les petites installations que ce générateur convient. Voici quelques chiffres pratiques relatifs à ces chaudières :

	1	2	3	4
Puissance en chevaux-vapeur . . .	1 ^m 030	1 ^m 240	1 ^m 400	1 ^m 540
Corps de la chaudière.	Hauteur . . .	0 510	0 650	0 820
	Diamètre . . .	0 589	0 688	0 787
Foyer	Hauteur . . .	0 388	0 506	0 664
	Diamètre . . .	12	20	29
Tubes bouilleurs . . .	Nombre . . .	12	20	29
	Diamètre . . .	0 050	0 050	0 060
Diamètre de la cheminée	Hauteur . . .	0 350	0 450	0 480
	Diamètre . . .	0 150	0 170	0 190
Surface de chauffe directe	1 ^m 2540	3 ^m 2000	4 ^m 2500	5 ^m 2800
Capacité totale de la chaudière . .	0 ^m 3105	0 ^m 3210	0 ^m 3400	0 ^m 3570
Diamètre de la grille	0 ^m .300	0 ^m .390	0 ^m .500	0 ^m .600

Chaudière Belleville. — C'est vers 1850 que *M. Belleville*, de Saint-Denis, commença ses premiers travaux et créa le générateur inexplosible qui porte son nom. Il a cherché, avant tout, la sécurité et la production rapide de la vapeur à haute tension. Pour cela, il a sectionné le générateur en *éléments* ou *faisceaux tubulaires*, constituant autant de générateurs séparés.

Le générateur Belleville se compose en principe (fig. 30) d'*éléments* formés par des tubes en acier étiré T T', de 7, 9 à 11 centimètres de diamètre, montés en spirales et réunis deux à deux par des boîtes de raccordement R R'. La jonction se fait au moyen de joints à vis assujettis par des manchons et des contre-bagues.

Le nombre des éléments disposés verticalement les uns à côté des autres varie suivant la puissance que l'on veut obtenir. Chaque élément communique, par sa partie inférieure,

avec un *tube collecteur d'alimentation* E, disposé transversalement au-dessus de la porte du foyer. Le haut de l'élément vient se terminer, par un raccord P, dans un *collecteur-épurateur* C. Celui-ci est constitué par un réservoir cylindrique placé transversalement sur la partie supérieure du générateur et en dehors du foyer. Il renferme de l'eau et de la va-

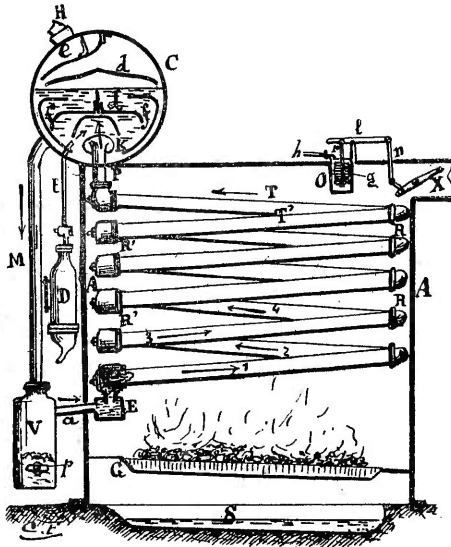


Fig. 30. — Principe d'une chaudière Belleville.

peur; l'eau est envoyée par un régulateur automatique d'alimentation D; celle-ci est épurée par la précipitation des sels calcaires, puis elle descend, par le tube M, dans un *récipient-déjecteur* V. Les dépôts boueux s'accumulent au fond et sont expulsés par le robinet *p*, même en marche, puis l'eau pure s'engage dans le tuyau latéral *a*, qui alimente le collecteur E.

La grille G s'étend à la partie inférieure des faisceaux tubulaires; elle se compose de barreaux ondulés et droits, la rendant indéformable, les cendres sont recueillies dans un cendrier S. La flamme vient lécher les premiers éléments 1, 2, 3, 4, puis les gaz chauds montent au milieu des spires pour se diriger vers la cheminée de sortie, où ils sont admis dans un passage plus ou moins grand, muni d'un *régulateur hydraulique de pression et de combustion* O. Il est constitué par une cuvette en fonte renfermant un ressort à spires creuses *g*, dont la tige *r* vient s'articuler à une série de levier *l n*, commandant

un registre oscillant X, qui ferme plus ou moins la sortie. La cuvette communique avec le dôme de vapeur par un tuyau *h*. Si la pression s'élève au delà de la limite voulue dans le générateur, et par suite dans la cuvette, le ressort est comprimé et sa tige fait fermer le registre. L'inverse a lieu lorsque la pression diminue dans le générateur, la détente du ressort fait ouvrir le registre.

L'ensemble du générateur (fig. 31) est renfermé dans une

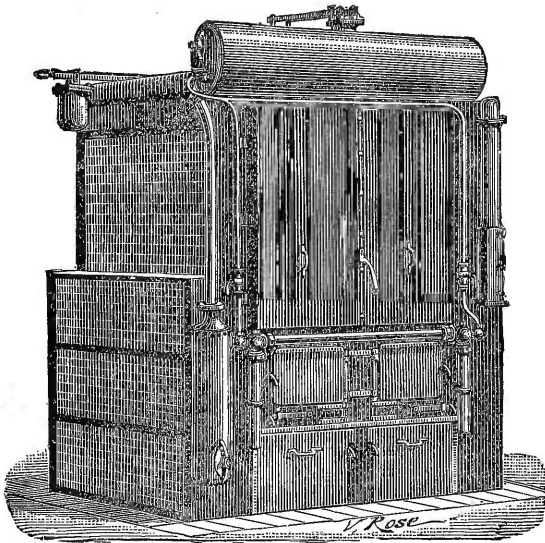


Fig. 31. — Vue d'ensemble d'une chaudière Belleville.

enveloppe formée de tôle et cornières et de briques. Elle affecte la forme d'un parallépipède accessible par sa façade antérieure munie de deux portes s'ouvrant devant la boîte à tubes, puis du foyer et du cendrier.

La dilatation des tubes se fait librement, ce qui donne toute sécurité; si l'un d'eux vient à crever, l'eau éteint le feu et l'accident se limite au remplacement de ce tube.

Si nous reprenons la marche de l'eau dans le générateur, nous voyons qu'elle est fournie par une pompe à vapeur à double effet, appelée *cheval alimentaire*, qui l'envoie au régulateur automatique d'alimentation D. Celui-ci est muni d'un flotteur à soupape équilibrée qui démasque, pour le passage de l'eau d'alimentation, une section plus ou moins grande, suivant que le niveau descend ou monte. Quand le régime

normal de la vaporisation est établi, le niveau moyen de l'eau dans le générateur reste constant tant que le cheval alimentaire fournit de l'eau en quantité suffisante. Celle-ci, injectée par le tube *t* dans le *collecteur-épurateur*, est portée immédiatement à une haute température, ses sels calcaires se précipitent.

Voici les résultats d'une analyse hydrotimétrique faite de l'eau avant et après son passage à l'épurateur :

SELS contenus dans l'eau		A l'entrée dans le générateur	Après le passage à l'épurateur	Proportion des sels précipités
Pour 1 lit. d'eau	Carbonate de chaux.	0g060	0g010	83 o/o
	Sulfate de chaux....	0.336	0.014	96 —
	Magnésie.....	0.012	0.012	0 —
		0.408	0 036	

Débarrassée de toutes ses impuretés, l'eau circule dans les éléments suivant les flèches 1, 2, 3, 4, etc., en empruntant de la chaleur, elle tend à s'élever et passe dans un sécheur, puis arrive en K, où les bulles de vapeur se dégagent. Cette vapeur, pour remonter à la chambre supérieure, se débarrasse de l'eau à l'état vésiculaire qu'elle a entraînée, en passant sur des écrans *d d*, dont les bords sont munis de dents. Elle arrive sèche en *e* où se trouve la prise de vapeur H. On peut donc représenter la circulation de l'eau dans cette chaudière par une circonférence.

Les nouveaux systèmes Belleville (type 1896) sont munis d'un *économiseur-réchauffeur* d'eau d'alimentation. Celui-ci se compose d'éléments tubulaires plus petits que ceux du générateur et placés au-dessus, pour utiliser la chaleur des gaz d'évacuation.

Les générateurs Belleville se recommandent surtout pour les industries agricoles demandant beaucoup de vapeur qu'ils fournissent à 12 et 15 kil. Voici quelques chiffres tirés d'un moteur de 100 chevaux expérimenté à Nice en mai 1884.

Pression moyenne au générateur	40 k. 99
Température correspondante	183°
Pression de la vapeur après le détendeur	6 k. 55
Quantité d'eau vaporisée pendant l'essai.	9292 k.
Eau vaporisée par heure de marche.....	2277 k.
Température de l'eau d'alimentation	17°5

Charbon brûlé par heure		245 k. 8							
— — — et par mètre carré de grille.....		66 k. 6							
Vaporisation par kil. de charbon brut	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2">}</td> <td>Eau prise à 17°5 et vaporisée à 183°</td> <td>9 k. 620</td> </tr> <tr> <td>Eau prise à 0° et vaporisée à 183°</td> <td>9 k. 020</td> </tr> </table>	}	Eau prise à 17°5 et vaporisée à 183°	9 k. 620	Eau prise à 0° et vaporisée à 183°	9 k. 020			
}	Eau prise à 17°5 et vaporisée à 183°		9 k. 620						
	Eau prise à 0° et vaporisée à 183°	9 k. 020							
Vaporisation par heure	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2">}</td> <td rowspan="2">Eau prise à 17°5 et vaporisée à 183°</td> <td>par mètre carré de surface de grille.....</td> <td>617 k.</td> </tr> <tr> <td>par mètre carré de surface de chauffe.....</td> <td>19 k. 4</td> </tr> </table>	}	Eau prise à 17°5 et vaporisée à 183°	par mètre carré de surface de grille.....	617 k.	par mètre carré de surface de chauffe.....	19 k. 4		
				}	Eau prise à 17°5 et vaporisée à 183°	par mètre carré de surface de grille.....	617 k.		
	par mètre carré de surface de chauffe.....	19 k. 4							
	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2">}</td> <td rowspan="2">Eau prise à 0° et vaporisée à 183°</td> <td>par mètre carré de surface de grille.....</td> <td>601 k.</td> </tr> <tr> <td>par mètre carré de surface de chauffe.....</td> <td>18 k. 9</td> </tr> </table>	}	Eau prise à 0° et vaporisée à 183°	par mètre carré de surface de grille.....	601 k.	par mètre carré de surface de chauffe.....	18 k. 9		
}				Eau prise à 0° et vaporisée à 183°	par mètre carré de surface de grille.....	601 k.			
	par mètre carré de surface de chauffe.....	18 k. 9							

Chaudière Niclausse. — Le générateur inexplosible Niclausse est construit rue des Ardennes, 24, Paris. Il comprend des tubes vaporisateurs spéciaux, se rapprochant de la chaudière Field. Ce type dérive du système Collet.

En coupe verticale et dans son ensemble (fig. 32 et 33), on distingue les parties principales suivantes :

- 1° Des *collecteurs d'alimentation* verticaux;
- 2° Des *tubes vaporisateurs* ;
- 3° Un *réservoir d'alimentation* d'eau et de vapeur.

Chaque collecteur est formé d'une boîte en fonte A, divisée en deux parties H et G (fig. 34), dont la paroi centrale sert à fixer un tube réchauffeur. Dans la chambre d'avant H, descend l'eau froide, dans la chambre d'arrière G s'élèvent l'eau chaude et la vapeur. Tous ces collecteurs, en nombre variable, sont reliés au réservoir d'alimentation placé au-dessus du générateur.

Les vaporisateurs comprennent deux tubes, l'un extérieur T, l'autre intérieur, servant à l'adduction de l'eau, il est moins long que le premier pour faciliter la circulation. Il se fixe au tube extérieur par une tête filetée, vissée dans une tête taraudée B du tube extérieur, il traverse le diaphragme intermédiaire à frottement libre. Le tube extérieur ou vaporisateur est muni d'une lanterne très visible sur la figure 35 et se fixe par deux couronnes coniques, dont l'une rigide, l'autre élastique; une traverse, maintenue par un écrou, fixe les joints de deux tubes vaporisateurs voisins.

L'extrémité libre est fermée par un bouchon vissé. Les joints dans cette chaudière sont parfaitement étanches, sans aucun mastic (minium, serbat). Les vaporisateurs sont inclinés, réunis deux à deux au collecteur et placés en quinconce (fig. 36).

Comme l'une des extrémités des tubes est libre, la dilatation se fait régulièrement.

Si maintenant nous analysons la circulation qui va se produire dans notre vaporisateur, nous voyons que les molécules

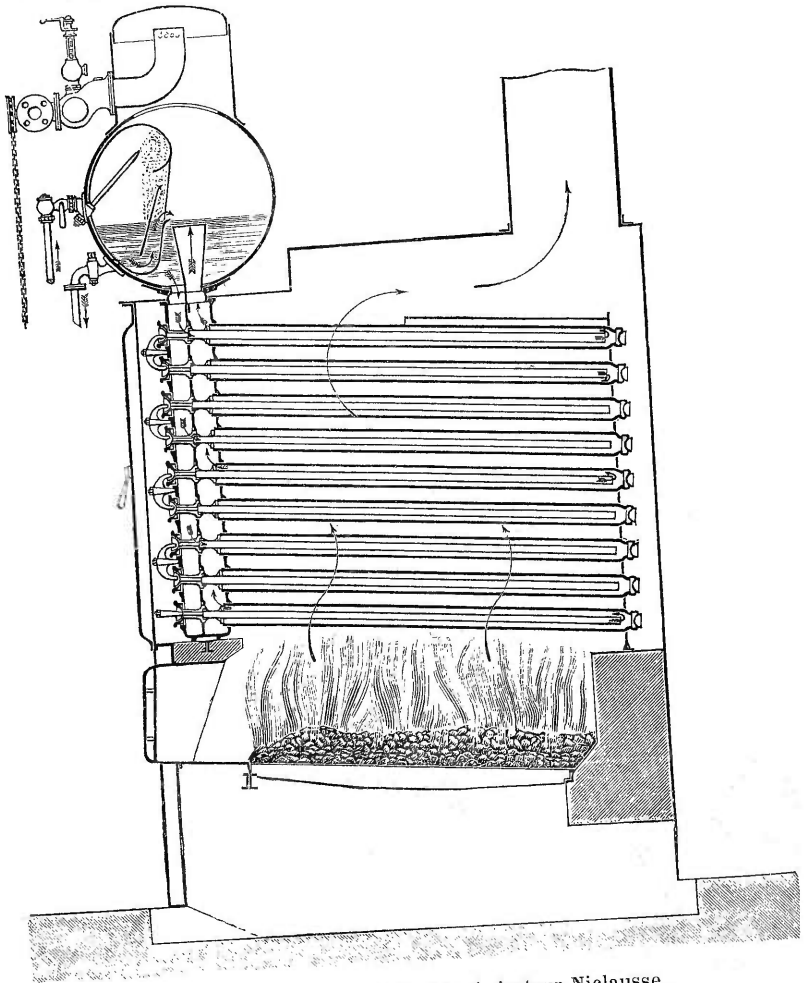


Fig. 32. — Coupe verticale du générateur NiCLAUSSE.

d'eau qui se trouvent en contact des gaz chauds vont diminuer de densité, elles tendent à s'élever et s'échappent en montant par la chambre G. Mais cette eau chaude est rem-

placée par de l'eau froide venant par la chambre H et par le tube intérieur.

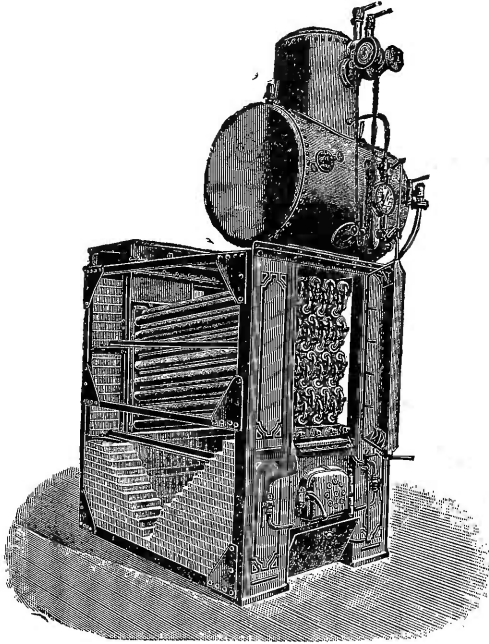


Fig. 33. — Vue d'ensemble.

Le réservoir d'alimentation R offre la disposition représentée en coupe par la figure 37 ; l'eau arrive par un ajutage

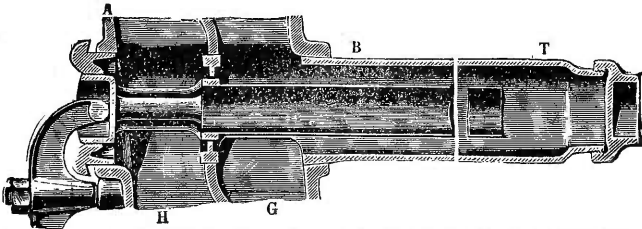


Fig. 34. — Coupe longitudinale d'un collecteur et d'un vaporisateur.

A, terminé par une cuiller K, elle se pulvérise et tombe dans une auge E en coulant sur une paroi inclinée M N. Elle se débarrasse des sels et des boues qui tombent au fond et peuvent être extraits par des tubulures B et C. L'auge se déverse

quand elle est trop pleine, et l'eau s'engage dans la chambre L du collecteur, elle est guidée par le diaphragme D. L'eau



Fig. 35. — Vue d'ensemble d'un tube vaporisateur.

chaude et la vapeur reviennent par L' ; on voit en F le manchon

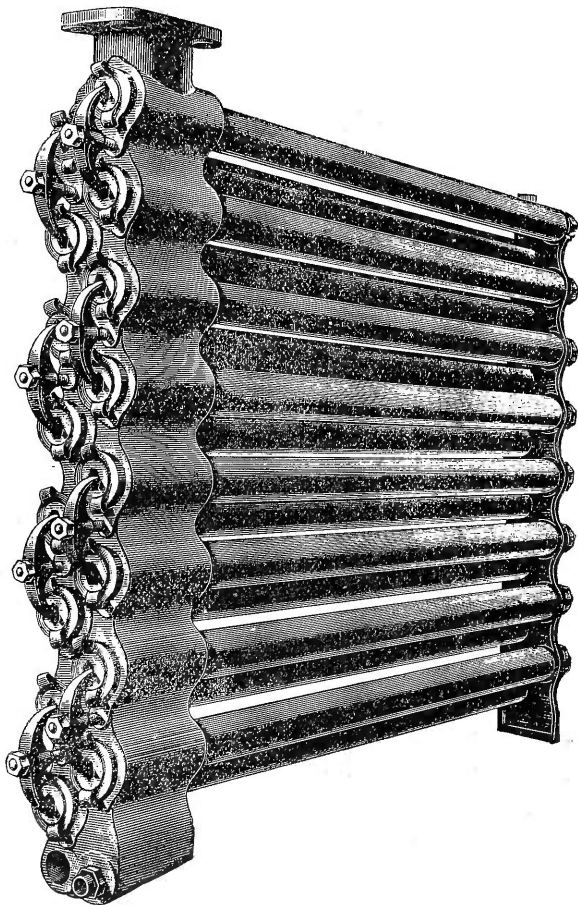


Fig. 36. — Vue d'ensemble d'un collecteur avec son faisceau tubulaire.

biconique qui sert à relier le collecteur au réservoir, un piétement P sert à renforcer le raccord.

L'ensemble de la chaudière est renfermé dans une maçon-

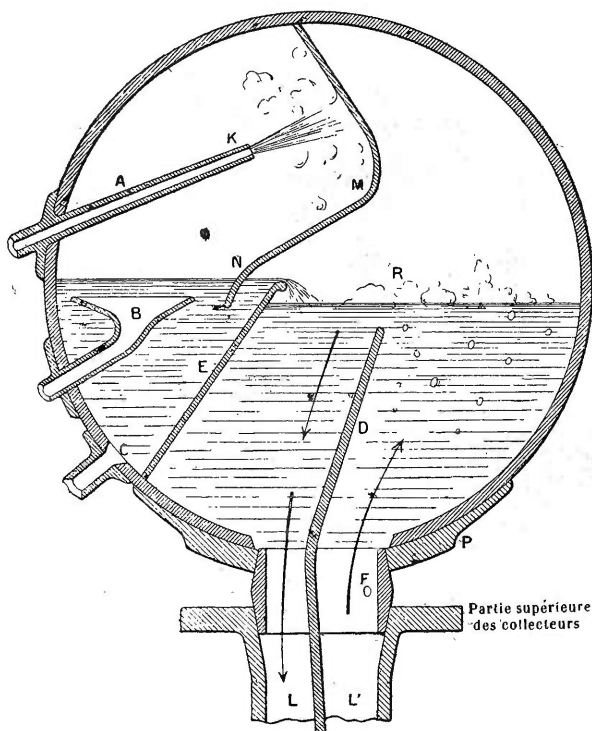


Fig. 37. — Coupe montrant la circulation de l'eau et de la vapeur dans le réservoir.

nerie en briques réfractaires avec fers cornières formant charpente. Au-dessous du faisceau tubulaire se trouve le foyer avec sa grille inclinée et son cendrier.

Dans le cas de grandes installations où il faut plusieurs générateurs, on les réunit en batterie sur une conduite générale de vapeur, comme l'indique la figure 38.

Ces chaudières peuvent brûler de 70. à 150 kil. de houille par heure et par mètre carré de grille ; on estime que le cheval-heure dépense 0 kil. 950 de combustible.

Chaudière Babcock et Wilcox. — Cette chaudière (fig. 39) est composée d'un faisceau tubulaire très incliné, les tubes sont

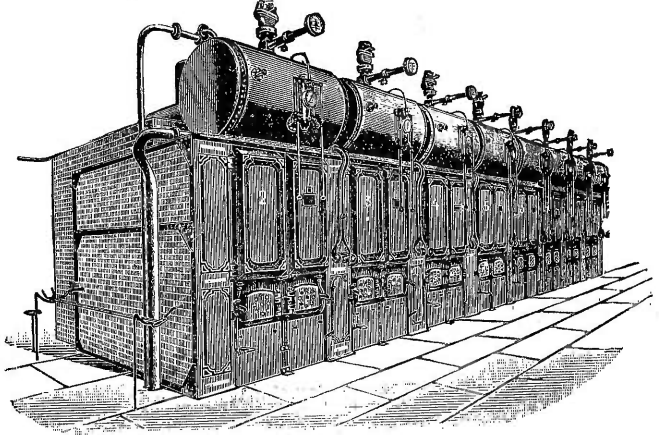


Fig. 38. — Batterie de générateurs Nielausse.

en fer forgé ou en acier extra doux, soudés à recouvrement. Leurs extrémités sont reliées à des collecteurs en fonte ayant la forme de serpentins venant déboucher dans un réservoir

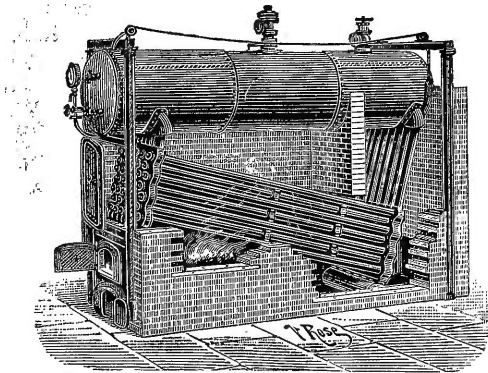


Fig. 39. — Chaudière Babcock et Wilcox.

d'eau et de vapeur placé au-dessus de la chaudière dans le sens de sa longueur. Tous ces tubes sont répartis en quinconce et munis de bouchons maintenus par des cavaliers en fer forgé. L'eau se débarrasse des sels calcaires et des boues

précipités dans un *collecteur de boues* d'où on les extrait *par pression*.

Chaudières à vapeur instantanée. — C'est Du Temple qui a, le premier, posé le principe de ces chaudières, principe basé sur la vaporisation instantanée de l'eau dans des tubes en acier très étroits et chauffés au rouge. La chaudière Serpollet, à tubes vaporisateurs aplatis, est employée aujourd'hui pour alimenter les voitures à vapeur.

Puissance d'une chaudière. — La puissance d'une chaudière est exprimée par la quantité de vapeur fournie par mètre carré de surface de chauffe et par heure. La pression ne doit pas être prise en considération.

La quantité de vapeur fournie par mètre carré de surface de chauffe dans un temps donné dépend de la quantité de chaleur qui passe au travers de la tôle de la chaudière. Cette chaleur est proportionnelle à la différence $(T-t)$ qui existe entre la température T du métal du côté le plus chaud et sa température t du côté du liquide; elle est en raison inverse de l'épaisseur e de la paroi métallique. Enfin, si k est le coefficient de conductibilité du métal, la quantité de vapeur fournie par mètre carré de surface de chauffe et par heure est :

$$x = \frac{(T-t) k}{e}.$$

DÉPÔTS ET INCRUSTATIONS DES CHAUDIÈRES. — EXPLOSIONS

L'eau d'alimentation des chaudières n'est jamais pure, elle contient toujours en dissolution des sels terreux, dont les plus abondants sont le carbonate et le sulfate de chaux. Le carbonate de chaux se dépose en lamelles adhérentes sur la paroi interne de la chaudière vers 80 à 100°; le sulfate de chaux devient complètement insoluble à 150°. La couche calcaire forme un écran entre le foyer et l'eau qui empêche la chaleur d'arriver à cette dernière. Si la couche incrustante vient à se briser et que l'enveloppe soit rouge à l'extérieur, l'eau arrivant en contact avec cette partie se réduit à l'état sphéroïdal et forme instantanément une énorme quantité de vapeur que les soupapes de sûreté ne peuvent débiter assez vite; de là une explosion violente détruisant la chaudière et occasionnant la mort des ouvriers.

On a cherché à prévenir ces incrustations en employant certaines substances. Les unes sont des matières grasses

ou des féculés qui lubrifient la surface interne de la chaudière et empêchent les dépôts de se produire. D'autres agissent mécaniquement, telles que l'argile, le verre pilé, le tannin, les rognures de tôle, la sciure de bois, etc. Mais il arrive que les particules entraînées au tiroir et au piston nuisent au fonctionnement de ces organes. Une des meilleures compositions est celle dans laquelle il entre 40 o/o de *bois de campêche*, 20 o/o de *carbonate de soude* et 40 o/o d'*orseille*.

Les chaudières à circulation rapide (Belleville, Collet, Field, etc.) ont cet avantage d'empêcher les incrustations ; les dépôts sont extraits chaque jour par des robinets de purge.

Les explosions peuvent se produire dans les cas suivants :

1° Par le grand échauffement d'une surface portée au rouge à laquelle arrive subitement l'eau ;

2° Par le manque d'eau, de là la nécessité des indicateurs de niveau ;

3° De la trop grande accumulation de la vapeur dans la chaudière, d'où utilité des soupapes de sûreté ;

4° De l'usure d'une partie de la chaudière, dans laquelle la résistance a diminué.

Calcul de l'épaisseur de l'enveloppe des chaudières

Les enveloppes des chaudières se font généralement en tôle de fer. Si on considère cette tôle comme étant parfaitement homogène et d'une épaisseur régulière, une chaudière ne peut éclater que suivant deux génératrices opposées, ou suivant une section perpendiculaire à l'axe. Or, la résistance à la rupture suivant une section transversale est double de celle suivant une génératrice ; si on donne aux parois une épaisseur capable de résister à la tension qui s'exerce sui-

vant deux génératrices opposées, on sera assuré que la chaudière résistera.

Cherchons (fig. 40) la pression supportée par une chaudière, tendant à la faire éclater suivant un plan HH' , passant par l'axe O , qui lui est symétrique. Il suffit de considérer la partie supérieure HIH' . Prenons un élément superficiel n ,

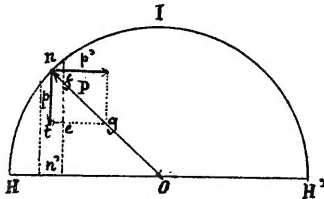


Fig. 40. — Détermination de l'épaisseur des chaudières.

il supporte une pression totale P , normale à sa surface. Cette pression P peut se décomposer en deux, la composante verticale p , seule, agira pour séparer les deux moitiés de la

chaudière suivant le plan H H'. En effet, si nous prenions un autre élément symétrique au premier, sa composante p'_1 serait en sens contraire de p' . Comme ces deux forces sont égales et directement opposées, elles se détruisent, p_1 viendrait s'ajouter à p . Les triangles semblables $n t g$ et $e g$ nous permettent d'écrire que $\frac{P}{p} = \frac{n}{n'}$, n' étant la projection de l'élément n sur le plan H H'

On tire que $P n' = p n$. En considérant un autre élément semblable, la pression totale sera représentée par P , multipliée par la somme des projections des éléments, c'est-à-dire par la surface $d l$ de la section longitudinale de la chaudière. Soit $P d l$, $d =$ diamètre intérieur de la chaudière, l sa longueur.

Si x représente la pression intérieure en atmosphères, nous aurons comme valeur de $P = x - 1$, puisque la pression atmosphérique agit à l'extérieur. Une atmosphère valant 10.334 kil. par mètre carré, nous aurons :

$$P = 10.334 \times (x - 1).$$

D'un autre côté, si e représente l'épaisseur de la tôle, la surface résistante suivant deux génératrices sera $2 e l$, et faisant K , la résistance en kilogr., que l'on peut faire supporter au fer par mètre carré, on pourra écrire que $2 e l K = 10.334 (x - 1) d l$, d'où l'on tire :

$$e = \frac{10.334 (x - 1) d}{2 K}$$

Le coefficient de résistance K pour le fer est de 5.500.000 kil.; si on prend la moitié comme coefficient de sécurité, l'épaisseur

$$e = \frac{10.334 (x - 1) d}{2 \times 2.750.000} = 0^m,0018 (x - 1) d.$$

Et en millimètres $e = 1^m,8 (x - 1) d$.

A cause des chocs et de l'usure, on ajoute 3^m à l'épaisseur donnée par la formule ci-dessus, on aura donc :

$$e = 1^m,8 (x - 1) d + 3^m.$$

Epreuve des chaudières. — Toutes les chaudières, avant d'être livrées au commerce, sont essayées chez le constructeur, c'est ce qui constitue leur *épreuve*. Sous le régime de l'ordonnance du 22 mai 1843 et du décret du 25 janvier 1865, les chaudières et les cylindres des machines à vapeur étaient soumis, non seulement à une épreuve hydraulique égale au triple de la pression effective, mais encore à des épreuves à chaud qui

avaient le grave tort d'affaiblir les parois des générateurs à vapeur et de diminuer leur garantie de solidité.

Aujourd'hui, l'épreuve est faite par un garde-mine et avec une presse hydraulique (fig. 41) munie d'un manomètre étalon. On envoie de l'eau dans la chaudière, après avoir calé les soupapes, puis on pousse la pression jusqu'au double de celle à laquelle on produira la vapeur.

Alors on appose un timbre, qui indique en kilogrammes, par centimètre carré, la tension intérieure que la vapeur ne doit pas dépasser. Le contrôleur fait imprimer le poinçon de l'État représentant une tête de cheval et trois nombres indiquant le jour, le mois et l'année de l'épreuve. Si cette opération a été effectuée le 20 mars 1899, on grave sur le timbre les chiffres 20-3-99. Le manomètre porte également une ligne rouge sur le chiffre de pression limite. L'épreuve fait connaître aussi les fissures, les rivures mal faites donnant des fuites.

La loi exige le contrôle des chaudières en service ; nous renvoyons le lecteur au décret du 30 avril 1880 (page 73).

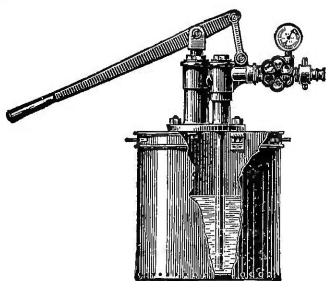


Fig. 41. — Pompe d'épreuve pour chaudières (Schaeffer et Budenberg).

APPAREILS D'ALIMENTATION DES CHAUDIÈRES

Ces appareils sont chargés d'introduire dans la chaudière l'eau nécessaire à la production de la vapeur. Leur fonctionnement doit être surveillé minutieusement par le mécanicien, car un arrêt pourrait occasionner des accidents très graves.

On distingue trois catégories d'appareils alimentaires :

- 1° Les *bouteilles alimentaires* ;
- 2° Les *pompes alimentaires* ;
- 3° Les *injecteurs*.

1° **Bouteilles alimentaires.** — La figure 42 représente le système Roger-Muller (Paris). Il se compose d'un cylindre en tôle portant quatre tubulures E A V R. L'eau d'alimentation arrive par E, pendant que l'air s'échappe par le tuyau A. Le ballon rempli, on ferme le robinet d'eau E et le robinet d'air A, puis on ouvre les robinets de refoulement R et du

tuyau de vapeur V La vapeur pressant sur l'eau oblige celle-ci à pénétrer dans la chaudière. Un niveau N permet de vérifier l'emplissage ; le nettoyage se fait par un trou d'homme.

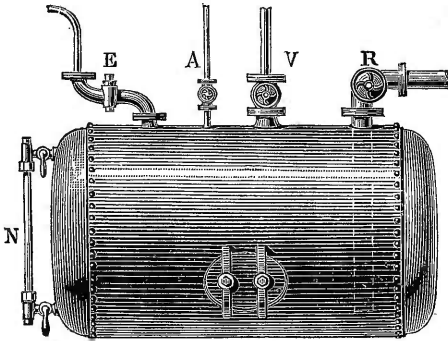


Fig. 42. — Bouteille alimentaire Roger-Muller.

Les bouteilles alimentaires se placent au-dessus des chaudières et doivent en porter le timbre.

Ces appareils servent surtout pour les types verticaux de la force de 2 ou 3 chevaux et lorsque la chaudière est dépourvue de moteur.

2° **Pompes alimentaires.** — Les pompes alimentaires sont commandées par le moteur ; on peut trouver des pompes à

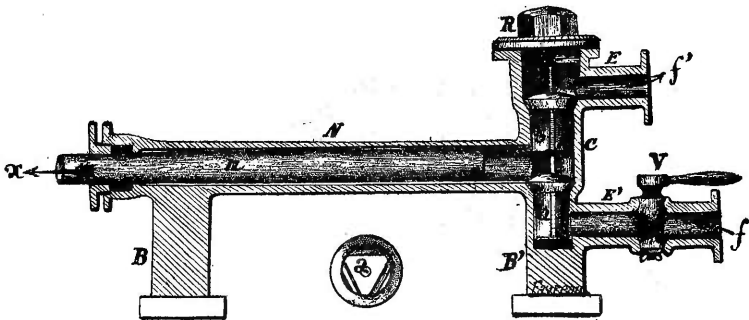


Fig. 43. — Pompe alimentaire horizontale.

vapeur indépendantes appelées *chevaux alimentaires*, *pompes Duplex*

La pompe alimentaire horizontale est la plus répandue. Elle se compose (fig. 43) d'un corps de pompe N, fixé au

bâti du moteur par les supports B B' ; à l'intérieur se meut un piston plongeur *n*, relié par une tige et un excentrique à l'arbre de couche. Le corps N est en communication avec un conduit vertical C, muni d'un tuyau d'aspiration E' et d'un tuyau de refoulement E. En *a*, se trouve un clapet d'aspiration, et en *b* un clapet de refoulement ; ces clapets sont munis d'ailettes et de tiges *i i*, servant de guides dans leur soulèvement. Un bouchon à vis R permet la visite et le nettoyage de la chambre des soupapes.

Le robinet d'aspiration V étant ouvert, et le piston *n* se déplaçant suivant la flèche *x*, le vide se produit et l'eau arrive suivant *f*. Elle fait soulever la soupape *a* et remplit le corps de pompe ; en revenant, *a* se ferme, tandis que *b* s'ou-

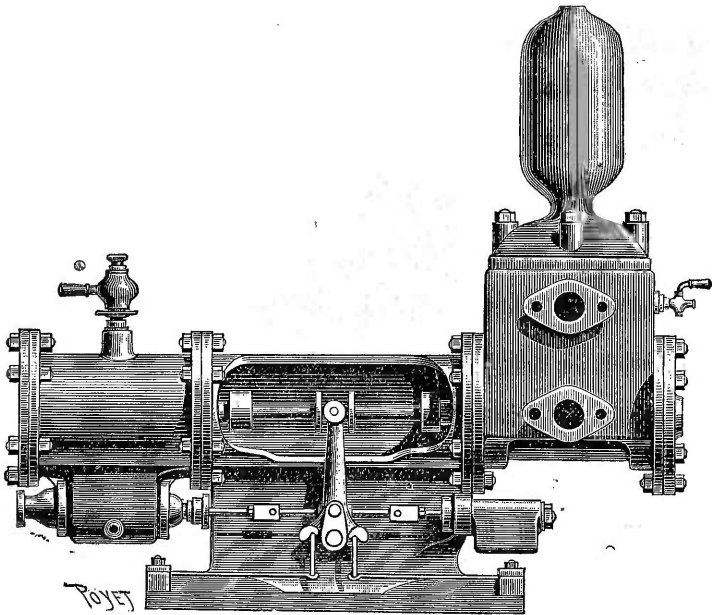


Fig. 44. — Pompe à vapeur à action directe.

vre pour donner passage à l'eau qui s'échappe suivant *f'* et va à la chaudière. Quand on ferme V, la pompe marche à vide ; on peut avoir des systèmes à retour d'eau, comme nous le verrons dans les locomobiles. La capacité des pompes alimentaires doit être le 1/100 ou le 1/120 du volume du cylindre à vapeur ; le volume d'eau refoulé doit être supérieur aux besoins du générateur.

Les pompes à vapeur indépendantes sont très employées aujourd'hui dans l'alimentation des générateurs en batterie. On a, en premier lieu, le *cheval alimentaire Belleville*. En principe, cette pompe comprend un cylindre à vapeur avec distributeur, commandé par une fourche déplacée par le va-et-vient de la tige du piston, se terminant par un deuxième piston situé dans le corps de la pompe placée à l'autre extrémité. L'eau arrive par deux clapets d'aspiration, elle sort dans le tuyau de refoulement par deux soupapes.

La figure 44 montre dans son ensemble une pompe à vapeur; à gauche, se trouve le cylindre à vapeur; à droite, le corps de pompe surmonté d'une cloche à air. La pompe à vapeur Worthington, inventée en Amérique en 1841, est également très répandue. Pour assurer la régularité de la marche, cette machine a deux cylindres à vapeur et deux corps de pompes, c'est pourquoi on la dit «Dupleix». La maison Worthington (43, rue Lafayette, Paris) construit également des pompes Dupleix-Compound.

3° Injecteurs. — Dans certains cas, on a avantage à alimenter la chaudière avec un injecteur Giffard, ou avec un dérivé de ce système. L'injecteur date de 1857, époque à laquelle

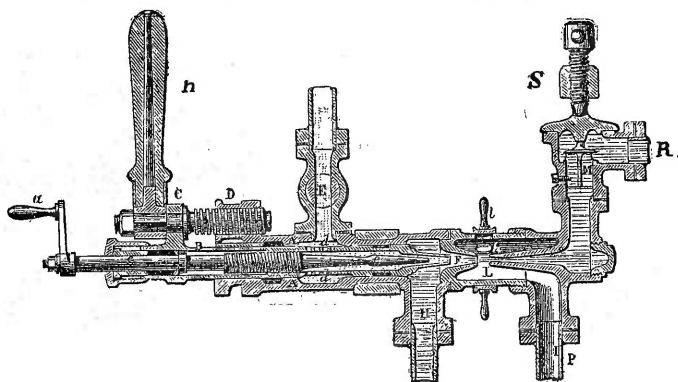


Fig. 43. — Coupe de l'injecteur Giffard.

Henri Giffard le découvrit. Il permet d'aspirer l'eau et de la refouler dans la chaudière au moyen de la vapeur sans le concours d'une pompe.

Injecteur Giffard. — Cet injecteur comprend (fig. 45), un cylindre en bronze A, dans l'intérieur duquel glisse à frottement doux un piston creux B, portant une saillie C, où

s'engage une vis à doubles filets D, logée dans un écrou fixe. Elle sert au déplacement du piston B, par l'intermédiaire d'une poignée *n* ; un joint à étoupe A fait fermeture hermétique. Le piston B est percé de trous *d d'*, pour permettre à la vapeur venant du tuyau E de pénétrer dans l'appareil ; son extrémité est terminée en *tuyère*, que l'on débouche plus ou moins au moyen d'une tige centrale *e* appelée *aiguille*, filetée dans son milieu et munie à l'extérieur d'une manivelle *a*. La tuyère s'engage dans une cheminée F, contenue dans une chambre d'eau communiquant avec le tuyau d'aspiration H, puisant l'eau dans un réservoir. Devant l'orifice de la cheminée et à quelques millimètres de celle-ci, se trouve un ajutage L, de même diamètre et tourné en sens contraire, il est logé dans une chambre de *trop-plein*, en communication avec le tuyau P. L'ajutage se continue par le tuyau de refoulement R, allant à la chaudière et muni d'une soupape de retenue M, que l'on peut visiter par le bouchon S. La paroi de la chambre de trop-plein est percée d'ouvertures *h* que l'on peut déboucher au moyen d'une bague à poignée *l*, pour voir si l'appareil fonctionne.

Pour la mise en marche, on commence par ouvrir le tuyau de vapeur E, puis on débouche lentement l'orifice de la tuyère F, en faisant revenir en arrière l'aiguille *e* au moyen du volant *a*. Le jet de vapeur, arrivant avec une grande vitesse, aspire l'air du tuyau H, en produisant un vide ; sous l'effet de la pression atmosphérique, l'eau remonte peu à peu et vient condenser la vapeur dans la cheminée F. Mais le liquide possède une impulsion qui lui permet de passer dans l'ajutage L, où il se rend de là à la chaudière. L'orifice annulaire situé entre la tuyère et la cheminée doit être réglé convenablement pour que l'eau arrive en quantité déterminée. Il peut alors se présenter deux cas :

1^o Cet orifice est trop petit, il n'arrive pas assez d'eau pour condenser la vapeur, celle-ci prend le dessus et refoule l'eau du tuyau d'aspiration, elle s'échappe par le trop-plein P.

2^o Cet orifice est trop grand, ce qui se reconnaît à l'excès de l'eau qui s'écoule par le trop-plein.

Dans le premier cas, il faut ramener la tuyère en avant en agissant sur la poignée *n* ; dans le deuxième cas, il faut la ramener en arrière. Quand l'injecteur fonctionne, on entend un sifflement particulier, le clapet M bat sur son siège, et si l'on ouvre l'orifice *g*, on voit un filet liquide ressemblant à une tige d'ivoire. Au moment de l'amorçage, il faut tourner lentement l'aiguille jusqu'à ce qu'il ne sorte plus d'eau par le trop-plein ; on peut alors ouvrir en grand. Il arrive souvent que

l'amorçage se fait difficilement, ceci tient à la présence de bulles d'air dans la colonne de refoulement, on les extrait par un purgeur placé près de la boîte à clapet.

Parmi les injecteurs perfectionnés, citons ceux de *Turck*, de *Friedmann*, la *pompe automatique de Chiazzari*.

On construit généralement, aujourd'hui, les giffards sans piston mobile, la tuyère est fixe. On les établit pour des pressions et des températures d'eau déterminées.

Classification des injecteurs. — On trouve deux sortes d'injecteurs :

1° Les *injecteurs aspirants* ;

2° Les *injecteurs non aspirants ou en charge*.

Les premiers prennent l'eau à un niveau inférieur, les deuxièmes reçoivent l'eau d'un réservoir supérieur.

Certains injecteurs marchent indifféremment par aspiration ou en charge.

On distingue également les *injecteurs horizontaux* et les *injecteurs verticaux*.

Les figures 46, 47 et 48 indiquent trois modèles de l'injecteur «Le Parfait», construit par MM. Schaeffer et Budenberg

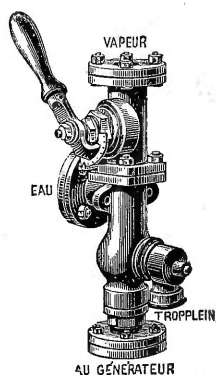


Fig. 46. — Injecteur aspirant

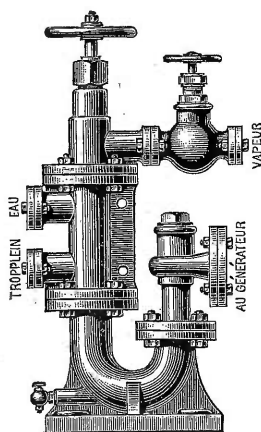


Fig. 47. — Injecteur vertical aspirant ou en charge.

(Paris), disposés pour l'aspiration ou pour la charge. Dans le système Guyenet, de MM. Bonnet-Spazin (Lyon), le levier d'amorçage commande en même temps l'arrivée de la vapeur et de l'eau (fig. 49).

On compte qu'un injecteur du prix de 90 à 100 fr. est suffisant pour entretenir une chaudière de 15 chevaux. Le sys-

tème « Le Parfait » peut travailler avec de l'eau froide en aspirant jusqu'à une profondeur de 6 m. 50, ou avec de l'eau en charge ayant une température de 60°.

Certains injecteurs sont à marche automatique (injecteur Gresham, de M. Boivin, etc.).

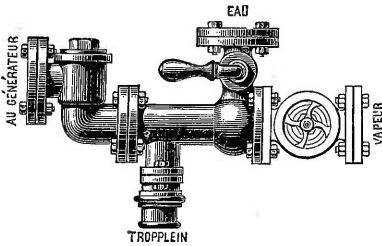


Fig. 48. — Injecteur en charge

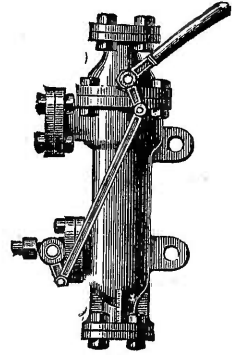


Fig. 49. — Injecteur Guyenet.

La pression de la chaudière et la température de l'eau d'alimentation sont deux facteurs qui influent principalement sur la marche d'un injecteur. Plus la pression est *grande*, plus la température de l'eau doit être *basse* ; le débit est d'autant plus *grand* que la température de l'eau se rapproche de 10 à 12

degrés centigrades; lorsqu'elle atteint 50 à 60 degrés, il ne faut compter que sur les 4/5 du rendement ordinaire. La température maxima de l'alimentation est de 58 à 62 degrés; la pression de la chaudière, dans ce cas, ne devra pas excéder 2.5 à 3 *atmosphères*. La hauteur maxima à laquelle l'injecteur peut aspirer l'eau d'un puits est de 6 mètres à 6 m. 50, et l'eau doit avoir 10 à 12 degrés.

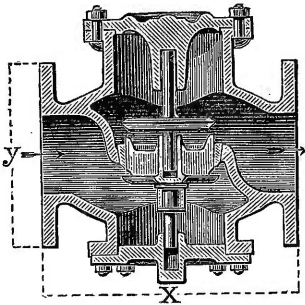


Fig. 50. — Clapet de retenue.

Il est bon d'entretenir les injecteurs très propres, souvent leur marche est arrêtée par des incrustations de calcaire qui bouchent les tuyères. Il faut alors procéder à un démontage.

Dans tous les cas, le tuyau de refoulement, avant de pénétrer dans la chaudière, doit être muni d'un *clapet de retenue*,

comme l'ordonne le décret du 30 avril 1880. Il prévient les accidents qui pourraient se produire si le tuyau venait à crever. La figure 50 représente en coupe un double clapet de retenue ; l'eau arrive suivant Y. Ordinairement, les pompes prennent l'eau à 10 ou 12 degrés, celle-ci ne doit pas dépasser 60 degrés, car elle n'arriverait pas au piston.

Dans les locomobiles, cette eau passe dans un réchauffeur qui la porte à 60 ou 80° avant de pénétrer à la chaudière.

Conduites de vapeur. — La vapeur prise à la chaudière s'engage dans une *conduite générale* qui la distribue au moteur et aux différentes machines de l'usine. Quand il n'y a que le moteur à alimenter, une simple conduite suffit, elle aura une longueur aussi petite que possible pour éviter les pertes de chaleur ; on l'entoure souvent d'enveloppes calorifuges. Au départ du générateur, et à l'arrivée au moteur, on la munit de deux robinets de distribution, ceci, afin de prévenir les accidents.

Mais il arrive presque toujours qu'on est obligé de greffer sur la conduite générale des *conduites secondaires* pour porter la vapeur à d'autres machines, telles que injecteurs, réchauffeurs d'eau, appareils à cuire les racines, etc. Les raccords de ces conduites se font par soudure ou avec brides à joints. Si dans un local on a plusieurs prises de vapeur à faire, il est plus pratique de les réunir toutes sur un ballon

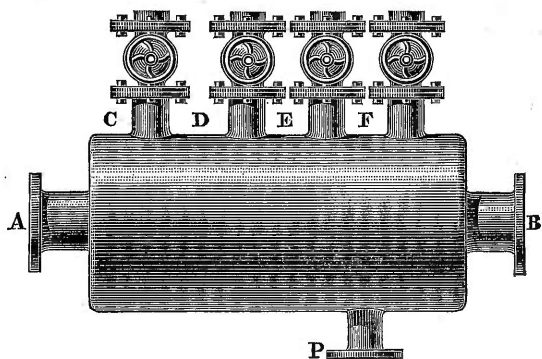


Fig. 51. — Ballon de prise de vapeur Roger et Muller (Paris).

de prise de vapeur (fig. 51). Celui-ci est cylindrique, allongé, l'arrivée de la vapeur se fait par A ou par B ; des tubulures C D E F permettent d'établir autant de prises de vapeur.

L'eau de condensation est extraite au moyen d'un tuyau P,

muni d'un robinet ou d'un purgeur automatique. Toutes les

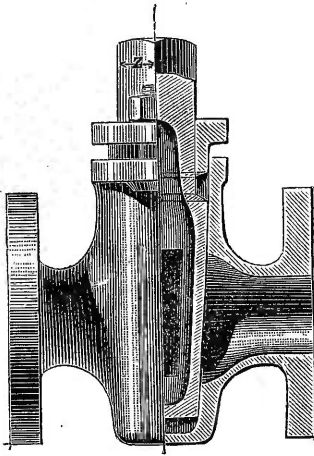


Fig. 52. — Robinet à boisseau.

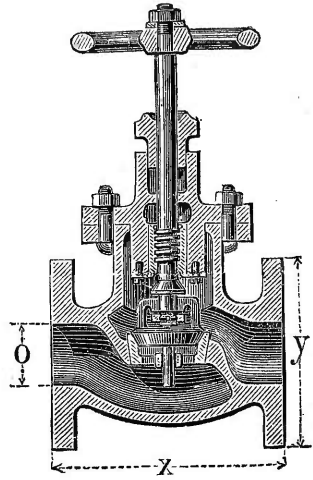


Fig. 53. — Robinet à valve.

conduites se font en cuivre, et, pour les couder, on est obligé de les remplir d'un mélange de goudron et de résine que l'on introduit bouillant. Après le refroidissement, au moyen d'un maillet en bois, on les coude facilement. Pour les vider, il suffit de les chauffer sur une forge, le mastic fond et s'écoule.

C'est généralement le long des murs que se posent les conduites de vapeur, on les soutient par des clous à tête recourbée.

Les conduites doivent être munies de robinets pour distribuer la vapeur dans les machines. Les principales formes sont : les *robinets à boisseau*, les *robinets à soupapes*, les *robinets à valves* ou *peet-valves*. Nous donnons quelques exemples de robinets construits par la maison Muller et Roger (Paris). La figure 52 représente un robinet à boisseau foncé, le boisseau est

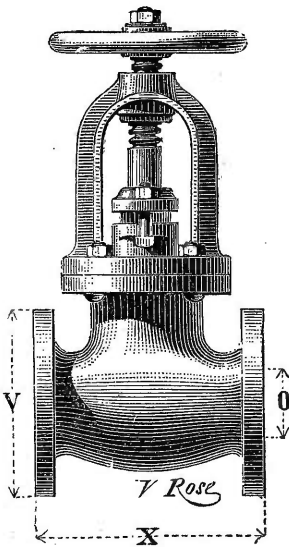


Fig. 54. — Robinet à valve avec arcade.

en Z et est muni de brides de serrage, la vapeur passe par un trou. Les figures 53 et 54 montrent des robinets à valves, commandées par des volants.

Détendeurs de vapeur. — Le détendeur est encore appelé *réducteur de pression*, il est absolument indispensable dans les usines où fonctionnent des appareils à pression déterminée. Voici les principaux cas où il est employé :

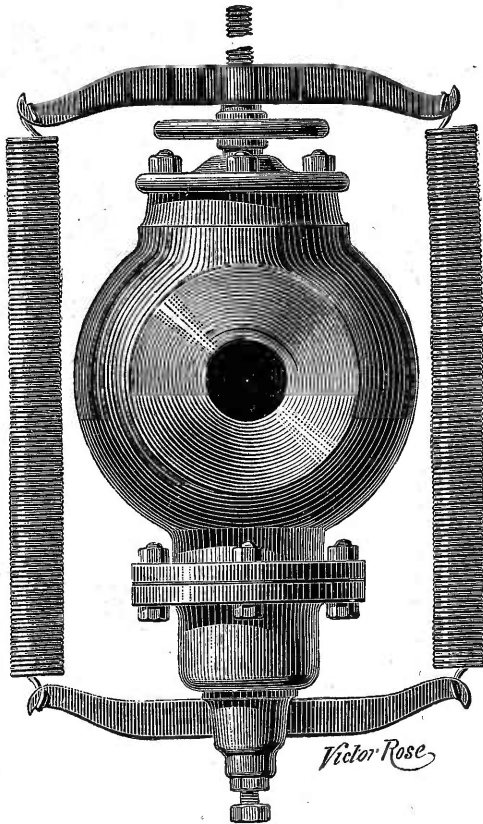


Fig. 55. — Élévation du détendeur.

Il est nécessaire pour les machines à haute pression comme celles de Belleville, Nayer, Collet, Dulac, etc., qui produisent la vapeur à 10 ou 12 atmosphères. Il faut réduire cette vapeur à 4 ou 7 atmosphères pour le moteur.

Les moteurs qui commandent des machines dynamo-électriques fonctionnent beaucoup plus régulièrement quand on leur applique un détendeur : la lumière est très régulière. On trouve aussi l'application du réducteur de vapeur dans tous les appareils demandant de la vapeur à pression constante, tels que les chaudières destinées au chauffage du lait dans les fromageries ou pour le triple-effet dans les sucreries, etc.

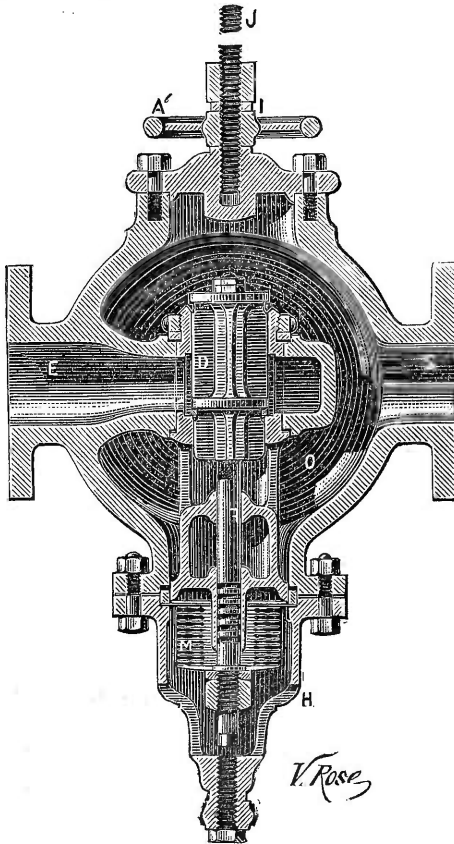


Fig. 56. — Coupe du détendeur.

Le détendeur doit donc être un appareil sensible et réglable à volonté. Toutes ces conditions sont réalisées, croyons-nous, dans le détendeur Legat, construit par MM. Roger et Muller (Paris).

Il se compose, en coupe (fig. 55 et 56), d'un corps sphérique O, portant deux tubulures ; l'une E amène la vapeur à détendre, l'autre S sert de sortie. La tubulure E se prolonge jusqu'au centre du détendeur, elle est fermée par une valve ou obturateur-soupape D. Cette soupape peut se déplacer verticalement au moyen d'une tige F, reliée inférieurement à un levier horizontal. Elle porte, en outre, une membrane métallique M, qui joue le rôle de piston pour la maintenir ouverte et pour combattre, comme nous le verrons, l'influence des ressorts. Une paire de leviers horizontaux et de ressorts verticaux (fig. 55) servent à régler l'arrivée de la vapeur. En faisant remonter le volant I, on éloigne les leviers et, par suite, on fait descendre la soupape D. L'appareil étant réglé pour une pression déterminée, voyons son fonctionnement.

La vapeur, arrivant par le tuyau E, pénètre dans le corps O du réducteur, où elle se détend. Tant que cette vapeur n'opère que la pression réglée par les ressorts G G', aucun mouvement ne se produit dans la valve. Mais dès que la pression normale est dépassée, la valve D est poussée et descend, entraînant la tige F. En même temps, la lame métallique M joue le rôle de piston et exerce un certain effort destiné à vaincre l'influence des ressorts. Le levier inférieur s'abaisse quand la valve D descend.

Le passage de la vapeur est diminué suivant l'amplitude du mouvement. Il se produit donc une série d'oscillations de montée et de descente qui sont plus ou moins grandes, suivant la tension des ressorts.

APPAREILS DE SURETÉ ET DE CONTROLE DES CHAUDIÈRES

D'après l'ordonnance du 22 mai 1843 et les décrets des 25 janvier 1865 et 30 avril 1880, les chaudières doivent être pourvues des appareils de sûreté et de contrôle suivants :

Manomètres ;
Soupapes de sûreté ;
Clapets de retenue de vapeur ;
Indicateurs de niveau d'eau ;
Robinets de jauge ;
Sifflets d'alarme ;
Bouchons fusibles.

Ces appareils n'ont qu'un but : prévenir les dangers d'explosion.

La figure 57 montre une chaudière verticale munie de ses appareils de sûreté. En A, se trouve le manomètre de pression ; en J, les soupapes de sûreté placées sur le dôme de

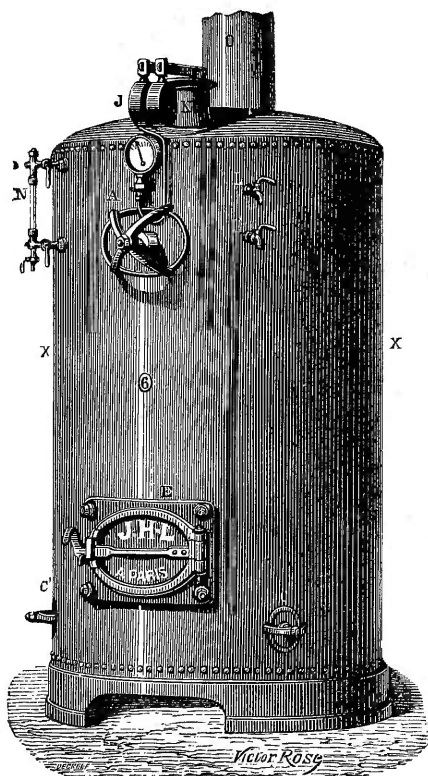


Fig. 57. — Chaudière munie de ses appareils de sûreté.

vapeur K ; en N, le niveau d'eau ; en LL', les robinets de jauge, le supérieur doit donner de la vapeur et l'inférieur de l'eau. Le chiffre 6 indique le timbre de la chaudière, qu'on ne doit pas dépasser sur le manomètre.

Manomètres. — Les manomètres sont des appareils destinés à mesurer la tension ou pression qu'exerce la vapeur sur les parois intérieures de la chaudière. Cette tension ne doit pas dépasser un chiffre déterminé, sans cela les tôles se déchirent, causant une explosion terrible. Dans un essai fait au préalable chez le constructeur et par un ingénieur des mines,

on détermine, au moyen d'une pompe hydraulique, la résistance de la chaudière. Cette résistance est ensuite inscrite sur un *timbre* en cuivre apposé à l'avant de la chaudière (fig. 58) et sur le cadran du manomètre par une ligne rouge. Les chiffres indiquent, soit en kilogrammes, soit en atmosphères, la pression maxima à laquelle le mécanicien devra s'arrêter.

Les manomètres les plus employés sont ceux de Bourdon et de Ducomet.

Manomètre Bourdon. — Il se compose, en coupe (fig. 59), d'un tube métallique contourné en spirale B B, à section elliptique. Son extrémité inférieure est en communication avec la chaudière par le tuyau A, muni d'un robinet R.

Son extrémité est fermée et terminée par une tige C D, articulée en D, avec



Fig. 58. — Timbre réglementaire d'une chaudière.

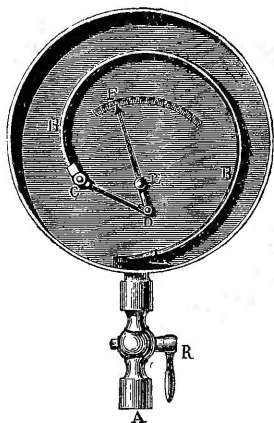


Fig. 59. — Manomètre Bourdon en coupe.

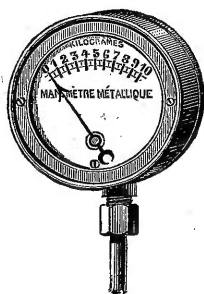


Fig. 60. — Manomètre Bourdon.

une aiguille D E F dont la pointe se déplace devant un secteur gradué en kilogrammes.

La vapeur, en pénétrant dans le tube B B, tend à rendre circulaire sa section elliptique et le force à se dérouler d'une certaine quantité. Mais l'extrémité libre D tire sur l'aiguille D F et lui communique un mouvement d'oscillation autour de son point fixe E, amenant sa pointe F devant le chiffre du cadran correspondant à la pression. Le tube et l'aiguille sont renfermés dans une boîte en fonte ou en cuivre, munie d'une cloison émaillée sur laquelle est peint le cadran et d'une glace placée en avant. La forme est ronde (fig. 60) ou ovale (fig. 61).

Manomètre Ducomet. — Le principe du manomètre Ducomet

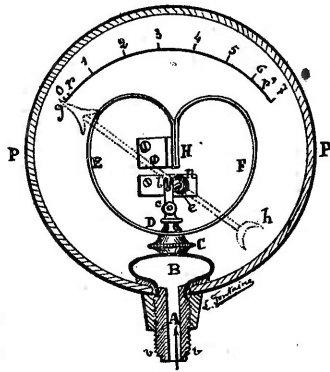
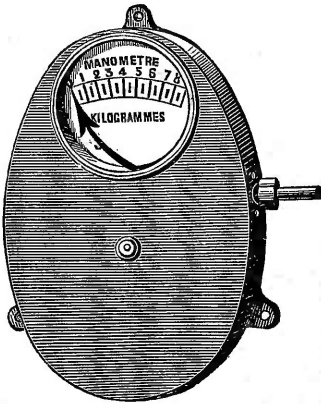


Fig. 61. — Manomètre ovale pour chaudières fixes.

Fig. 62. — Coupe verticale du manomètre Ducomet.

repose sur la déformation que subit une capsule métallique sous l'influence de la vapeur.

Il se compose (fig. 62) d'un conduit A, terminé par une capsule aplatie B, formée par une lame de cuivre rouge entourée intérieurement et extérieurement de deux minces lames d'argent pur, destinées à éviter toute oxydation. Sur la capsule repose un bouton C, fixé à un ressort en acier DEF, dont les extrémités sont attachées au point H. Au bouton C s'articule une bielle *bc*, qui commande un arbre à vilebrequin *n*, dont l'une des extrémités porte une aiguille indicatrice *gh*.

Lorsque la vapeur pénètre dans la capsule B, celle-ci se gonfle, repousse le bouton C et le ressort DEF; sous cette pression, la bielle *bc* actionne le vilebrequin, tandis que l'aiguille *gh* se déplace devant le cadran *rr'*, gradué en kilogrammes. Si la pression devient nulle, la capsule reprend sa

forme primitive, le ressort se détend et l'aiguille revient au zéro de la graduation. L'ensemble du mécanisme est renfermé dans une boîte métallique P P qui se visse par la tête *vv*.

L'excellent manomètre Ducomet est très employé aujourd'hui dans nos chaudières agricoles; il est construit par son inventeur, rue d'Abbeville, 7, à Paris.

On emploie également, pour les grands générateurs, des *manomètres enregistreurs*; une aiguille inscrit sur un papier quadrillé la courbe des pressions. La feuille sert pour une observation de 24 heures.

Le manomètre ne se fixe pas directement sur le corps de la chaudière, on le relie par un tube en cuivre présentant des coudes. Si le manomètre est plus élevé que sa prise de vapeur, on fait un double coude en S; s'il est plus bas, on fait un simple coude. Ces coudes servent à recueillir l'eau de condensation, que la vapeur refoule dans le tube en spirale ou dans la capsule; elle n'agit pas directement sur ces organes, et l'appareil se conserve plus longtemps.

Soupapes de sûreté. — Chaque chaudière doit être munie de deux soupapes de sûreté, destinées à laisser écouler la vapeur au dehors lorsque sa pression a atteint la limite maxima indiquée par le timbre. C'est Denis Papin qui, le premier, appliqua la soupape de sûreté à des marmites pour l'extraction de la gélatine des os.

La soupape de sûreté D (fig. 63) se monte sur une tubu-

lure en fonte B, fixée au corps de la chaudière A A. Elle porte en haut une bride *v*, sur laquelle se place un prolongement en bronze C C, terminé par un bord supérieur bien plan *ee*, taillé en biseau, appelé *siège*, sur lequel vient s'appuyer la soupape. La largeur du siège ne doit jamais être supérieure à 2 millimètres. Dans la soupape, on distingue un chapeau conique, portant inférieurement trois ailettes *aaa*, visibles sur le plan S; elles sont chargées de guider la soupape dans ses mouvements.

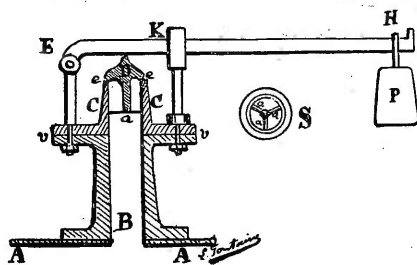


Fig. 63. — Principe d'une soupape de sûreté.

La soupape est maintenue sur son siège par un levier E H pouvant osciller autour de E. A son extrémité libre H, se

place un poids en fonte P qui fait appuyer fortement le levier sur le chapeau de la soupape. Un guide K, monté sur la bride de la tubulure, maintient le système en équilibre.

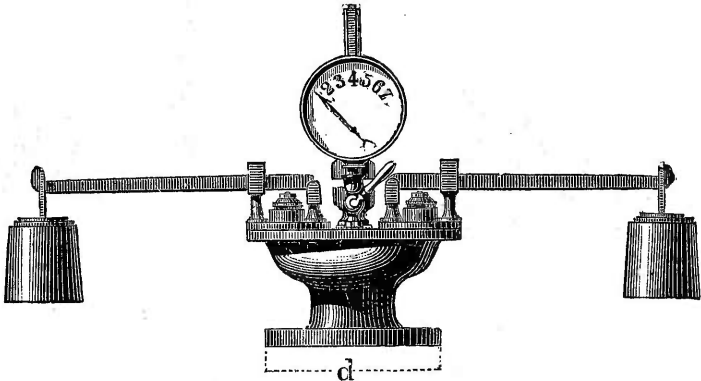


Fig. 64. — Soupapes fixées sur une tubulure droite.

La longueur du levier E H et le poids du contre-poids P sont calculés de manière à empêcher la sortie de la vapeur

pour une pression donnée. Dès que celle-ci devient supérieure, l'équilibre est rompu et la soupape se soulève, laissant la vapeur s'échapper bruyamment dans l'atmosphère. La pression descendue, la soupape retombe sur son siège.

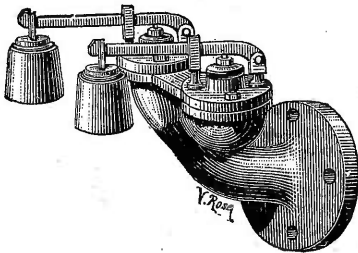


Fig. 65 — Soupapes fixées sur une tubulure latérale (Muller et Roger).

Pour que la pression revienne rapidement à sa tension normale, il faut

que la tubulure ait un débit suffisant. Les constructeurs se servent, pour en déterminer le diamètre, de la formule suivante :

$$D = 2,6\sqrt{\frac{S}{n - 0,412}} ;$$

S représente la surface de chauffe, n le maximum de tension de la vapeur en atmosphères.

Les soupapes de sûreté se placent, dans une chaudière, sur le dôme de vapeur avec des tubulures droites (fig. 64) ou latérales (fig. 65). Pour les petites chaudières, on fait souvent

usage de soupapes à ressort, dont la pression peut être réglée au moyen d'un chapeau à vis; les figures 66 et 67 donnent la coupe et une vue d'ensemble de ce genre de soupape. Les locomobiles anglaises en ont généralement une.

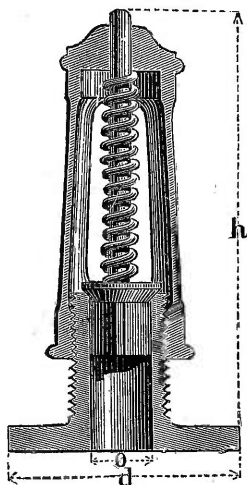


Fig. 66. — Coupe d'une soupape à ressort.

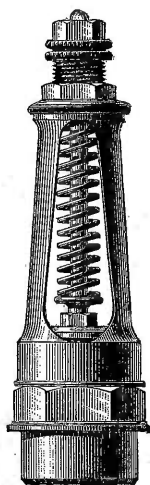


Fig. 67. — Ensemble d'une soupape à ressort.

Soupapes à balance. — Souvent on remplace le contre-poids de la soupape par un ressort, renfermé dans un cylindre en cuivre; l'ensemble porte le nom de balance (fig. 68 et 69). On la rencontre dans presque toutes les locomobiles anglaises et dans toutes les chaudières sujettes à des transports fréquents leur donnant des trépidations (locomotives de chemins de fer et routières). La tension du ressort est calculée suivant la pression de la chaudière; on peut l'accroître en tournant l'écrou supérieur, alors les chiffres 3, 4, 5, 6, apparaissent en dessous. La balance se fixe verticalement, la partie inférieure à la chaudière et la partie supérieure à l'extrémité du levier de la soupape. On peut se procurer cet appareil à la maison Muller et Roger, à Paris.

Soupapes à échappement progressif. — Dans les soupapes ordinaires, la vapeur n'a d'issue dans l'atmosphère qu'après avoir entraîné brusquement celle-ci. Malheureusement, il en résulte des chocs violents qui peuvent déterminer l'explosion de la chaudière. On ne peut donc considérer ces soupapes que

comme de simples avertisseurs. Leur levée n'excède pas 1 à 2 millimètres ; elles ne débitent pas assez rapidement la vapeur produite pour empêcher la pression de s'élever.

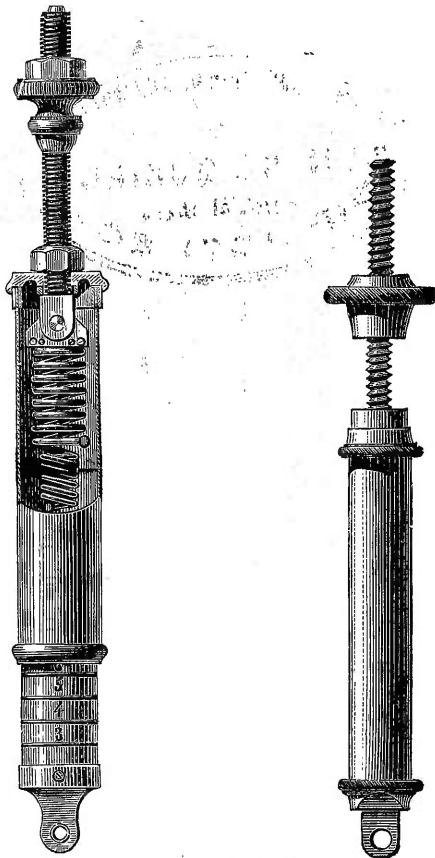


Fig. 68 et 69. — Coupe et élévation d'une balance.

C'est pour obvier à ces graves défauts que les constructeurs ont adopté, depuis quelque temps, les soupapes à *échappement progressif*, donnant à la vapeur une issue progressive.

Citons, parmi celles-ci, les soupapes de Lethuillier et Pinel de Rouen, de Dulac de Paris, etc.

Les coupes (fig. 70) représentent la soupape Lethuillier et Pinel dans les positions fermée et ouverte. Le clapet se compose d'un disque inférieur B, reposant sur le siège *a* ; il est

porté par une tige terminée en couteau, et munie en *b* d'un deuxième disque, dont nous verrons le rôle. Entre *B* et *b*, se trouvent quatre ailettes *b' b'*, qui viennent reposer sur d'autres ailettes courbes *a''*. En outre, il existe tout autour du

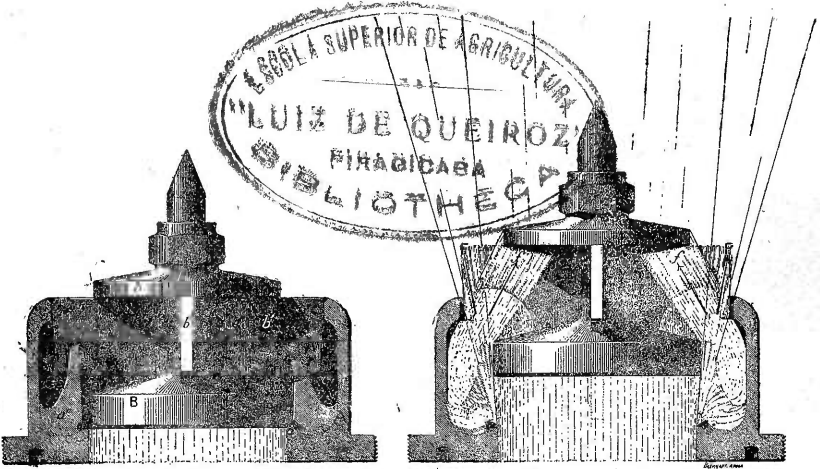


Fig. 70. — Coupes d'une soupape à échappement continu (Lethuillier et Pinel).

clapet un espace annulaire, dans le but de changer la direction de la vapeur et de la projeter sous le disque *b*, suivant une direction *f*.

Quand la pression devient trop grande, la vapeur soulève le disque *B*, puis elle passe dans l'espace annulaire. Une certaine quantité sort en ligne droite, mais comme l'issue n'est pas suffisante pour le débit, une partie de cette vapeur est refoulée dans la direction *f*, venant frapper le disque supérieur *b*, et l'oblige à s'élever. L'ascension se fait donc progressivement jusqu'à ce que la pression soit rétablie dans la chaudière; le clapet redescend alors doucement sur son siège. Cette soupape est donc des plus simples.

Clapet de retenue de vapeur. — Le décret du 29 juin 1886 impose l'emploi des clapets de retenue de vapeur lorsque, dans une batterie de plusieurs chaudières, le produit $V \times T$ est supérieur à 1800 ; *V* représente le volume des chaudières, *T* la différence entre la température de la vapeur donnée par le timbre de la chaudière et 100°.

Le clapet se place sur la conduite principale de vapeur. Il

se compose (fig. 71) d'une boîte métallique, reliée par des brides à la conduite ; au centre se trouve un clapet équilibré par un levier à contre-poids. Si une explosion vient à se produire dans le tuyau, l'équilibre est rompu, la vapeur arrivant avec une grande vitesse entraîne le clapet et ferme l'orifice.

Indicateur de niveau d'eau. — Le manque d'eau dans une chaudière peut déterminer des explosions terribles. Le décret du 30 avril 1880 dit que chaque chaudière doit être munie de deux appareils indicateurs du niveau de l'eau, indépendants l'un de l'autre et placés en vue de l'ouvrier chargé de l'alimentation. Les systèmes employés sont très variables, nous allons en passer quelques-uns en revue.

Tube indicateur de niveau d'eau. — C'est le plus simple des indicateurs, on le trouve dans toutes les chaudières ; il se compose (fig. 72) de deux tubulures A A, munies de robinets, en communication avec la chaudière et fixées au moyen d'écrous F G.

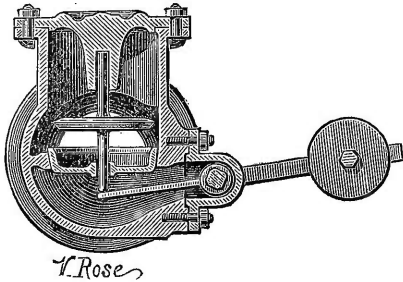


Fig. 71.—Coupe d'un clapet de retenue (Muller et Roger).

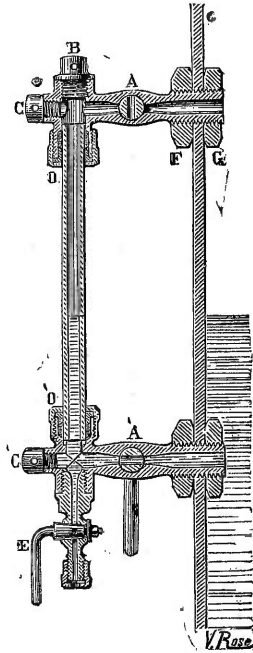


Fig. 72. — Coupe du tube indicateur de niveau d'eau.

La tubulure A communique avec la chambre de vapeur, tandis que A communique avec la chambre à eau. Chaque extrémité est terminée par une boîte où vient s'engager un tube de verre fixé par les raccords O O' ; la fermeture est rendue hermétique au moyen d'étoupes. Dans ce tube, le niveau de l'eau et de la vapeur s'établit vers le milieu ; des bouchons B C C' permettent de visiter les boîtes de raccordement et d'enlever les dépôts. On s'assure que la communication se fait

bien, en ouvrant le robinet E, la vapeur et l'eau doivent s'écouler ensemble.

Il arrive assez souvent, en marche, que le tube de niveau vient à casser, on doit le remplacer immédiatement, sans suspendre la marche de la machine. On commence par arrêter la sortie de la vapeur en fermant les robinets A et A', en évitant les brûlures. Puis on dévisse le bouchon B et les écrous presse-étoupes O et O'. Le tube brisé est enlevé

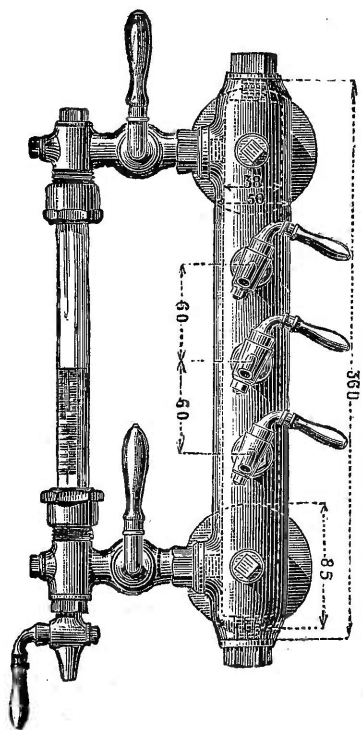


Fig. 73. — Niveau à bouteille.

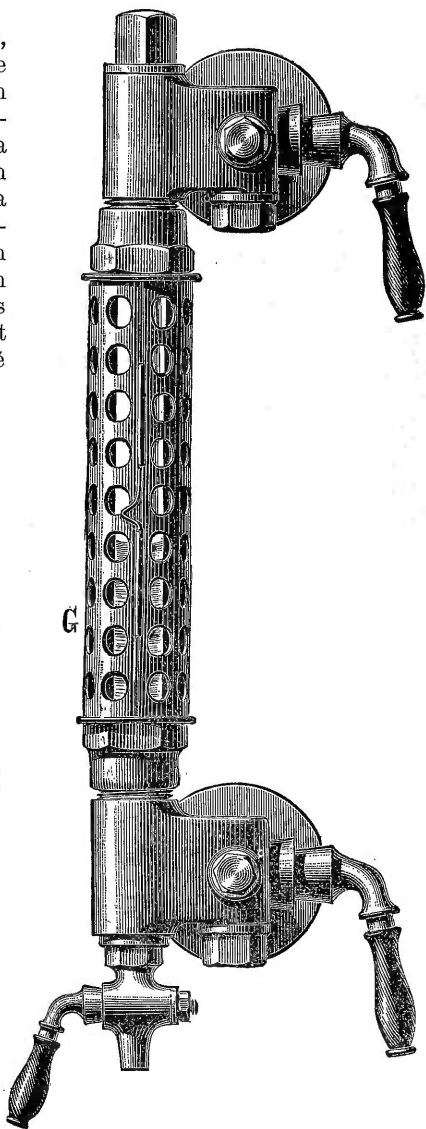


Fig. 74. — Niveau avec sa gaine.

et remplacé par un neuf que l'on introduit par B. Les garnitures étant refaites avec de la filasse trempée dans l'eau tiède, le bouchon B et les écrous O et O' remis à leur place, le niveau peut fonctionner aussitôt.

On reproche au tube de verre d'être trop fragile et de supporter pendant peu de temps les alternatives de changements de température. Les boues que l'eau tient en suspension se déposent à sa surface et le rendent obscur.

Pour obvier à ces inconvénients, on emploie dans beaucoup de chaudières agricoles (Gautereau, Hermann-Lachapelle, etc.) un porte-tube (fig. 73). Il est formé d'une bouteille en bronze ou en fonte, allongée, et en communication avec la chaudière par deux tubulures. Elle porte à la fois trois robinets de jauge, et latéralement le tube de niveau monté de la même manière que précédemment. Avec ce dispositif, les bris de verre sont moins à craindre et l'eau est toujours claire, car elle laisse déposer les matières boueuses au fond de la bouteille, d'où l'on peut les extraire par un bouchon de vidange.

On entoure fréquemment le tube de niveau d'une garniture métallique en cuivre G, afin de le préserver des chocs (fig. 74).

Niveaux à clapets de sécurité. — On a cherché à prévenir les accidents qui peuvent résulter du bris du tube de niveau, en adaptant aux tubulures amenant l'eau et la vapeur des fermetures automatiques. L'une des plus simples est celle qui se fait au moyen de clapets. Ceux-ci viennent se placer sur des sièges, arrêtant ainsi tout échappement.

Indicateurs de niveau d'eau à flotteurs. — Les indicateurs à flotteurs ne se rencontrent que sur les chaudières établies à demeure. Les plus anciens se composaient d'une boule creuse ou d'un flotteur, munis d'une tige verticale traversant la paroi de la chaudière et venant se relier à une chaîne à contre-poids. Une aiguille se déplaçant devant un secteur indiquait le niveau de l'eau.

Indicateur magnétique de Lethuillier et Pinel. — L'indicateur magnétique de MM. Lethuillier et Pinel, à Rouen, est très répandu dans les chaudières fixes. Il se compose (fig. 75) d'un flotteur creux H, de forme lenticulaire, qui suit les fluctuations du niveau de l'eau dans la chaudière. Il est relié en F à une tige T, terminée par un aimant puissant G qui monte et descend dans une boîte en bronze B. A l'extérieur, et contre l'une des faces R de cette boîte, se trouve une aiguille

indicatrice en acier *a*, de forme aplatie, privée de tout support mécanique et maintenue seulement par la force attractive de l'aimant. Cette aiguille est protégée par une glace; elle reproduit les différentes variations du niveau de l'eau, sur une échelle émaillée *R*, graduée en centimètres, dont le zéro correspond au niveau normal.

Cet ingénieux appareil est encore complété par deux sifflets d'alarme *S* et *S'*. Sur la tige *T* sont fixés deux buttoirs *p*, qui viennent appuyer sur les becs *b* et *b'* de deux bascules *D* et *D'*, lorsque l'aiguille indicatrice est arrivée aux dernières limites de sa course. En temps ordinaire, les tiges centrales *t* et *t'* sont maintenues fermées par des ressorts *e* et *e'*. Si *S* est ouvert, ceci indique le *manque d'eau*; si, au contraire, c'est *S'*, ceci indique le *trop d'eau*. La vapeur sort par *u* et *u'*. De plus, ces deux sifflets ne peuvent être confondus par le mécanicien, grâce aux sons particuliers que chacun d'eux fait entendre.

L'ensemble de l'appareil forme une colonne creuse *C*, munie en haut d'un manomètre *M*, d'une hauteur de 0^m,78 à 1^m,15, suivant la puissance de la chaudière. La course de l'aiguille oscille entre 0^m,15, 0^m,21 à 0^m,30. L'appareil se fixe, par un raccord *O*, sur le dôme de vapeur *ii*.

La figure 76 montre l'indicateur Lethuillier et Pinel dans son ensemble.

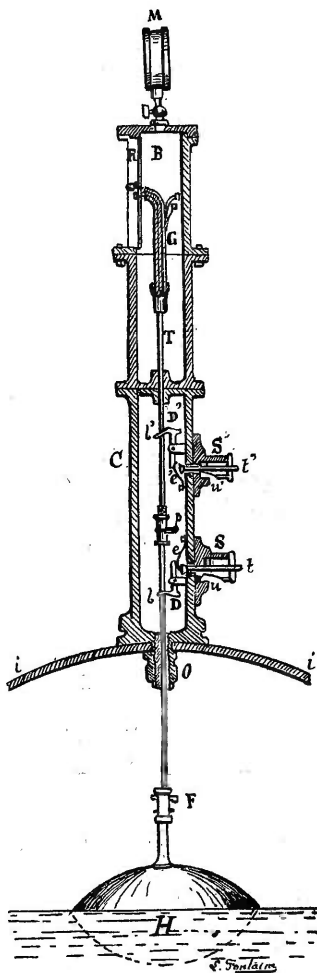


Fig. 75. — Coupe de l'indicateur magnétique (Lethuillier et Pinel).

Robinets de jauge. — Les robinets de jauge s'emploient

comme indicateurs de niveau d'eau dans les chaudières verticales et horizontales ; ils sont au nombre de trois, fixés à la

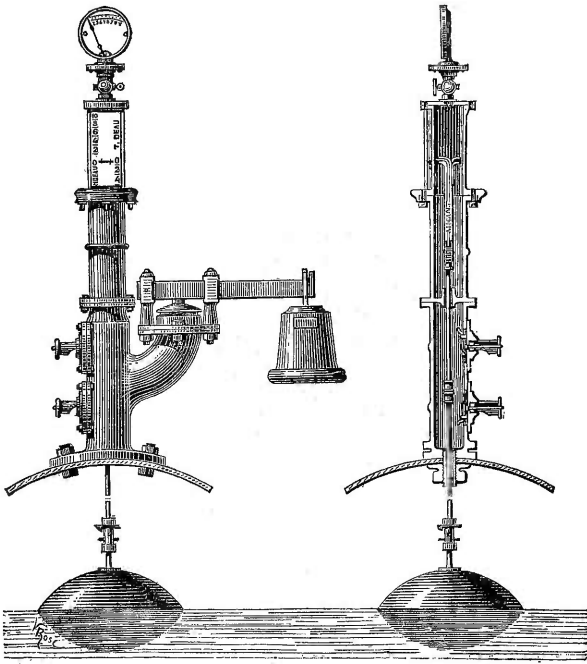


Fig. 76. — Vue d'ensemble de l'indicateur magnétique Lethuillier et Pinel (Rouen).

paroi de la chaudière et communiquant avec celle-ci par une

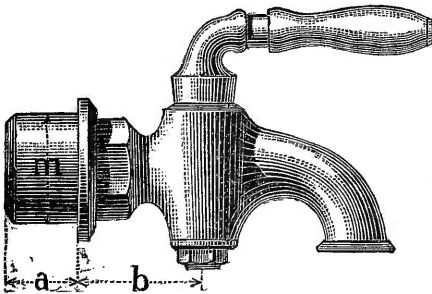


Fig. 77. — Robinet de jauge.

tubulure *m* (fig. 77). En temps normal, le robinet supérieur ne doit donner que de la vapeur sèche ; le robinet inférieur de l'eau, et le robinet moyen un mélange d'eau et de vapeur.

Sifflets d'alarme.

— Le sifflet d'alarme a été inventé par

M. Sorel. C'est un appareil automatique qui prévient le chauff-

feur d'un manque d'eau dans la chaudière. En principe, il se compose (fig. 78) d'un flotteur A, formé d'une boule métallique creuse portée à l'extrémité d'un levier coudé A O P, oscil-

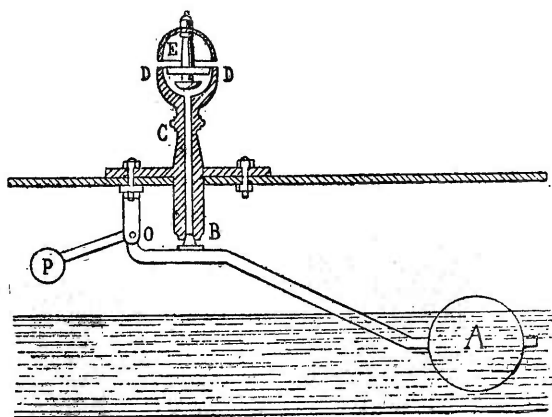


Fig. 78. — Sifflet d'alarme.

lant en O, et muni à son extrémité d'un contre-poids P. Au point B, le levier porte une pièce conique qui vient fermer le canal d'un sifflet C. Celui-ci est formé par deux cloches en

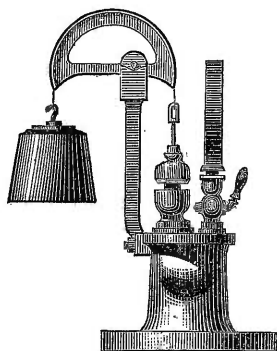


Fig. 79. — Sifflet d'alarme à flotteur.

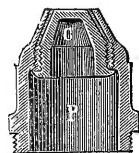


Fig. 80. — Bouchon fusible Schaeffer et Budenberg (Paris),

cuivre D et E, hémisphériques creuses; l'inférieure D porte une lame transversale qui laisse à la vapeur un passage annulaire très étroit.

Si l'eau vient à baisser, le flotteur A descend, ainsi que le levier A O P ; en même temps, la pièce B débouche le canal du sifflet par lequel la vapeur sort et est projetée violemment contre les bords de la cloche E, où elle fait entendre un son aigu. Le chauffeur est alors averti qu'il n'y a pas l'eau suffisante.

On emploie aussi très souvent dans les chaudières fixes le sifflet d'alarme à contre-poids (fig. 79). Les sifflets d'alarme de trop d'eau sont d'un usage moins répandu que les précédents.

Bouchons fusibles. — Aujourd'hui, presque tous les constructeurs munissent leurs chaudières à foyer intérieur de bouchons fusibles dans le but de prévenir les explosions. Le

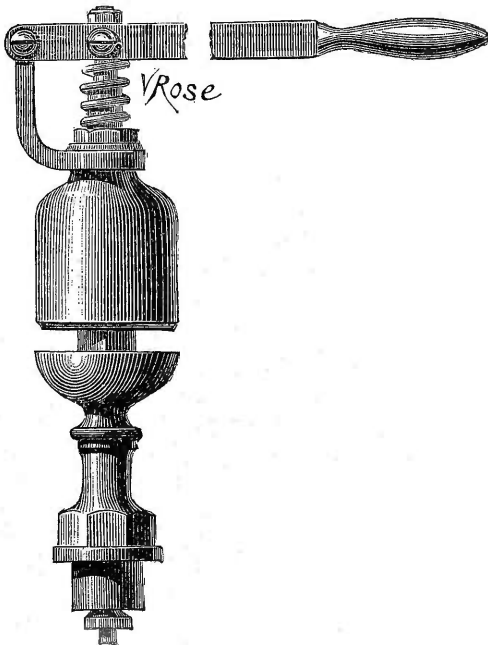


Fig. 81. — Sifflet avertisseur.

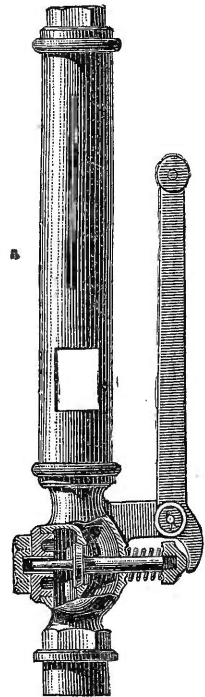


Fig. 82. — Sifflet-trompe.

bouchon fusible (fig. 80) se compose d'un cylindre métallique P, au centre duquel est vissé un cône O, formé d'un alliage de plomb, de bismuth et d'antimoine fondant à une tempéra-

ture déterminée. Suivant la proportion dans laquelle entrent ces trois métaux, on obtient des bouchons fusibles pour des chaudières dont le timbre est de 4, 5, 6 atmosphères de pression.

Le bouchon est fixé au ciel du foyer des chaudières verticales ou horizontales, et la fusion ne se fait que lorsque cette partie n'est plus recouverte par l'eau. Alors le cône O se ramollit et est projeté au dehors, tandis que la vapeur s'échappe et vient éteindre immédiatement le feu. Ce petit appareil, peu coûteux, peut donc éviter beaucoup d'accidents et il répond parfaitement aux exigences de l'article 10 du décret du 30 avril 1880, dans lequel il est dit que l'eau doit rester au moins à 0 m. 06 au-dessus de toute paroi en contact direct avec la flamme. Le remplacement du cône O se fait à peu de frais et la chaudière fonctionne à nouveau.

Sifflets. — La plupart des chaudières sont munies de sifflets d'avertissement ; ils se composent de deux cloches en bronze (fig. 81), ou d'un tube percé d'une ouverture (fig. 82). La vapeur en sortant vient frapper le bord d'une cloche et la fait vibrer ; les leviers se manœuvrent avec des tringles.

Législation concernant l'établissement des chaudières

L'établissement des chaudières est soumis, d'après le décret du 30 avril 1880 (1), à certaines formalités qu'il est bon de connaître. Comme on trouve dans les campagnes quelques difficultés à se procurer ces documents administratifs, nous avons pensé qu'il était bon de les donner ici.

Décret du 30 avril 1880

ARTICLE PREMIER. — Sont soumis aux formalités et aux mesures prescrites par le présent règlement :

- 1^o Les générateurs de vapeurs autres que ceux qui sont placés à bord des bateaux ;
- 2^o Les récipients définis ci-après (Titre V).

TITRE PREMIER

MESURES DE SURETÉ RELATIVES AUX CHAUDIÈRES PLACÉES A DEMEURE

ART. 2. — Aucune chaudière neuve ne peut être mise en service qu'après avoir subi l'épreuve réglementaire ci-après définie. Cette épreuve doit être faite chez le constructeur et sur sa demande.

(1) Avant 1880, l'établissement des chaudières était réglementé par le décret de 25 janvier 1865.

Toute chaudière venant de l'étranger est éprouvée avant sa mise en service sur le point du territoire français désigné par le destinataire dans sa demande.

ART. 3. — Le renouvellement de l'épreuve peut être exigé de celui qui fait usage d'une chaudière :

1° Lorsque la chaudière, ayant déjà servi, est l'objet d'une nouvelle installation ;

2° Lorsqu'elle a subi une réparation notable ;

3° Lorsqu'elle est remise en service après un chômage prolongé.

A cet effet, l'intéressé devra informer l'ingénieur des mines de ces diverses circonstances. En particulier, si l'épreuve exige la démolition du massif du fourneau ou l'enlèvement de l'enveloppe de la chaudière et un chômage plus ou moins prolongé, cette épreuve pourra ne point être exigée, lorsque des renseignements authentiques sur l'époque et les résultats de la dernière visite, intérieure et extérieure, constitueront une présomption suffisante en faveur du bon état de la chaudière. Pourront être notamment considérés comme renseignements probants les certificats délivrés aux membres des associations de propriétaires d'appareils à vapeur par celles de ces associations que le ministre aura désignées.

Le renouvellement de l'épreuve est exigible également lorsque, à raison des conditions dans lesquelles une chaudière fonctionne, il y a lieu, par l'ingénieur des mines, d'en suspecter la solidité.

Dans tous les cas, lorsque celui qui fait usage d'une chaudière constatera la nécessité d'une nouvelle épreuve, il sera, après une instruction où celui-ci sera entendu, statué par le préfet.

En aucun cas, l'intervalle entre deux épreuves consécutives n'est supérieur à dix années. Avant l'expiration de ce délai, celui qui fait usage d'une chaudière à vapeur doit lui-même demander le renouvellement de l'épreuve.

ART. 4. — L'épreuve consiste à soumettre la chaudière à une pression hydraulique supérieure à la pression effective qui ne doit point être dépassée dans ce service. Cette pression d'épreuve sera maintenue pendant le temps nécessaire à l'examen de la chaudière dont toutes les parties doivent pouvoir être visitées.

La surcharge d'épreuve par centimètre carré est égale à la pression effective, sans jamais être inférieure à un demi-kilogramme ni supérieure à 6 kil.

L'épreuve est faite sous la direction de l'ingénieur des mines et en sa présence, ou, en cas d'empêchement, en présence du garde-mine opérant d'après ses instructions.

Elle n'est pas exigée pour l'ensemble d'une chaudière dont les diverses parties, éprouvées séparément, ne doivent être réunies que par des tuyaux placés sur tout leur parcours, en dehors du foyer et des conduits de flamme, et dont les joints peuvent être facilement démontés.

Le chef d'établissement où se fait l'épreuve fournira la main-d'œuvre et les appareils nécessaires à l'opération.

ART. 5. — Après qu'une chaudière ou partie de chaudière a été éprouvée avec succès, il y est apposé un timbre, indiquant en kilogrammes

par centimètre carré la pression effective que la vapeur ne doit pas dépasser.

Les timbres sont poinçonnés et reçoivent trois nombres indiquant le jour, le mois et l'année de l'épreuve.

Un de ces timbres est placé de manière à être toujours apparent après la mise en place de la chaudière.

ART. 6. — Chaque chaudière est munie de deux soupapes de sûreté, chargées de manière à laisser la vapeur s'écouler dès que sa pression effective atteint la limite maximum indiquée par le timbre réglementaire.

L'orifice de chacune des soupapes doit suffire à maintenir, celle-ci étant au besoin convenablement déchargée ou soulevée et quelle que soit l'activité du feu, la vapeur, dans la chaudière à un degré de pression qui n'excède pour aucun cas la limite ci-dessus.

Le constructeur est libre de répartir, s'il le préfère, la section totale d'écoulement nécessaire des deux soupapes réglementaires entre un plus grand nombre de soupapes.

ART. 7. — Toute chaudière est munie d'un manomètre en bon état, placé en vue du chauffeur et gradué de manière à indiquer, en kilogrammes, la pression effective de la vapeur dans la chaudière.

Une marque très apparente indique sur l'échelle du manomètre la limite que la pression effective ne doit pas dépasser.

La chaudière est munie d'un ajustage terminé par une bride de 0^m04 de diamètre et 0^m005 d'épaisseur, disposé pour recevoir le manomètre vérificateur.

ART. 8. — Chaque chaudière est munie d'un appareil de retenue, soupape ou clapets, fonctionnant automatiquement et placé au point d'intersection du tuyau d'alimentation qui lui est propre.

ART. 9. — Chaque chaudière est munie d'une soupape et d'un robinet d'arrêt de vapeur, placé autant que possible à l'origine du tuyau de conduite de vapeur, sur la chaudière même.

ART. 10. — Toute paroi en contact par une de ses faces avec la flamme doit être baignée par l'eau sur sa face opposée.

Le niveau de l'eau doit être maintenu, dans chaque chaudière, à une hauteur de marche telle qu'il soit, en toute circonstance, à 0^m06 au moins au-dessus du plan pour lequel la condition précédente cesserait d'être remplie. La position limite sera indiquée, d'une manière très apparente, au voisinage du tube de niveau mentionné à l'article suivant.

Les prescriptions énoncées au présent article ne s'appliquent point :

1^o Aux surchauffeurs de vapeur distincts de la chaudière ;

2^o A des surfaces relativement peu étendues et placées de manière à ne jamais rougir, même lorsque le feu est poussé à son maximum d'activité, tels que les tubes ou parties de cheminées qui traversent le réservoir de vapeur en envoyant directement à la cheminée principale les produits de la combustion.

ART. 11. — Chaque chaudière est munie de deux appareils indicateurs du niveau de l'eau, indépendants l'un de l'autre, et placés en vue de l'ouvrier chargé de l'alimentation.

L'un de ces indicateurs est un tube en verre, disposé de manière à être facilement nettoyé et remplacé au besoin.

Pour les chaudières verticales de grande hauteur, le tube en verre est remplacé par un appareil disposé de manière à reporter en vue de l'ouvrier chargé de l'alimentation l'indication du niveau de l'eau dans la chaudière.

TITRE II

ÉTABLISSEMENT DES CHAUDIÈRES A VAPEUR PLACÉES A DEMEURE

ART. 12. — Toute chaudière à vapeur destinée à être employée à demeure ne peut être mise en service qu'après une déclaration adressée, par celui qui fait usage du générateur, au préfet du département. Cette déclaration est enregistrée à sa date. Il en est donné acte. Elle est communiquée sans délai à l'ingénieur en chef des mines.

ART. 13. — La déclaration fait connaître avec précision :

1° Le nom et le domicile du vendeur de la chaudière ou l'origine de celle-ci ;

2° La commune et le lieu où elle est établie ;

3° La forme, la capacité et la surface de chauffe ;

4° Le numéro du timbre réglementaire ;

5° Le numéro distinctif de la chaudière, si l'établissement en possède plusieurs ;

6° Enfin, le genre d'industrie et l'usage auquel elle est destinée.

ART. 14. — Les chaudières sont divisées en trois catégories.

Cette classification est basée sur le produit de la multiplication du nombre exprimant, en mètres cubes, la capacité totale de la chaudière (avec ses bouilleurs et ses réchauffeurs alimentaires, mais sans y comprendre les surchauffeurs de vapeur) par le nombre exprimant, en degrés centigrades, l'excès de la température de l'eau correspondant à la pression indiquée par le timbre réglementaire sur la température de 100 degrés, conformément à la table annexée au présent décret. (V. p. 84).

Si plusieurs chaudières doivent fonctionner ensemble dans un même emplacement, et si elles ont entre elles une communication quelconque, directe ou indirecte, on prend, pour former le produit, comme il vient d'être dit, la somme des capacités de ces chaudières.

Les chaudières sont de la première catégorie quand le produit est plus grand que 200 ; de la deuxième, quand le produit n'excède pas 200, mais surpasse 50 ; de la troisième, si le produit n'excède pas 50.

ART. 15. — Les chaudières comprises dans la première catégorie doivent être établies en dehors de toute maison d'habitation et de tout atelier surmonté d'étages. N'est pas considérée comme étage, au-dessus de l'emplacement d'une chaudière, une construction dans laquelle ne se fait aucun travail nécessitant la présence d'un personnel à poste fixe.

ART. 16. — Il est interdit de placer une chaudière de première catégorie à moins de trois mètres (3^m) d'une maison d'habitation.

Lorsqu'une chaudière de première catégorie est placée à moins de dix mètres (10^m) d'une maison d'habitation, elle en est séparée par un mur de défense.

Ce mur, en bonne et solide maçonnerie, est construit de manière à défilé la maison par rapport à tout point de chaudière distant de moins

de dix mètres (10^m), sans toutefois que sa hauteur dépasse de un mètre (1^m) la partie la plus élevée de la chaudière. Son épaisseur est égale au tiers au moins de sa hauteur, sans que cette épaisseur puisse être inférieure à un mètre (1^m) en couronne. Il est séparé du mur de la maison voisine par un intervalle libre de trente centimètres (0^m,30) de largeur au moins.

L'établissement d'une chaudière de première catégorie à la distance de dix mètres (10^m), ou plus, d'une maison d'habitation n'est assujéti à aucune condition particulière.

Les distances de trois mètres (3^m) et de dix mètres (10^m), fixées ci-dessus, sont réduites respectivement à un mètre cinquante centimètres (1^m,50), et à cinq mètres (5^m) lorsque la chaudière est enterrée de façon que la partie supérieure de la chaudière se trouve à un mètre (1^m) en contre-bas du sol, du côté de la maison voisine.

ART. 17. — Les chaudières comprises dans la deuxième catégorie peuvent être placées dans l'intérieur de tout atelier, pourvu que l'atelier ne fasse pas partie d'une maison d'habitation. Les foyers sont séparés des murs des maisons voisines par un intervalle libre de un mètre (1^m) au moins.

ART. 18. — Les chaudières de troisième catégorie peuvent être établies dans un atelier quelconque, même lorsqu'il fait partie d'une maison d'habitation

Les foyers sont séparés des murs des maisons voisines par un intervalle libre de cinquante centimètres (0^m,50) au moins.

ART. 19. — Les conditions d'emplacement prescrites pour les chaudières à demeure, par les précédents articles, ne sont pas applicables aux chaudières pour l'établissement desquelles il aura été satisfait au décret du 25 janvier 1865, antérieurement à la promulgation du présent règlement.

ART. 20. — Si, postérieurement à l'établissement d'une chaudière, un terrain contigu vient à être affecté à la construction d'une maison d'habitation, celui qui fait usage de la chaudière devra se conformer aux mesures prescrites par les articles 16, 17 et 18, comme si la maison eût été construite avant l'établissement de la chaudière.

ART. 21. — Indépendamment des mesures générales de sûreté prescrites au titre I^{er} de la déclaration prévue par les articles 12 et 13, les chaudières à vapeur fonctionnant dans l'intérieur des usines sont soumises aux conditions que pourra prescrire le préfet, suivant les cas et sur le rapport de l'ingénieur des mines.

TITRE III

CHAUDIÈRES LOCOMOBILES

ART 22. — Sont considérées comme locomobiles les chaudières à vapeur qui peuvent être transportées facilement d'un lieu dans un autre, n'exigeant aucune construction pour fonctionner sur un point donné et ne sont employées que d'une manière temporaire à chaque station.

ART. 23. — Les dispositions des articles 2 à 11 inclusivement du présent décret sont applicables aux chaudières locomobiles.

ART. 24. — Chaque chaudière porte une plaque sur laquelle sont gravés en caractères très apparents le nom et le domicile du propriétaire et un

numéro d'ordre, si ce propriétaire possède plusieurs chaudières locomobiles.

ART. 25. — Elle est l'objet de la déclaration prescrite par les articles 12 et 13 adressée au préfet du département où est le domicile du propriétaire.

L'ouvrier chargé de la conduite devra représenter à toute réquisition le récépissé de cette déclaration.

TITRE IV

CHAUDIÈRES DES MACHINES LOCOMOTIVES

ART. 26. — Les machines à vapeur locomotives sont celles qui, sur terre, travaillent en même temps qu'elles se déplacent par leur propre force, telles que les machines des chemins de fer, des tramways, les machines routières, les rouleaux compresseurs, etc.

ART. 27. — Les dispositions des articles 2 à 8 inclusivement et celles des articles 11 et 24 sont applicables aux chaudières des machines locomotives.

ART. 28. — Les dispositions de l'article 25, paragraphe 1^{er}, s'appliquent également à ces chaudières.

ART. 29. — La circulation des machines locomotives a lieu dans les conditions déterminées par des règlements spéciaux.

TITRE V

RÉCIPIENTS

ART. 30. — Sont soumis aux dispositions suivantes les récipients de formes diverses, d'une capacité de plus de 100 litres, au moyen desquels les matières à élaborer sont chauffées non directement à feu nu, mais par de la vapeur empruntée à un générateur distinct lorsque leur communication avec l'atmosphère n'est point établie par les moyens excluant toute pression effective nettement appréciable.

ART. 31. — Ces récipients sont assujettis à la déclaration prescrite par les articles 12 et 13.

Ils sont soumis à l'épreuve, conformément aux articles 2, 3, 4 et 5. Toutefois, la surcharge d'épreuve sera, dans tous les cas, égale à la moitié de la pression maximum à laquelle l'appareil doit fonctionner, sans que cette surcharge puisse excéder 5 kilogrammes par centimètre carré.

ART. 32. — Ces récipients sont munis d'une soupape de sûreté réglée pour la pression indiquée par le timbre, à moins que cette pression ne soit égale ou supérieure à celle fixée pour la chaudière alimentaire.

L'orifice de cette soupape, convenablement déchargée ou soulevée au besoin, doit suffire à maintenir, pour tous les cas, la vapeur dans le récipient à un degré de pression qui n'excède pas la limite du timbre.

Elle peut être placée, soit sur le récipient lui-même, soit sur le tuyau d'arrivée de la vapeur, entre le robinet et le récipient.

ART. 33. — Les dispositions des articles 30, 31 et 32 s'appliquent également aux réservoirs dans lesquels de l'eau à haute température

est emmagasinée, pour fournir ensuite un dégagement de vapeur ou de chaleur, quel qu'en soit l'usage.

ART. 34. — Un délai de six mois, à partir de la promulgation du présent décret, est accordé pour l'exécution des quatre articles qui précèdent.

TITRE VI

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

ART. 35. — Le ministre peut, sur le rapport de l'ingénieur des mines, l'avis du préfet et celui de la Commission centrale des machines à vapeur, accorder dispense de tout ou partie des prescriptions du présent décret, dans tous les cas où, à raison soit de la forme, soit de la faible dimension des appareils, soit de la position spéciale des pièces contenant de la vapeur, il serait reconnu que la dispense ne peut pas avoir d'inconvénient.

ART. 36. — Ceux qui font usage de générateurs ou de récipients de vapeur veilleront à ce que ces appareils soient entretenus constamment en bon état de service.

A cet effet, ils tiendront la main à ce que des visites complètes, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, soient faites à des intervalles rapprochés pour constater l'état des appareils et assurer l'exécution, en temps utile, des réparations ou remplacements nécessaires.

Ils devront informer les ingénieurs des réparations notables faites aux chaudières et aux récipients, en vue de l'exécution des articles 3 (1^o, 2^o et 3^o) et 34, § 2.

ART. 37. — Les contraventions au présent règlement sont constatées, poursuivies et réprimées, conformément aux lois.

ART. 38. — En cas d'accident ayant occasionné la mort ou des blessures, le chef de l'établissement doit prévenir immédiatement l'autorité chargée de la police locale et l'ingénieur des mines chargé de la surveillance. L'ingénieur se rend sur les lieux, dans le plus bref délai, pour visiter les appareils, en constater l'état et rechercher les causes de l'accident. Il rédige sur le tout :

1^o Un rapport qu'il adresse au procureur de la République et dont une expédition est transmise à l'ingénieur en chef, qui fait parvenir son avis à ce magistrat ;

2^o Un rapport qui est adressé au préfet par l'intermédiaire et avec l'avis de l'ingénieur en chef.

En cas d'accident n'ayant occasionné ni mort ni blessures, l'ingénieur des mines seul est prévenu, il rédige un rapport qu'il envoie, par l'intermédiaire et avec l'avis de l'ingénieur en chef, au préfet.

En cas d'explosion, les constructions ne doivent point être réparées et les fragments de l'appareil rompu ne doivent point être déplacés ou dénaturés avant la constatation de l'état des lieux par l'ingénieur.

ART. 39. — Par exception, le ministre pourra confier la surveillance des appareils à vapeur aux ingénieurs ordinaires et aux conducteurs des ponts et chaussées, sous les ordres de l'ingénieur en chef des mines de la circonscription.

ART. 40. — Les appareils à vapeur qui dépendent des services spé-

ciaux de l'État sont surveillés par les fonctionnaires et agents de ces services.

ART. 41. — Les attributions conférées aux préfets des départements par le présent décret sont exercées par le préfet de police dans toute l'étendue de son ressort.

ART. 42. — Est rapporté le décret du 25 janvier 1865.

ART. 43. — Le ministre des travaux publics est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel*, *Bulletin des Lois*.

Fait à Paris, le 30 avril 1880.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Travaux publics,

H. VARROY.

Décret du 29 juin 1886

(Supplément au décret du 30 avril 1880)

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE,

Sur le rapport du ministre des travaux publics ;

Vu la loi du 21 juillet 1856 ;

Vu le décret du 30 avril 1880, relatif aux chaudières à vapeur, autres que celles qui sont placées sur les bateaux ;

Vu l'avis de la Commission centrale des machines à vapeur, en date du 4 février 1886 ;

Le Conseil d'État entendu,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Lorsque plusieurs générateurs de vapeur, placés à demeure, sont groupés sur une conduite générale de vapeur en nombre tel que le produit formé, comme il est dit à l'article 14 du décret du 30 avril 1880, en prenant comme base de calcul le timbre réglementaire le plus élevé, dépasse le nombre 1800, lesdits générateurs sont répartis par séries, correspondant chacune à un produit au plus égal à ce nombre ; chaque série est munie d'un clapet automatique d'arrêt disposé de façon à éviter, en cas d'explosion, le déversement de la vapeur des séries restées intactes.

ART. 2. — Lorsqu'un générateur de première catégorie est chauffé par les flammes perdues d'un ou plusieurs fours métallurgiques, tout le courant des gaz chauds doit, en arrivant au contact des tôles, être dirigé tangentiellement aux parois de la chaudière.

A cet effet, si les rampants destinés à amener les flammes ne sont pas construits de façon à assurer ce résultat, les tôles exposées aux coups de feu sont protégées, en face des débouchés des rampants dans les carneaux, par des murettes en matériaux réfractaires, distantes des tôles d'au moins 30^{mm} et suffisamment étendues dans tous les sens pour que les courants de gaz chauds prennent des directions sensiblement tangentielles aux surfaces des tôles voisines avant de les toucher.

ART. 3. — Les dispositions de l'article 35 du décret du 30 avril 1880 sont applicables aux prescriptions du présent règlement.

ART. 4. — Un délai de six mois est accordé aux propriétaires de chaudières existant antérieurement à la promulgation du présent règlement pour se conformer aux prescriptions ci-dessus.

ART. 5. — Le ministre des travaux publics est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Bulletin des Lois*.

Fait à Paris, le 29 juin 1886.

Le Président de la République,

Signé: JULES GRÉVY.

Par le Président de la République:

Le Ministre des Travaux publics,

Charles BAÏHAUT.

Nota. — Voici la table qui permet de rechercher la catégorie dans laquelle doit rentrer la chaudière que l'on veut établir.

Tableau donnant la température (en degrés centigrades) de l'eau correspondant à une pression donnée (en kilogrammes effectifs)

PRESSION EFFEC- TIVE en kilogr.	TEMPÉRATURE en degrés centigrades	PRESSION EFFEC- TIVE en kilogr.	TEMPÉRATURE en degrés centigrades
0.5	111	10.5	185
1.0	120	11.0	187
1.5	127	11.5	189
2.0	138	12.0	191
2.5	138	12.5	193
3.0	143	13.0	194
3.5	147	13.5	196
4.0	151	14.0	197
4.5	155	14.5	199
5.0	158	15.0	200
5.5	161	15.5	202
6.0	164	16.0	203
6.5	167	16.5	205
7.0	170	17.0	206
7.5	173	17.5	208
8.0	175	18.0	209
8.5	177	18.5	210
9.0	179	19.0	211
9.5	181	19.5	213
10.0	183	20.0	214

Problème relatif à la recherche de la catégorie à laquelle appartient une chaudière. — Prenons l'exemple d'une chaudière d'une capacité de 2 mètres cubes, la pression étant de 4 kilogrammes. Si nous regardons à la table la température correspondante, nous voyons que celle-ci est de 151° C. En retranchant 100° de 151°, il reste 51°. Multipliant 51 par 2, il vient :

$$51 \times 2 = 102$$

La chaudière en question est classée dans la deuxième catégorie, puisque 102 est inférieur à 200 et supérieur à 50.

Ce point est très important, car c'est d'après lui qu'est choisi l'emplacement. En effet, il est dit en substance dans les articles 15, 16, 17 et 18 du décret du 30 avril 1880 :

1° Que les chaudières de la première catégorie ne peuvent être établies dans une maison d'habitation et à moins de 3 mètres de celle-ci, sauf lorsqu'elle est enterrée dans le sol ;

2° Que les chaudières de la deuxième catégorie peuvent être établies dans un atelier non habité ;

3° Que les chaudières de troisième catégorie peuvent être établies dans une maison d'habitation.

Enfin, le propriétaire ne doit pas oublier, avant tout, lorsqu'il veut employer une machine à vapeur, d'en faire la déclaration, sur papier timbré, au préfet du département ou au préfet de police pour la ville de Paris. Cette déclaration doit contenir les indications suivantes :

Je soussigné (*nom, prénoms et profession du signataire*), demeurant à (*adresse et domicile*), ai l'honneur de déclarer à M. le Préfet de (*le nom du département*) que je viens d'installer dans mes ateliers, situés (*appellation précise du lieu*), commune (*nom de la commune*), une machine à vapeur de la force de..... chevaux, numérotée (*mettre le numéro de fabrication*), achetée par moi chez (*mettre le nom et l'adresse de la maison de construction*).

Cette machine est de la forme (*locomobile, ou demi-fixe, ou fixe*), la chaudière a une capacité (*en litres*) ; elle présente en surface de chauffe (*en mètres carrés*).

Le timbre exprime une pression effective maximum de (*kilogrammes par centimètre carré*).

Cette machine est destinée à la fabrication (*genre d'industrie*).

(*Dater et signer*).

En outre, la pièce doit être dûment légalisée et enregistrée à sa date.

MOTEURS A VAPEUR

Dans une machine à vapeur, le moteur est le récepteur sur lequel agit la vapeur ; l'action qu'il en reçoit est transformée en travail et en mouvement circulaire continu permettant d'actionner les appareils les plus divers.

Principe d'un moteur à vapeur. — Un moteur à vapeur comprend (fig. 83) un cylindre C, dans lequel se meut un piston dont la tige H est terminée par un coulisseau V, guidé dans

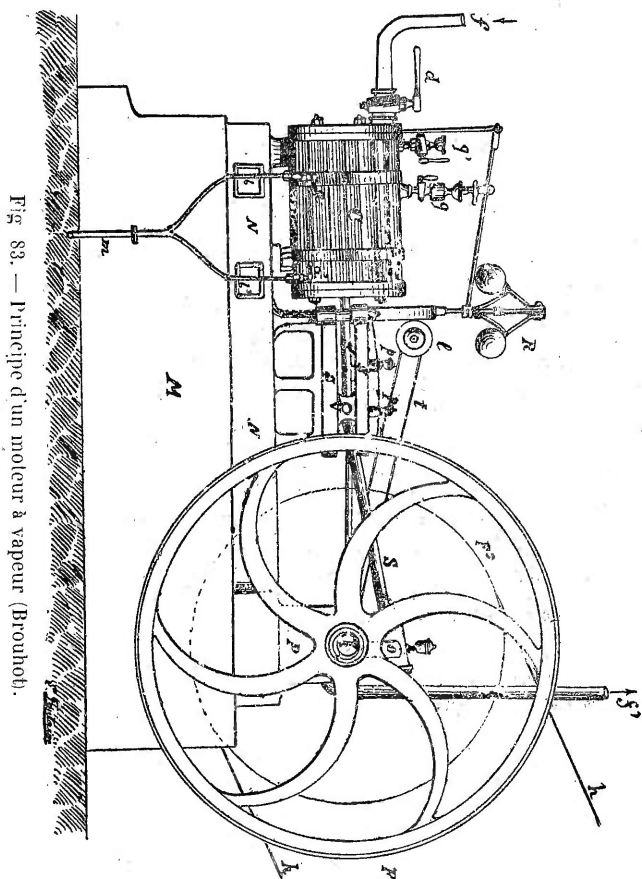


Fig. 83. — Principe d'un moteur à vapeur (Brouhot).

ses mouvements de va-et-vient entre deux glissières *g*. La tête du coulisseau s'articule à la bielle *S*, mettant en mouvement la manivelle *o* de l'arbre de couche *I*, sur lequel sont clavetées deux poulies-volant *F F'*. La vapeur est amenée par le tuyau *f* et est admise par le robinet *d* au distributeur à vapeur, puis au cylindre. L'échappement de la vapeur se fait par le tuyau *f''*.

La rotation du moteur est maintenue régulière par l'emploi d'un régulateur à boules centrifuge R, qui agit, par une série de leviers, sur un papillon d'admission ou sur un organe de détente, le mouvement de rotation est pris sur l'arbre de couche par la courroie *t*. Pour extraire l'eau de condensation, avant la mise en marche du moteur, on ouvre *deux robinets purgeurs a et a'*, communiquant avec les tubes *b b'* réunis en un seul en *m*.

Pour diminuer les frottements dans le cylindre, on emploie des graisseurs *q q'*, ainsi que sur les glissières en *p p*.

Tous ces organes sont solidement reliés ensemble par un bâti en fonte N, dont la partie P forme deux paliers ou chaises sur lesquels reposent, dans des coussinets en bronze, les extrémités de l'arbre de couche I. Le bâti est lui-même boulonné sur un massif en maçonnerie M, ou sur le corps de la chaudière quand les deux appareils sont solidaires. Tel est, en quelques mots, le principe d'un moteur à vapeur.

Chaque organe d'un moteur se compose d'un assez grand nombre de pièces qu'il est bon de connaître avant d'entreprendre leur étude détaillée.

Dans le bâti on distingue :

- 1° La plaque d'assise ;
- 2° Les chaises et paliers ;
- 3° Les pièces de liaison (écrous, boulons, clavettes, etc.).

Dans le cylindre on distingue :

- 1° Le cylindre et ses fonds ;
- 2° Le piston ;
- 3° La tige du piston.

Dans le distributeur on distingue :

- 1° La boîte à vapeur ;
- 2° Le tiroir ;
- 3° Le mouvement du tiroir ;
- 4° Les modérateurs de distribution (papillon, détentes).

Dans le condenseur on distingue :

- 1° Le condenseur ;
- 2° La pompe à air et son piston.

Dans les appareils de transformation du mouvement on distingue :

- 1° Le coulisseau de la tige du piston ;
- 2° Les glissières ;

- 3° La bielle ;
- 4° La manivelle ;
- 5° L'arbre moteur ;
- 6° Les poulies de transmission.

Dans les appareils de régularisation du mouvement on distingue :

- 1° Le volant ;
- 2° Le régulateur centrifuge.

Dans les appareils de graissage on distingue ;

- 1° Les graisseurs.

Étude des différents organes du moteur

Bâti. — Le bâti est une pièce fixe sur laquelle sont disposés les organes du moteur, il sert à les réunir entre eux et à les supporter. Il est ordinairement formé par une plaque en fonte rectangulaire. A l'une de ses extrémités, elle porte le cylindre, puis viennent les glissières, généralement rapportées, et enfin, à l'autre extrémité se trouvent les paliers venus de fonte. Ceux-ci sont munis de coussinets à larges portées et disposés pour le rattrapage du jeu. Lorsque le moteur est fixé sur la chaudière, on doit pouvoir les rendre indépendants l'un de l'autre. Certaines machines anglaises ont leur bâti en plusieurs pièces ; cette disposition n'est pas à conseiller, à cause des dislocations qui peuvent survenir, rendant la marche irrégulière.

On peut trouver des bâtis verticaux, comme dans les *moteurs à pilon* ou dans les machines semi-fixes verticales ; enfin, on a le *bâti américain* ou à *baïonnette*, employé dans les moteurs horizontaux.

Suivant la forme du bâti, on peut donc classer les moteurs en :

- 1° Moteurs horizontaux ;
- 2° Moteurs verticaux.

Cylindre. — Le cylindre est l'organe du moteur chargé de transformer en travail mécanique la chaleur produite par la combustion de la houille, du bois, de la tourbe ou de la paille, dans le foyer de la chaudière. Cette chaleur lui arrive par l'intermédiaire de l'eau, dont les molécules ont été séparées les unes des autres pour former ce que l'on appelle *la vapeur*. Le cylindre est donc, comme on le voit, un organe très important, duquel dépend, en partie, le rendement de la machine à vapeur.

En principe, il se compose d'une enveloppe de fonte grise C (fig. 84), soigneusement alésée intérieurement, de façon à la rendre parfaitement cylindrique. Les extrémités portent des rebords appelés brides *ff*, sur lesquelles viennent se boulonner deux fonds S et S'. Le fond S est fermé et porte un robinet purgeur R, le fond S' est percé d'un trou dans lequel

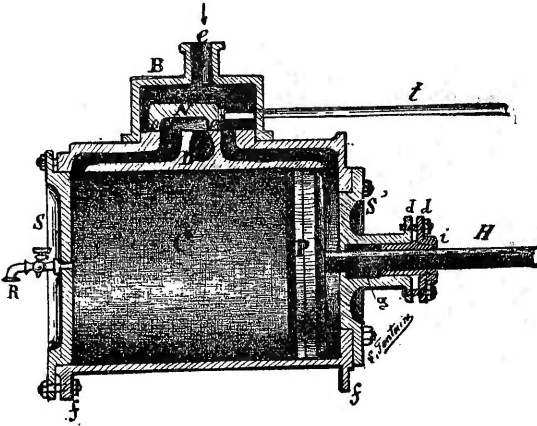


Fig. 84. — Coupe d'un cylindre à vapeur.

coulisse la tige H du piston P. Pour rendre étanche cette ouverture, on y place un presse-étoupe ou *stuffing-box i*, composé de deux brides *d d*, réunies ensemble par des boulons. Quand on serre *i*, on fait descendre l'étoupe *g* qui vient fermer les fuites dans le passage de la tige du piston H.

La vapeur pénètre à chaque bout du cylindre par deux conduites rectangulaires ou *lumières a et b*, qui prennent la vapeur dans le distributeur B. L'une est appelée *lumière d'admission*, l'autre, *lumière d'évacuation*. L'évacuation de la vapeur se fait au moyen d'un orifice d'échappement D, terminé par un tuyau placé sur l'un des côtés du cylindre.

La distribution et l'évacuation se font au moyen d'un organe appelé *tiroir N*, animé d'un mouvement de va-et-vient par la tige *t*.

Théoriquement, pour diminuer au minimum la dépense de chaleur dans le cylindre, celui-ci devrait avoir une longueur égale à son diamètre. En pratique, on lui donne toujours une longueur égale à 3 ou 4 fois son rayon, ou :

$$L = 3 r \text{ ou } 4 r.$$

Si, par exemple, le rayon du cylindre est de $0^m,15$, sa longueur L sera égale à :

$$0^m,15 \times 3 = 0^m,45, \text{ ou } 0^m,15 \times 4 = 0^m,60.$$

On entoure l'extérieur du cylindre par des douves en bois, ordinairement en acajou, maintenues par des brides en fer, en laiton, ou par une tôle très mince. Le bois étant mauvais conducteur de la chaleur, il empêche le rayonnement de celle-ci et diminue la condensation à l'intérieur du cylindre.

Très souvent, dans les grandes machines employées dans les industries, la paroi du cylindre est formée de deux enveloppes, laissant entre elles un espace vide où circule la vapeur, on l'appelle, pour cette raison, *chemise de vapeur*. L'épaisseur de cette chemise est d'environ 5 centimètres, mais elle doit toujours être moindre de 7 à 8 millimètres de celle des parois, afin d'éviter les ruptures.

L'utilité de la chemise de vapeur est incontestable, elle permet de réaliser une économie de travail de 20 o/o. En effet, les parois du cylindre étant toujours à une température constante, elles ne perdent pas de chaleur par rayonnement et la vapeur introduite peut produire tout son effet utile sur le piston.

Ces doubles enveloppes sont coulées ensemble lorsque les dimensions du cylindre ne sont pas trop grandes ; dans le cas contraire, on rapporte l'enveloppe extérieure sur la première par boulonnage.

Généralement, c'est après avoir parcouru la chemise que la vapeur pénètre dans le cylindre pour actionner le piston. Il peut se faire aussi que cette chemise soit alimentée par de la vapeur venant d'un tuyau spécial. Dans beaucoup de machines anglaises, et surtout dans les locomobiles, on trouve les soupapes de sûreté (à balance) placées sur le cylindre. Enfin, certains cylindres de moteurs puissants possèdent des manomètres.

Quand on met en marche, il ne faut jamais oublier d'ouvrir les purgeurs pendant quelque temps, afin d'évacuer l'eau de condensation provenant de la vapeur restée dans le cylindre au moment de l'arrêt. Sous l'effet de la marche du piston, cette eau, repoussée contre les fonds, produirait des chocs pouvant occasionner des bris ou soulever la boîte du distributeur B.

Piston — Le piston est un organe placé à l'intérieur du cylindre sur lequel la vapeur agit par sa force d'expansion. On peut le comparer à un fond mobile d'une boîte cylindrique, se déplaçant alternativement de droite à gauche, suivant

que la vapeur arrive en dessus ou en dessous. Dans ce cas, le piston est à *double effet*, tandis qu'autrefois, dans les premières machines à vapeur, le piston n'était qu'à *simple effet* parce que la vapeur n'agissait qu'en dessous (machines de Papin, Newcomen, etc.). C'est Watt qui, le premier, employa le cylindre à double effet.

Parties d'un piston. — Dans un piston de machine à vapeur on distingue deux parties principales :

- 1° Le *plateau* ;
- 2° La *tige*.

Dans les anciens pistons, le plateau était en fonte, ayant à sa surface des gorges creuses, recevant des garnitures de tresses en chanvre graissées fermant les fuites sur les faces. Mais l'usure de ces garnitures était rapide, il fallait les remplacer souvent. Aujourd'hui, on se sert exclusivement de garnitures métalliques. On a d'abord employé les pistons à garnitures en fonte, mais l'usure était rapide. On n'emploie plus aujourd'hui, dans les machines, que le piston dit « Suédois ».

Il se compose (fig. 85) d'une âme A, en fer forgé, évidée à l'intérieur et tournée à sa surface.

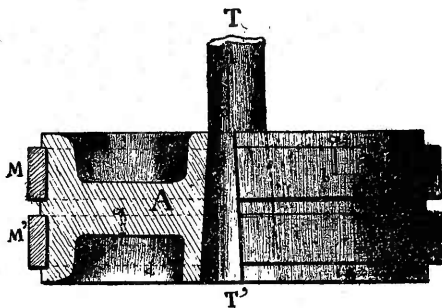


Fig. 85. — Piston «Suédois».

Son diamètre est toujours moindre que celui du cylindre dans lequel il se meut, le jeu est d'environ 1 millimètre. Sur la face alésée sont pratiquées deux rainures, dans lesquelles on place deux bagues en fonte douce ou en acier M et M', qui forment ressort et viennent s'appuyer contre les parois du cylindre, afin de rendre impossible toute communication entre la face droite et la face gauche du plateau. Les extrémités des bagues ne sont pas soudées pour leur permettre de s'allonger au fur et à mesure de l'usure, il y a un espace brisé *a b c d*, d'environ 1 millimètre, entre les deux extrémi-

tés de chaque bague. Pour éviter les fuites, on a soin d'opposer les deux joints ; l'un est à droite et visible sur la figure ; l'autre est à gauche et est représenté en pointillé sur la face postérieure.

La fixation de la tige T T' se fait dans le plateau A, en rivant à chaud la partie conique T'

A sa sortie du cylindre, la tige du piston passe dans un presse-étoupe ou stuffing-box.

La vitesse du piston varie beaucoup avec les machines (1); celles qui sont employées dans les manufactures sont à marche lente, tandis que celles qu'emploie l'agriculture sont à marche rapide.

La puissance d'une machine se mesure d'après la capacité de son cylindre et la vitesse de son piston. On voit donc que deux machines ayant le même cylindre, mais dont les pistons ont deux vitesses différentes, ne sont pas de même *force*. Ceci est facile à démontrer en se reportant à la formule du travail d'une force, ou :

$$T = F \times e \text{ (1).}$$

Dans notre exemple, la force F est la même dans les deux machines, faisons-la égale à 100 kilogr. L'espace parcouru e n'est pas le même ; faisons-le égal pour la première machine à 1 m. 50, pour la seconde à 2 m. 20. Le travail sera donc, en appliquant la formule (1) :

$$1^{\text{re}} \text{ machine : } 100 \times 1,50 = 150 \text{ kilogrammètres ;}$$

$$2^{\text{me}} \text{ machine : } 100 \times 2,20 = 220 \quad \text{—}$$

Nous avons pris deux cylindres semblables, on pourrait choisir un exemple dans lequel ils sont dissemblables et où la puissance des deux moteurs est égale ; dans ce cas, la vitesse étant variable, il y aurait un cylindre dont le piston marcherait beaucoup plus vite que l'autre.

En résumé, un petit cylindre peut donc donner un aussi grand travail qu'un grand, pourvu que le nombre de coups de piston par seconde soit suffisant. Mais il ne faut pas oublier que, plus la marche est rapide, plus l'usure des organes est grande. On peut diminuer, de cette façon, le volume du moteur. Dans les moteurs des locomobiles agricoles, la marche se fait à raison de 120 tours en moyenne par minute, correspondant à 120 coups doubles de piston. Les machines d'irrigation font jusqu'à 140 et 150 tours par minute.

(1) On entend par vitesse d'un piston, l'espace qu'il parcourt dans une seconde.

Cylindres spéciaux. — Nous voulons signaler quelques types particuliers de cylindres employés en agriculture ou en industrie, et dans lesquels on a cherché à simplifier les organes de transformation du mouvement, tels que la bielle, le coulisseau, les glissières et même la tige du piston.

Quelques locomobiles anglaises sont munies du cylindre dit à *fourreau*. Il se compose d'un cylindre ordinaire, dans lequel les fonds sont percés de larges ouvertures pour recevoir un tuyau formant glissière sur lequel est fixé le piston, la bielle s'articule directement au piston.

Un autre type de cylindre est celui dit *oscillant*, qui fut inventé par Mauby, en Angleterre, vers 1817. M. Cavé l'importa en France et le perfectionna beaucoup. Il se compose d'un cylindre, reposant par son milieu sur deux tourillons creux. La tige du piston commande directement l'arbre de couche, et dans ses mouvements d'élévation et d'abaissement, il fait prendre au cylindre une position oblique à droite et à gauche. La vapeur arrive par un tourillon et sort par l'autre. L'usure rapide des organes et un faible rendement ont fait rejeter ce cylindre de la pratique.

Signalons, enfin, le cylindre des machines rotatives, dans lequel il n'y a plus ni piston, ni bielle. Ces organes sont remplacés par une came fixée sur l'arbre moteur; l'ensemble tourne dans un cylindre muni d'une soupape à ressort. Le principe de ces cylindres a été donné par Watt en 1782. Beaucoup de tentatives ont été faites pour rendre pratiques les machines rotatives; citons celles de Hodson, Brotherood, Behrens, etc. La vitesse peut s'élever jusqu'à 2000 tours par minute, mais le rendement est faible.

Dépuis quelques années, on emploie dans les laiteries, à la commande des écrémeuses centrifuges, des *turbines à vapeur*. Elles se composent d'une petite roue (7 cent.-10 cent. de diamètre) garnie d'ailettes gauches. L'ensemble est enfermé dans une boîte à vapeur métallique; la vapeur arrive par un ajutage tangent et agit par choc, puis elle sort par un tuyau d'échappement. Elle perd sa puissance vive et donne à la turbine une vitesse considérable de 15 à 30.000 tours par minute; des engrenages retardateurs réduisent la vitesse du bol écrémeur. Le système le plus connu est celui de Laval, vendu par MM. Pilter (Paris).

Distributeur de vapeur. — Le distributeur, encore appelé *boîte à vapeur*, est un organe chargé du double but de faire pénétrer la vapeur dans le cylindre et ensuite de l'évacuer.

On peut dire que c'est l'organe de la machine à vapeur qui a demandé le plus de travail aux inventeurs.

Dans les premières machines de Newcomen, la distribution se faisait par robinet manœuvré à la main; la marche était tout à fait irrégulière. L'enfant Humphry-Potter supprima le travail de l'ouvrier en faisant commander les robinets par le balancier de la machine. Plus tard, Watt inventa une distribution à obturateurs. En 1801, l'Anglais Murray substitua le distributeur à tiroir à coquille, employé dans presque toutes les machines à vapeur agricoles. Citons ensuite les distributions Corliss, Sulzer, etc.

Distributeur à tiroir à coquille (1). — Dans ce distributeur on distingue deux parties (fig. 86) : 1° une *boîte à vapeur* A A ; 2° un *tiroir* T.

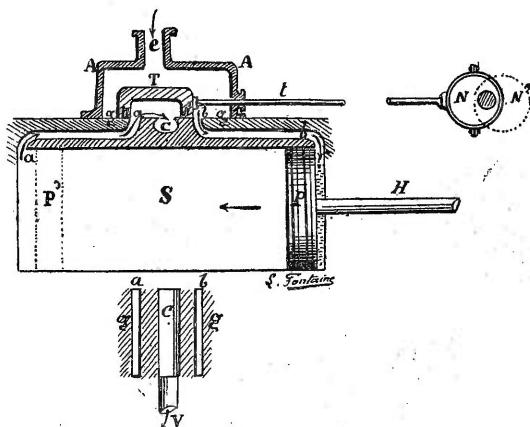


Fig 86. — Principe de la distribution dans un tiroir à coquille.

La boîte à vapeur A A est une capacité rectangulaire, en fonte et boulonnée sur le cylindre S, à droite ou à gauche, en dessus et en dessous suivant les systèmes. Elle est alimentée de vapeur par le tuyau e.

Le tiroir T, comme son nom l'indique, représente absolument un tiroir de table. Il est creux et renversé sur une partie polie et plane du cylindre appelée *glace* g g. Il glisse de droite à gauche, et de gauche à droite sur cette glace, par l'intermédiaire d'une tige t, commandée par un excentrique N, calé sur l'arbre de couché du moteur. En se déplaçant, il ouvre

(1) On désigne, sous le nom de coquille, la partie creuse du tiroir.

ou ferme les lumières a et b et les met alternativement en communication avec l'orifice C pour évacuer la vapeur qui a servi.

La longueur du tiroir T doit être égale à la distance extérieure des lumières a et b ; de plus, la largeur de ses bords n et n' doit être semblable à celle de ces deux lumières, de façon à les boucher en temps voulu. Connaissant les deux parties du cylindre, nous allons maintenant nous occuper de son *fonctionnement*.

Fonctionnement du piston et du tiroir. — Pour bien saisir le mécanisme du cylindre, il faut considérer les mouvements du piston et du tiroir, et suivre la vapeur à son entrée dans les lumières a b et à sa sortie dans la conduite d'échappement C.

Supposons (fig. 86) que le tiroir T soit arrivé au fond de sa course, laissant à découvert la lumière b , et que sa coquille recouvre la lumière a et la conduite d'échappement; supposons en outre que le piston P soit à l'extrémité droite du cylindre. La vapeur contenue dans la boîte A s'engage par la lumière ouverte b et vient agir sur le piston, le forçant à se mettre en marche suivant le sens de la flèche indiquée. D'un autre côté, la vapeur qui se trouvait en avant du piston s'échappe par la lumière a , passe dans la coquille, puis sort par la conduite d'échappement C qui l'amène, au moyen d'un tuyau V, dans la cheminée de la chaudière ou au condenseur. Dès que le piston P est arrivé à la moitié de sa course, le tiroir T revient en arrière pour commencer à découvrir la lumière a , quand P est rendu en P'. Alors le tiroir T a la position suivante: la coquille recouvre la lumière b et la conduite d'échappement C, laissant cette fois à découvert la lumière a . L'excentrique qui commande le tiroir a pris la position N'. Le même phénomène se passe à nouveau. La vapeur s'engage par la lumière a et chasse le piston en avant; la vapeur qui a agi précédemment s'échappe par la lumière b et sort par la conduite C, et ainsi de suite. On voit donc que, pour obtenir une distribution convenable de la vapeur, il suffit que le *tiroir soit constamment en avance d'une demi-course sur le piston*. On y arrive en calant l'excentrique de commande N et la manivelle de l'arbre de couche, suivant un angle de 90 degrés.

La marche que nous venons d'exposer est théorique, on a cherché à diminuer la contre-pression qu'exerce la vapeur ayant servi lorsque le piston revient en arrière. Comme nous l'avons dit plus haut, la *lumière d'échappement* ne s'ouvre qu'à mesure que le piston P se dirige vers P', il s'ensuit

que la vapeur contenue en avant, entre P' et P, ne peut sortir immédiatement. Elle est alors comprimée.

Pour diminuer ce travail de compression, on a été amené à donner à l'angle de calage plus de 90°. On a ainsi obtenu l'*avance à l'échappement* ou à l'*émission*, qui consiste à ouvrir la lumière d'échappement *a* un peu avant que le piston ait terminé sa course. En livrant une sortie à la vapeur avant qu'elle ait conduit le piston à la fin de sa course, on diminue son travail. Mais comme la contre-pression est considérablement diminuée, il s'ensuit que cette disposition est avantageuse.

L'*avance à l'échappement* entraîne une *avance à l'admission*, c'est-à-dire que la lumière *b* (fig. 86) laisse passer la vapeur dans le cylindre avant que le piston P soit arrivé à la fin de sa course. Cette vapeur est alors comprimée et atteint une tension supérieure.

Dans les distributeurs des locomobiles, l'*avance à l'admission* n'est pas supérieure à 1 ou 2 millimètres; dans les locomotives, elle va jusqu'à 4 et 5 millimètres. L'*avance à l'échappement* peut être d'autant plus considérable que la vitesse du piston est plus grande, car il y a toujours intérêt, quelle que soit la machine, à diminuer la contre-pression.

Il reste toujours au fond du cylindre un certain volume où séjourne la vapeur qu'on appelle *espace nuisible*; dans les distributions Corliss, Sulzer, on a réduit au minimum ces espaces, de sorte que le rendement mécanique s'est accru.

DISTRIBUTIONS PERFECTIONNÉES

Dans les grands moteurs, on a cherché à réduire les espaces nuisibles du cylindre et à supprimer la lamination de la vapeur, comme cela a lieu dans le tiroir à coquille, enfin on a cherché à diminuer le refroidissement de la vapeur en employant des fermetures rapides.

Les systèmes les plus connus sont ceux de Corliss, qui inventa vers 1850 son système de distribution à *lames de sabre*, puis ceux de Spencer et Inglis, de Sulzer, de Cail, de Farcot, de Wheelock.

Suivant la forme des tiroirs on a :

- 1° Les *distributeurs circulaires* ;
- 2° Les *distributeurs à soupapes* ;
- 3° Les *distributeurs à tiroirs plans*.

Distributeurs circulaires ou à dé clic, genre Corliss. —
Le principe de la distribution Corliss réside dans l'emploi de

quatre robinets placés deux à deux aux extrémités du cylindre, l'un en haut, l'autre en bas. Les premiers servent à l'admission de la vapeur, les deuxièmes donnent l'échappement. Ces robinets sont commandés alternativement par un ensemble de leviers. Nous prendrons en premier lieu, comme type, la *distribution Cail*.

Dans la figure 87, on voit à droite la coupe du cylindre, et à gauche l'élévation du mécanisme de la distribution. Laté-

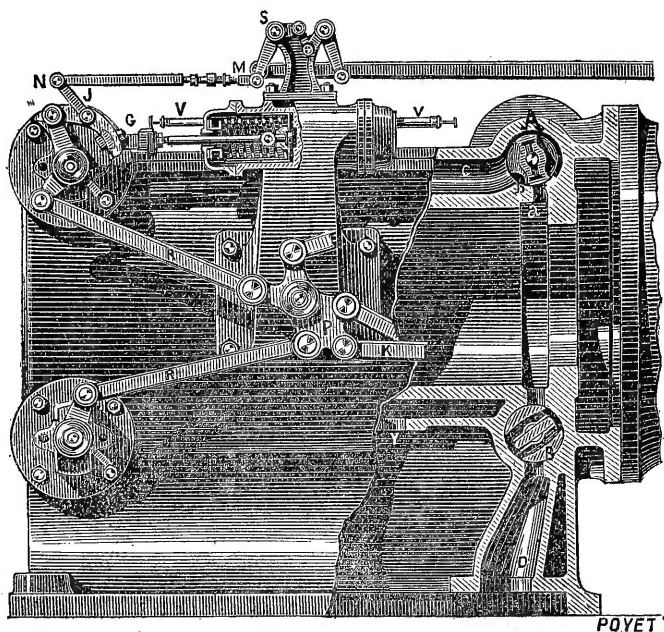


Fig. 87.— Élévation et coupe de la distribution Cail.

ralement au cylindre, sont venus de fonte avec lui 4 petits cylindres alésés à l'intérieur A et B. Ceux-ci renferment les robinets de distribution, le supérieur A admet la vapeur venant de C, lorsque son arête *b* vient démasquer la lumière *a*. Le distributeur inférieur B sert à l'échappement, il est percé dans son milieu d'un canal en communication avec le tuyau d'évacuation D, se rendant au condenseur. Deux autres distributeurs, symétriques aux premiers, sont placés à l'autre extrémité du cylindre. Voyons maintenant comment vont s'opérer l'ouverture et la fermeture de ces distributeurs.

A l'extérieur du cylindre est fixé un plateau P, mobile au-

tour de son axe et commandé par une bielle K, prenant son mouvement au moyen d'un excentrique calé sur l'arbre de couche. A ce plateau, viennent s'articuler les têtes des 4 bielles R, chargées de commander les axes des distributeurs. Comme l'échappement de la vapeur se fait toujours dans les mêmes conditions déterminées préalablement, les 2 leviers inférieurs sont calés invariablement sur leur axe. L'admission, au contraire, devant varier dans des limites assez étendues et suivant les degrés de détente, on obtient un mécanisme spécial.

Sur chaque tige F (fig. 88) des distributeurs d'admission est claveté un secteur E, articulé à la tige G d'un piston contenu dans un cylindre appelé *boîte à choc* ; un puissant ressort à boudin tend à ramener constamment en arrière le secteur E et, par suite, à tenir le distributeur fermé.

En *o'*, le secteur porte un petit grain en acier formant dent en dessous, et en Z, une rondelle de caoutchouc.

Un levier double I I' en chape, fou autour de F, est relié à l'une des bielles inférieures R, qui le fait osciller régulièrement. Entre les joues de I I', vient se loger un cliquet à queue H, maintenu par un ressort Q ; il porte un petit bloc en acier *o*, pourvu d'une encoche qui vient saisir la saillie *o'*.

Lorsque le cliquet est suffisamment poussé à droite, il attrape *o'*, puis en revenant en arrière, il entraîne l'ensemble du secteur et ouvre l'admission. Mais dans sa rotation, la pointe du secteur vient rencontrer une came *e* terminant le levier J, qui fait déclancher le cliquet H. Le secteur E est immédiatement rappelé à sa position primitive par le ressort de la boîte à choc faisant fermer l'admission. Le cliquet H retombe sur la rondelle en caoutchouc Z, de sorte que le bruit est évité à chaque déclanchement.

L'admission est réglée par la course plus ou moins grande

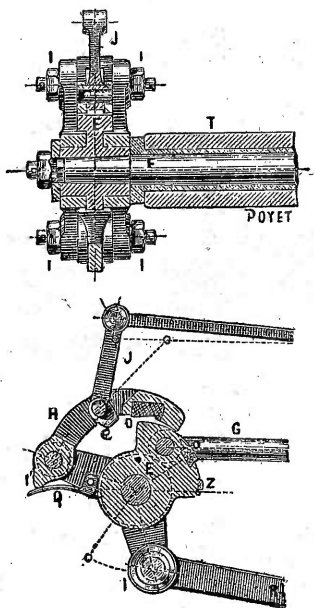


Fig. 88. — Détails de la commande des tiroirs d'admission.

donnée au secteur E; pour cela, on incline le levier J d'une quantité variable au moyen d'une tringle à vis M N. En outre, le régulateur agit également par le système S, donnant une détente variable. Ce degré de détente se lit au moyen de petits cylindres V V, fixés le long des deux boîtes à choc.

Distribution Farcot. — Dans la distribution Corliss, l'espace nuisible occupe environ 3,5 o/o du volume du cylindre.

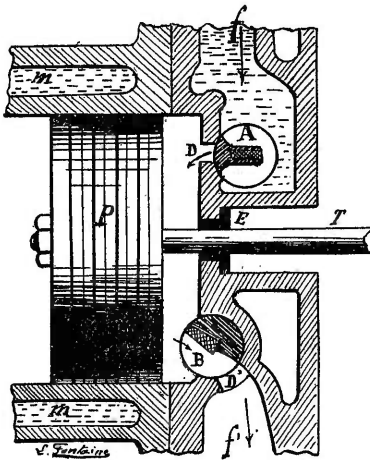


Fig. 89. — Distribution Farcot.

m, puis pénètre par *f*. Le piston est en P, muni de sa tige T passant dans un stuffing-box E.

Les tiroirs sont manœuvrés par un plateau circulaire oscillant, muni de 4 bielles. Les deux admissions comportent des cames et des pédales d'enclanchement, rappelées par des *cylindres ressort-vapeur*. On obtient une fermeture rapide sans choc.

Distributions Wheelock et Sulzer. — Dans le système Wheelock, on a 4 tiroirs situés en dessous du cylindre, mais 2 seulement communiquent avec les fonds du cylindre.

La distribution Sulzer se fait par soupapes au nombre de 4, les deux supérieures servent à l'admission, les deux inférieures donnent l'échappement. Deux excentriques commandent, au moyen de leviers, ces soupapes, qui sont rappelées sur leurs sièges par des boîtes à choc.

De la détente. — *Principe de la détente.* — On dit que la

vapeur agit avec détente lorsqu'elle ne pénètre dans le cylindre que pendant une fraction de la course du piston.

Lorsque ce dernier, par exemple, est arrivé au milieu de sa course, la lumière d'admission se ferme. Alors, la vapeur qui se trouve enfermée dans une capacité dont l'un des fonds est mobile (plateau du piston) se détend, augmente de volume suivant la loi de Mariotte et conduit le piston jusqu'au bout de sa course par détente. Dans notre cas, la détente serait de $1/2$.

On peut voir immédiatement que l'on obtient une grande économie de vapeur (de moitié), de charbon et d'argent. La détente peut être fixe ou variable.

A. — DÉTENTE FIXE PAR LE TIROIR

La détente fixe peut s'obtenir au moyen d'un tiroir à *recou-*

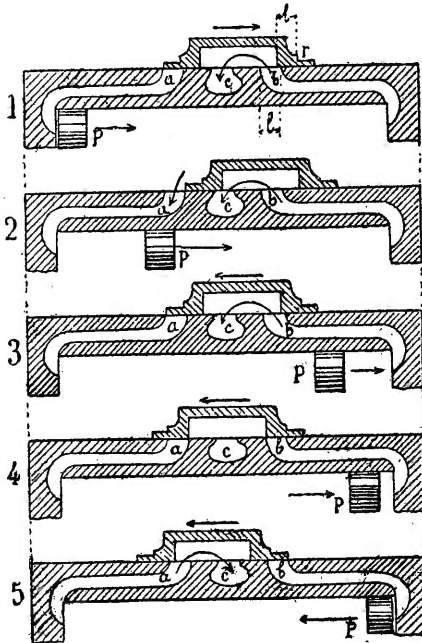


Fig. 90. — Détente obtenue par le tiroir à recouvrement extérieur.

Celui-ci (fig. 90) est un tiroir ordinaire dont les bords l ont été allongés extérieurement d'une quantité r ;

le reste du cylindre ne varie pas, on a toujours deux lumières *a* et *b*.

Dans son mouvement, le tiroir prend 5 positions différentes (1, 2, 3, 4, 5) et produit la détente. La position 1 du tiroir indique que le piston P est à l'extrémité de sa course et va revenir vers la droite suivant la flèche ; l'admission va commencer par la lumière *a*, tandis que depuis quelque temps la lumière *b* laisse échapper la vapeur.

Dans la position 2, le tiroir est arrivé à l'extrémité de sa course vers la droite ayant ainsi parcouru un chemin *l* ; le piston n'est pas encore à moitié de sa course.

Quand le tiroir revient fermer l'admission (position 3), le piston continue à s'avancer. A partir de cette position 3, la détente va se produire et l'échappement qui a lieu depuis 1 se continue jusqu'à la position 4. Entre les positions 4 et 5, il y a échappement à gauche et compression de la vapeur à droite du piston. La course du piston est terminée et les mêmes phases se reproduiront. Ainsi donc, le recouvrement extérieur *a* suffit pour produire la détente de la vapeur entre les positions 3 et 4.

De 4 à 5, il y a compression de la vapeur dans le fond du cylindre et dans le conduit de vapeur (espaces nuisibles), il se produit un travail résistant que l'on retrouve à l'admission suivante. L'excentrique doit avoir un rayon égal à la largeur de la lumière *l*, augmentée du recouvrement *r* ou :

$$R = l + r.$$

L'angle de calage doit être plus grand que 90°, on l'augmente d'une quantité α appelée *angle d'avance*.

On emploie également le tiroir à recouvrement intérieur pour la détente.

La détente fixe a quelques inconvénients, parce qu'elle règle mathématiquement l'arrivée de la vapeur dans le cylindre et par suite le travail est toujours le même pour chaque coup de piston. Si une machine commande des appareils à fonctionnement irrégulier ou présentant des résistances variables, le mécanicien est obligé d'agir sur la valve de prise de vapeur, de relever ou de diminuer la pression de la chaudière. Dans les deux cas, on utilise mal la chaleur. Il vaut mieux adapter aux machines agricoles des *détentes variables*, auxquelles nous arrivons.

B. — DÉTENTES VARIABLES ET RÉGLABLES A LA MAIN

1° **Détente Meyer.**— Cette détente fut inventée, en 1843, par Meyer, elle est très employée dans les machines agricoles à cause de la simplicité de son mécanisme.

La boîte à vapeur M (fig. 91) possède un tiroir parallélogramme rectangle T, percé de deux lumières *c* et *c'*, correspon-

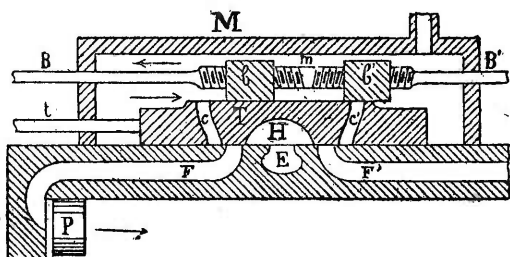


Fig. 91.— Coupe en long de la détente Meyer.

nant à celles *F* et *F'* du cylindre, et d'une coquille *H*, mettant alternativement en communication le tuyau d'échappement *E* avec les lumières *F* et *F'*. Il est facile de voir que les parties pleines en dehors des orifices *c* et *c'* n'agissent pas plus que si elles n'existaient pas.

Sur ce tiroir, glissent deux taquets prismatiques *b* et *b'*, taraudés intérieurement et montés sur une tige *B* et *B'* portant deux vis de sens contraire. On peut rapporter les deux taquets *b* et *b'* à de simples écrous se rapprochant ou s'éloignant du point *m*, suivant que l'on tourne dans un sens ou dans l'autre la tige des vis *B B'*. La tige *t* du tiroir et la tige *B* des taquets sont animées d'un mouvement de va-et-vient par deux excentriques, calés sur l'arbre de couche du moteur. Celui du tiroir *T* est calé à 90° avec la manivelle du piston (un peu plus s'il y a recouvrement extérieur), au contraire, l'excentrique de *B* est calé un peu en arrière de la manivelle. Les deux organes marchent en sens contraire, comme l'indiquent les flèches. Le mécanisme de la distribution et de la détente est le suivant :

Lorsque la lumière *c* du tiroir *T* est en communication avec *F*, la vapeur pénètre dans le cylindre et chasse le piston *P* suivant la flèche. Mais, comme la tige *B* marche en sens contraire de celle du tiroir, le taquet *b* ne tarde pas à recouvrir la lumière *c*, et empêche ainsi toute communication avec le cylindre. Dès ce moment, commence la détente qui se con-

tinue jusqu'au bout du cylindre, après quoi le phénomène inverse se produit entre $F' c'$ et b' . Si les taquets b et b' étaient plus rapprochés du point m , la fermeture des lumières c et c' serait retardée et la détente moindre; l'inverse aurait lieu si b et b' étaient, au contraire, plus éloignés de m . Il suffit donc de quelques tours de vis pour faire varier le degré de détente.

On obtient ces changements au moyen du mécanisme représenté par la figure 92.

L'extrémité B' de la tige $B B'$ portant les taquets glisse à

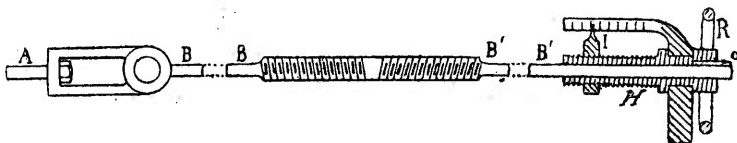


Fig. 92. — Mécanisme du réglage de la détente Meyer.

frottement doux dans le moyeu d'une roue R . Cette dernière ne participe pas au mouvement de va-et-vient de la tige $B B'$, mais elle peut lui imprimer un mouvement de rotation, grâce à la clavette o , qui lui est solidaire, et c'est de ce mouvement que naît le déplacement des taquets b et b' . L'extérieur H du moyeu R est fileté et permet de déplacer un écrou le long d'une règle graduée sur laquelle sont inscrits les chiffres 1, $3/4$, $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$, $1/8$, $1/10$, $1/20$, $1/25$, indiquant la valeur de la détente.

Pour rendre indépendante la tige A de l'excentrique du mouvement de rotation de $B B'$, il se trouve, entre ces deux pièces, une chape évidée, tournant librement autour de A . Beaucoup de constructeurs, tels que Merlin, Brouhot, la maison Hermann-Lachapelle, la Société du Matériel agricole de Vierzon, etc., emploient la détente Meyer dans leurs machines un peu complètes.

Détente Farcot. — La détente Farcot, du nom du célèbre constructeur français, est une excellente détente dont sont munies les machines agricoles un peu compliquées.

Dans la boîte à vapeur, glisse sur la glace du cylindre un tiroir prismatique portant deux chambres évasées, munies inférieurement de deux lumières D et D' , correspondant à celles L et L' du cylindre, et supérieurement 6 conduites $n n$ et $n' n' n'$ (fig. 93). En dessous, est creusée une coquille, faisant communiquer à l'échappement les lumières L et L' avec le tuyau d'évacuation E .

Sur le tiroir se trouvent deux glissières, percées chacune de deux ouvertures nn et $n'n'$, de diamètre égal aux ouvertures supérieures du tiroir. Sur chaque glissière on remarque deux saillies. L'une verticale H , appelée talon, porte un *butoir* b , venant heurter une tête de vis v , placée dans la paroi de la boîte à vapeur. L'autre s , inclinée, est arrêtée dans le mouvement d'avancement par la came c .

La glissière de droite est identique à la précédente; en H' et s' se trouvent les deux saillies.

Les glissières sont maintenues appliquées sur le tiroir par deux ressorts R et R' et par la pression de la vapeur; l'adhérence est suffisante pour que le tiroir les entraîne jusqu'au

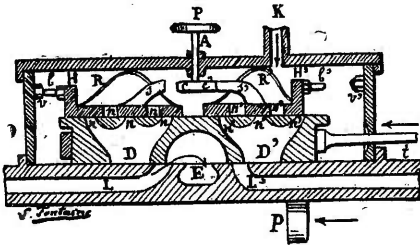


Fig. 93. — Coupe longitudinale de la détente Farcot.

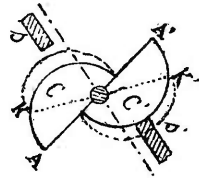


Fig. 94. — Plan de la came de la détente Farcot.

moment où les butoirs $b'b'$ ou les saillies $s's'$ soient arrêtés par les vis $v'v'$ ou par la came $c'c'$. La marche de ces deux glissières se fait dans le même sens, comme on peut le voir sur la figure.

La came $C' C'$ (fig. 94) est formée de deux segments arrondis, sur lesquels viennent buter les arrêts s et s' . Elle sert à donner plus ou moins d'étendue à la course des glissières et, par suite, à la détente, en augmentant sa largeur avec une tige A , munie d'un volant P . Dans le plan représenté par la figure 94, le segment C' a arrêté la saillie s' , tandis que s a quitté C . Si l'on vient à augmenter la largeur de la came en agissant sur le volant P , le point A s'élèvera en K , et A s'abaissera en K' .

En jetant un coup d'œil sur la figure précédente, il est facile de voir que la distance comprise entre les deux lignes pointillées est plus grande que celle donnée par la première position. Les saillies s et s' rencontrant plus vite les segments C et C' , la détente sera plus grande. On peut obtenir un degré de détente jusqu'à $1/20$.

Pour bien saisir le mécanisme de la détente Farcot, il suffit de prendre le tiroir T lorsqu'il arrive à la fin de sa course. Les lumières de l'une des chambres D ou D' communiquent avec celles de la glissière qui leur sont superposées. Mais, comme la chambre a trois lumières et que la glissière n'en a que deux, la lumière extérieure de la chambre communique directement avec la boîte à vapeur. Le tiroir et la glissière se mettant en marche, la vapeur pénètre dans le cylindre jusqu'au moment où les saillies *s* ou *s'* rencontrent la came C C'. La glissière s'arrête, mais le tiroir continue sa marche, fermant ainsi les lumières. La vapeur ne peut plus pénétrer dans le cylindre, et c'est alors que commence la détente.

Si nous prenons, par exemple, le côté droit du tiroir (fig. 93) au commencement de sa course, nous voyons que *b'* et *v'* se touchaient comme *b* et *v* et que les 4 lumières *n' n' n' n'* coïncidaient ; seule, la lumière extérieure *n'* de la chambre D' n'était pas recouverte, mais communiquait directement avec la boîte à vapeur. La marche se faisant suivant le sens de la flèche, la vapeur pénètre par les lumières et, par suite, dans le cylindre jusqu'au moment où *s'* a rencontré la came *c c'*. La marche se continuant, les lumières chevauchent et l'entrée de la vapeur ne se fait plus ; le piston P est alors conduit par détente jusqu'à son extrémité. Mais au fur et à mesure que le tiroir avance vers sa fin, les lumières *nnnnn* de la chambre gauche D viennent à coïncider et laissent passer la vapeur. Le tiroir revient en arrière et le même phénomène se répète en sens contraire. Il est bien entendu que l'évacuation de la vapeur se fait, comme dans un tiroir ordinaire, par l'intermédiaire de la coquille, qui met alternativement en communication L ou L' avec E.

Les lumières étant en grand nombre, elles laissent pénétrer en peu de temps une forte quantité de vapeur, c'est une des hautes qualités de la détente Farcot ; les étranglements et les laminages de la vapeur que l'on trouve dans les autres systèmes sont évités. Aussi, est-elle très employée par un grand nombre de constructeurs français.

Coulisse de Stephenson. — La coulisse de Stephenson est employée en agriculture, sur les locomotives routières et dans les machines verticales dites à pilon ; elle sert à un double but :

- 1° A produire la détente ;
- 2° A changer la marche du tiroir et par suite celle de la

machine. On la rencontre surtout sur les locomotives des chemins de fer.

Elle se compose de deux excentriques symétriques E et E' (fig. 95), calés sur l'arbre de couche par rapport à la manivelle Mo , suivant un angle de $90^\circ + \alpha$, α étant l'angle d'avance. Ces excentriques portent deux tiges B et B' , réunies à une coulisse courbe AA' , dans laquelle peut se déplacer un coulisseau f , réuni par une tige t au tiroir à coquille T . La coulisse AA' peut s'élever ou s'abaisser au moyen d'un système de leviers.

Elle est suspendue à une bielle g , fixée à l'extrémité d'une manivelle ou arbre de relevage h portant un contre-poids C . Cet arbre de relevage s'abaisse ou s'élève, en oscillant autour du point K , lorsque le levier e est poussé ou tiré par

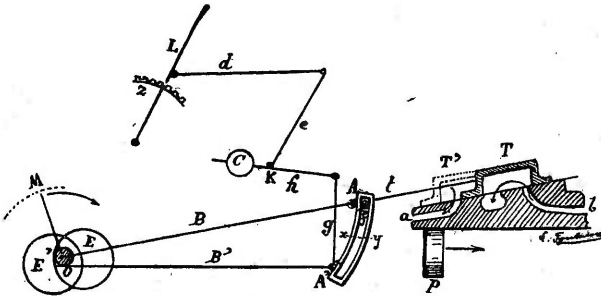


Fig. 95.— Principe de la coulisse de Stephenson.

la tige d fixée à un autre levier L , que le mécanicien déplace à la main sur un secteur à crans z . Le coulisseau étant placé dans une position convenable, voici comment va s'opérer la distribution de la vapeur.

Les excentriques E et E' , en tournant, vont, par leurs tiges B et B' , pousser alternativement, à droite ou à gauche, les extrémités A et A' , et communiquer un mouvement de va-et-vient au tiroir par l'intermédiaire du coulisseau f et de la tige t . Comme la coulisse oscille autour du point de suspension, les déplacements du tiroir sont d'autant plus grands que le coulisseau f se trouve rapproché de A ou A' . Pour obtenir une détente prolongée, il suffit de rapprocher le coulisseau de x y , on diminue ainsi l'admission de la vapeur. On peut même supprimer tout mouvement au tiroir en faisant coïncider f et x y . Le mécanicien a donc à sa portée un moyen de diminuer la vitesse de sa machine sans toucher à la prise de vapeur.

Pour expliquer le changement de marche, il suffit de savoir

que l'excentrique E donne la *marche en avant*, tandis que l'excentrique E' donne la *marche en arrière*. Dans la position occupée par la coulisse (fig. 95), la marche se fait en avant ; si l'on veut changer la marche, il suffit de faire remonter la coulisse et amener le point A' en A, en agissant sur le levier L. Dans ce mouvement de rotation, le tiroir T est ramené en arrière et vient se placer suivant la position T', indiquée en lignes ponctuées sur la figure. La lumière qui donnait l'admission se trouve transformée en lumière d'évacuation ; celle qui était d'évacuation devient lumière d'admission. On désigne généralement cette manœuvre sous le nom de *renversement de la vapeur*.

La coulisse de Stephenson a le grave inconvénient de ne pas donner une distribution égale sur les deux faces du piston, lorsque l'on fait usage de la détente.

Cet inconvénient disparaît dans la coulisse de Gooch, qui diffère de la précédente par sa courbure tournée en sens contraire, et par son coulisseau, qui se déplace dans le sens vertical. Citons aussi les coulisses d'Allan en Angleterre, et de Trick en Allemagne.

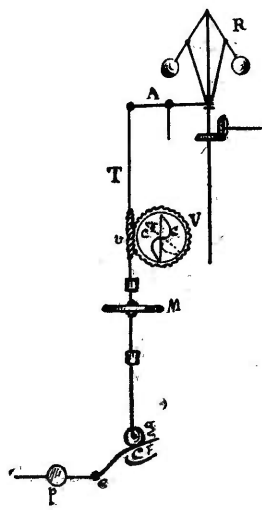


Fig. 96. — Principe de la commande de la détente Farcot par le régulateur.

C. — DÉTENTES VARIABLES PAR LE RÉGULATEUR

Depuis longtemps (1834), Farcot avait muni les détentes de ses machines d'un régulateur déplaçant automatiquement la came du distributeur. Aujourd'hui, beaucoup de machines à vapeur d'industrie sont munies de ce dispositif. Leur marche est absolument régulière et le travail au cylindre est proportionnel à celui demandé.

Régulateur de la détente Farcot.

— Le régulateur R porte un levier horizontal A (fig. 96), dont l'extrémité s'articule avec un levier vertical T, portant dans son milieu une vis sans fin v, qui engrène avec une roue dentée V, calée sur l'axe de la came c. Quand la vitesse de la machine augmente ou diminue, le levier monte ou descend et communique un mouvement de rotation à la came. Le chemin

des glissières étant changé, l'admission de la vapeur se fait plus ou moins longtemps. Le réglage de la détente se fait par un volant M, au moyen duquel on change la longueur du levier vertical T, donnant plus ou moins de course à la vis. L'ensemble repose, par un galet *g*, sur l'extrémité d'un levier oscillant en *e* et muni d'un contre-poids *p*.

Dans le même genre, on trouve les *régulateurs à crémaillères* que l'on emploie pour les détentes Farcot.

Détente Weyher et Richemond. (*Compensateur de régulateur à mouvement inverse, système Denis*). — MM. Weyher et Richemond, à Pantin, dans leurs machines un peu complètes, emploient un régulateur de détente muni d'un *compensateur*. La came de détente se trouve en *c* (fig. 97), elle porte un axe terminé par une roue dentée *e* (fig. 98). Celle-ci engrène avec la vis sans fin *V* de la tige *d*, terminée par une

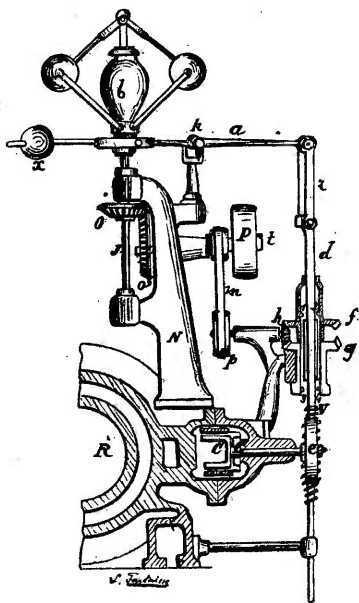


Fig. 97 — Coupe du compensateur Denis.

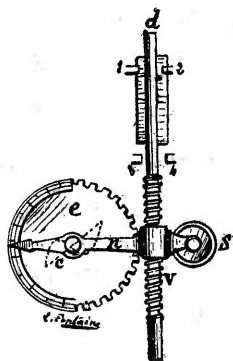


Fig. 98. — Détail de la commande de la came.

chape *z*, et reliée à une branche horizontale *a*, pouvant osciller autour de *k* lorsqu'elle est soulevée par les mâchoires du régulateur *b*. Une boule métallique *x* sert de contre-poids. Le mouvement est donné au régulateur par deux engrenages co-

riques O et O', l'un calé sur l'axe du régulateur, l'autre sur un arbre *t*, portant une poulie de commande P, recevant une courroie venant du moteur.

Une deuxième courroie *m* transmet le mouvement à une poulie *p*, fixée sur un arbre terminé par un engrenage conique *h* commandant deux roues d'angle *f* et *g*. L'ensemble est porté par un bâti en fonte N, fixé sur l'un des côtés du cylindre.

La détente étant réglée pour la marche désirée, s'il vient à se produire une accélération ou une diminution de vitesse, voici ce qui va se passer :

Supposons que la vitesse augmente, les boules du régulateur vont s'écarter et soulever l'extrémité gauche du levier *a*, tandis que l'extrémité droite va s'abaisser et appuyer sur la tige *d*. La vis de ce levier va faire tourner la roue dentée *e*, et par suite va agir sur la détente *c*, en diminuant la course des glissières du distributeur. En même temps que *d* s'abaisse, ses nervures 1 et 2 (fig. 98) s'engagent dans des coulisses portées par la roue d'angle *g* qui tourne constamment. L'embrayage se produit et la tige *d* se met à remonter en tournant, sans déplacer la came de sa position ni la roue dentée *e*, qui fait écrou. Le mouvement se produit jusqu'à ce que les nervures soient sorties des glissières ; l'ascension s'arrête par suite du débrayage. Le régulateur *b* est alors revenu à sa position primitive, prêt à fonctionner en sens contraire si la vitesse diminue. Avec cette disposition, on obtient des machines à marche très régulière.

Avantage économique de la détente. — Le grand avantage de la détente est de convertir en travail mécanique une quantité de chaleur beaucoup plus grande que lorsque la vapeur agit à pleine pression dans un cylindre. Dans ce dernier cas, il n'y a qu'une partie de la chaleur incorporée dans la vapeur qui serve à mettre en mouvement le piston, une grande quantité s'échappe dans l'atmosphère en pure perte.

L'emploi de la détente a permis d'utiliser beaucoup mieux la chaleur ; la vapeur s'échappe très refroidie et à une faible pression.

Appelons par 1 la dépense de la vapeur dans un cylindre marchant à pleine pression, et par 1 le travail produit. Avec un cylindre dont la détente est de $1/2$, on obtient les 0,84 du travail précédent, ou :

$$\begin{aligned} 0,50 &= 0,84 \text{ de travail} \\ 100 &= 0,84 \times 2 = 1,68 \text{ de travail.} \end{aligned}$$

Donc, pour une dépense de 1 dans les deux cas, le cylindre

sans détente donne 1 de travail mécanique ; le cylindre à détente donne 1,68 de travail.

On peut encore faire le calcul suivant :

Pour obtenir 0,84 de travail, il faut dépenser 0,50 de vapeur ;

$$\begin{array}{r} \text{---} \quad 0,01 \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \frac{0,50}{0,84} \\ \text{---} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \frac{0,50 \times 1}{0,84} = 0,59 \end{array}$$

Ce chiffre 0,59 nous indique que pour obtenir le même travail dans deux cylindres, l'un étant sans détente et l'autre à détente, il faut dépenser avec la détente presque moitié moins de vapeur que dans l'autre. Le prix de revient est donc diminué d'autant. Plus on augmente le degré de détente, plus la quantité de travail devient grande et plus le facteur dépense diminue, comme l'indique clairement le tableau suivant :

DEGRÉ de détente ou dépense de vapeur	TRAVAIL EFFECTUÉ en prenant pour unité le travail à pleine pression pendant toute la course	QUANTITÉ de travail obtenu pour une dépense de 1 de vapeur	PRIX de la même quantité de travail
1	1	1.	1
3/4	0.97	1.29	0.77
1/2	0.84	1.68	0.59
1/3	0.696	2.09	0.47
1/4	0.60	2.40	0.42
1/5	0.52	2.61	0.38
1/8	0.38	3.04	0.33
1/10	0.33	3.30	0.30
1/20	0.20	4. » »	0.25
1/25	0.179	4.50	0.22

Il faut cependant observer une limite minimum dans l'emploi de la détente ; la vapeur d'échappement doit toujours être à une pression supérieure à celle du milieu dans lequel elle se rend.

Quand l'échappement se fait dans l'atmosphère, la pression doit être au moins égale à 1.033 gr. par centimètre carré. S'il se fait dans un condenseur, la vapeur d'échappement sera à une pression égale à celle de ce milieu. Sans cela, la sortie ne se ferait qu'au détriment du travail qui devrait vaincre la contre-pression.

Pour faire ressortir encore plus l'importance de ce point,

supposons que l'admission de la vapeur soit à une pression de 2 atmosphères ; la détente ne devra pas se faire au maximum au delà de la moitié de la course du piston, ou $1/2$ pour laisser à la vapeur d'échappement une pression de 1.033 gr. par centimètre carré ou une atmosphère. Si, au contraire, la pression à l'admission était de 8 atmosphères, la détente pourrait se faire jusqu'au $1/8$ de la course de piston, etc.

Les moteurs alimentés par des chaudières à haute pression (8, 10, 12 et 15 atmosphères) peuvent seuls utiliser au maximum la vapeur.

MOTEURS A PLUSIEURS CYLINDRES

Lorsqu'on l'on veut obtenir, dans un moteur à un seul cylindre, une détente prolongée, il se produit un grave inconvénient résultant de l'irrégularité de pression que reçoit le piston aux différents points de sa course. Si, par exemple, la vapeur doit se détendre à 5 fois son volume primitif, le piston recevra, à la fin de sa course, un effort 5 fois moins grand qu'à son commencement. Et dès qu'il change de sens, il reçoit une impulsion violente qui produit un choc, amenant une irrégularité dans la vitesse de rotation. Enfin, la vapeur perd beaucoup de sa chaleur lorsqu'elle se détend, ce qui amène un refroidissement des parois du cylindre. Cette perte de chaleur doit être récupérée aux dépens d'une nouvelle quantité de vapeur. On peut cependant remédier en partie à ce défaut, en employant une chemise de vapeur.

Pour toutes ces raisons, on a cherché à opérer la détente au moyen de deux cylindres accouplés. L'un est petit, et travaille à *pleine vapeur*, ou avec faible détente ; l'autre est grand, et utilise la vapeur d'échappement du précédent, par *détente*. Le refroidissement de ce deuxième cylindre est peu considérable, parce que sa température se rapproche beaucoup de celle du condenseur avec lequel il est en communication. Deux systèmes de moteurs réunissent les conditions précédentes, ce sont : ceux de Woolf et les Compound.

a) **Machines de Woolf.** — Nous signalons, en passant, ces machines, car elles sont surtout employées en industrie et ne marchent qu'à de hautes pressions. Leur principe fut trouvé, en 1776, par Hornblower ; mais c'est surtout Woolf qui, en 1804, les employa pour les grandes pressions et leur apporta de nombreux perfectionnements.

En principe, le moteur Woolf se compose de deux cylindres parallèles h H (fig. 99), de même longueur et de diamètres inégaux. Dans le cylindre h , la vapeur agit à pleine pression; lorsqu'elle a conduit le piston jusqu'à la fin de sa course, elle passe dans le grand cylindre, où elle se détend. La distribution est croisée. Supposons, théoriquement, que les deux

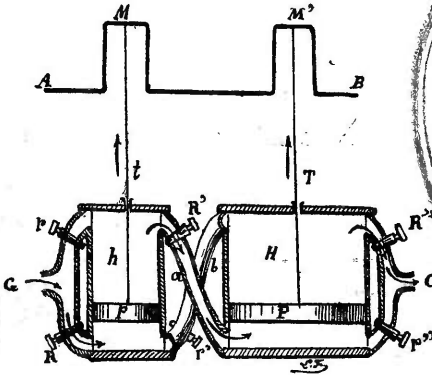
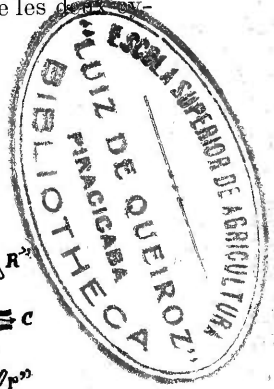


Fig. 99. — Principe d'un moteur Woolf.



lindres soient réunis par deux tubes croisés a et b , et que la vapeur arrive du générateur par le tuyau G . Les robinets R R' et R'' sont ouverts, tandis que r r' et r'' sont fermés, la vapeur vient sous le piston p à pleine pression et le fait remonter; la vapeur située au-dessus de ce piston passe dans le grand cylindre en empruntant le tuyau a . Elle se détend progressivement en soulevant P . On voit que la pression est moindre au-dessus du piston p qu'au-dessous; celui-ci s'élève; il en est de même de P , puisque l'espace qui est au-dessus est en communication par le tuyau C , qui va au condenseur. Les volumes des cylindres sont calculés de façon que la pression du côté d'évacuation du cylindre H soit toujours supérieure à la pression du condenseur. Les deux pistons montent en même temps, leurs tiges t T s'articulent à deux manivelles parallèles MM' , calées sur l'arbre AB . Les inconvénients de ce moteur résident dans le passage des points morts qui sont communs aux deux pistons, et enfin, à l'admission de la vapeur à pleine pression pendant toute la course du piston p . En pratique, les robinets sont remplacés par un tiroir creux à 4 obturateurs.

b) **Machines Compound.** — Le mot Compound vient de l'anglais, qui signifie composé; elles ne sont qu'une modification

du type Woolf. Comme celui-ci, elles ont deux cylindres de diamètres différents, mais la marche des pistons ne se fait pas dans le même sens. Les manivelles de l'arbre de couche sont calées suivant un angle de 90°.

En coupe verticale (fig. 100), le petit cylindre B reçoit la vapeur de la chaudière dans la chambre de vapeur F, munie d'une détente G et d'un distributeur *o*. La vapeur n'est admise que pendant une partie de la course, elle conduit ensuite le piston par détente. Puis elle se rend dans la chambre D, sui-

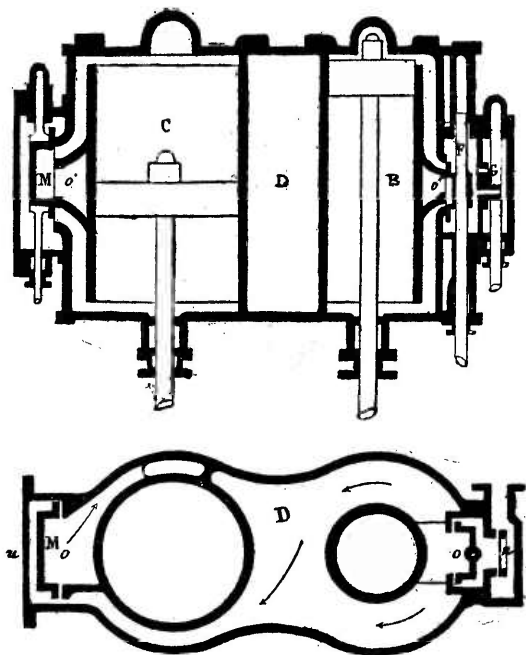


Fig. 100 et 101. — Coupes horizontale et verticale de deux cylindres accouplés en Compound.

vant les flèches indiquées par la figure 101. De là, elle va dans la boîte à vapeur du grand cylindre, où le distributeur M la laisse pénétrer. Elle chasse le piston par détente. A la fin de ce deuxième travail, elle se rend au condenseur. Il règne dans le réservoir D une pression à régime constant, qui est la contre-pression dans le petit cylindre et la pression initiale dans le grand, tout en faisant produire à la vapeur son plus

grand effet utile. Par suite, la différence de pression et de température étant moindre que dans les autres machines, la condensation à l'intérieur des cylindres est très réduite et la vapeur est mieux utilisée.

On peut voir que le petit piston est en avance d'une demi-course sur le grand cylindre. La proportion établie entre les cylindres est de 2,75 à 3; le réservoir D possède une capacité égale à 1,5 à 2 fois celle du grand cylindre.

Dans certains moteurs fixes, le réservoir D est remplacé par un gros tuyau en fonte, placé au-dessous des cylindres. Son diamètre est calculé pour que le débit soit suffisant à l'échappement du petit cylindre.

Moteurs jumelés. — Deux moteurs sont dits jumelés lorsque leurs bielles s'articulent sur la même manivelle, les cylindres étant égaux. Ces machines jumelles sont peu employées.

Moteurs tandem. — Ce sont des machines Compound, mais dont le grand cylindre est sur le prolongement du petit. Il n'y a qu'une bielle et qu'une manivelle.

Moteurs en cascade. — Dans certains moteurs, on place plusieurs cylindres superposés de diamètres allant en croissant. La vapeur, après avoir agi à haute pression dans le premier cylindre, passe dans le second où elle se détend, puis dans le troisième. Elle circule d'un cylindre à l'autre, en utilisant des ouvertures pratiquées dans le tuyau central où passent un distributeur et les bielles. Cette disposition est appelée *distribution en cascade*, parce que la vapeur arrive en haut des cylindres; on a les double, les triple, les quadruple expansions.

Comme type de ces machines, on peut citer celle de Willans. Elle est à grande vitesse et peut faire plus de 400 révolutions par minute, on l'accouple directement aux dynamos.

APPAREILS ANNEXÉS AU CYLINDRE

Condenseur. — Le condenseur est un récipient dans lequel se rend la vapeur venant du cylindre, au lieu de s'échapper librement dans l'atmosphère, soit par un tuyau d'échappement, soit par la cheminée de la chaudière. Son but est donc de ramener la vapeur d'échappement en eau, en la mettant en contact avec un liquide froid tel que l'eau, qui lui emprunte de la chaleur. De cette condensation, il résulte deux avantages, qui sont :

1° *Un vide qui amène une diminution de contre-pression à l'échappement ;*

2° *Une économie de combustible provenant de l'utilisation de*

L'eau chaude de la condensation à l'alimentation de la chaudière.

Dans l'ancienne *machine atmosphérique* de Newcomen, la condensation de la vapeur se faisait à l'intérieur du cylindre, en employant un jet d'eau froide. Plus tard, James Watt, en 1769, remédia aux graves défauts de la machine précédente, en produisant la condensation de la vapeur dans une chambre spéciale appelée *condenseur* ; aujourd'hui, on emploie encore ce dernier, avec certaines modifications.

Dans les machines, la condensation peut se faire de deux manières :

1° Par *condensation à injection* ou procédé de Watt ; cette disposition est employée dans les machines d'usines ;

2° Par *condensation à surface* ou procédé de Hall, qui n'est adopté que dans la marine et pour les machines de bateaux.

Nous ne nous occuperons ici que du premier système.

PARTIES CONSTITUANTES D'UN CONDENSEUR. — Un appareil à condensation se compose essentiellement de trois parties :

1° D'un *condenseur* proprement dit, formé d'une capacité en fonte fermée hermétiquement ;

2° D'une *pompe à eau* chargée d'injecter dans le condenseur l'eau nécessaire au refroidissement de la vapeur ;

3° D'une *pompe à air* servant à extraire du condenseur l'eau et l'air mis en liberté par l'abaissement de pression.

On a deux espèces de condenseur à injection :

1° Le *condenseur horizontal* ;

2° Le *condenseur vertical*.

1° **Condenseur horizontal à pompe à air à double effet.**

Le condenseur horizontal (fig. 102) se compose d'une boîte prismatique en fonte D D, divisée en plusieurs chambres. La centrale B B est munie de quatre soupapes, dont deux d'aspiration A et A', et deux de refoulement N et N' et d'un piston creux P sans soupape, muni d'une tige *g*, contenue dans un guide V V. La deuxième chambre H H' est appelée *chambre à injection* ; elle est en communication, par sa partie supérieure H, avec un tuyau T, amenant la vapeur du cylindre, condensée par un jet d'eau venant d'un tuyau *t*, terminé en pomme d'arrosoir *m*. L'eau condensée se réunit à la partie inférieure de la chambre en H, d'où elle est retirée par la pompe. Enfin, C et C' constituent deux chambres de refoulement, où vient se déverser l'eau de condensation extraite par la pompe. L'appareil fonctionne de la façon suivante :

La vapeur, arrivant par le tuyau T, rencontre l'eau froide sortant en gerbe de *m*, elle se condense en une pluie fine qui tombe en H, comme le montre notre figure. En même temps, la pompe à air fonctionne. Quand le piston P s'avance de droite

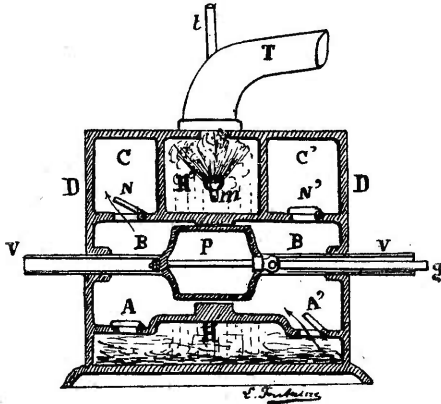


Fig. 102. — Coupe verticale d'un condenseur horizontal à injection, avec pompe à double effet.

à gauche, la soupape A' se soulève, laissant passer l'air et l'eau ; la soupape de refoulement N se lève également ; quand il revient en arrière, A' se ferme, l'eau et l'air sont refoulés par la soupape N' dans la chambre C', tandis que A aspire. La pompe à air est, dans ce cas, à double effet.

L'eau d'injection peut provenir d'une pompe à eau manœuvrée par le moteur, où elle est simplement amenée par un tuyau plongeant dans un puits, lorsque la hauteur d'aspiration ne dépasse pas 4 à 5 mètres. On peut, dans le cas de puits profond, employer un éjecteur à vapeur.

Le condenseur horizontal s'emploie surtout dans les machines fixes, il peut être installé de différentes manières. Généralement, on le place sur le prolongement de la tige du piston du cylindre à vapeur, qui sert en même temps de tige de piston à la pompe à air, sans qu'il soit besoin d'aucun organe intermédiaire (balancier, bielle, etc.).

Ce condenseur fonctionne d'autant mieux que la vitesse est plus lente ; celle-ci oscille entre 70 et 90 tours par minute pour les moteurs de la force de 15 à 25 chevaux, de 90 à 120 tours pour les forces de 10 à 15 chevaux.

Quant au prix d'achat, on peut compter en moyenne sur une dépense de :

600 à 700 francs	pour une force de	8 chevaux-vapeur.	
700 à 800	—	—	10 —
800 à 900	—	—	12 —
900 à 1100	—	—	15 —
1100 à 1200	—	—	20 —
1200 à 1300	—	—	25 —

2° **Condenseur vertical.** — Le condenseur vertical, ou *condenseur à bêche*, s'emploie surtout dans les machines à vapeur demi-fixes. En principe, il se

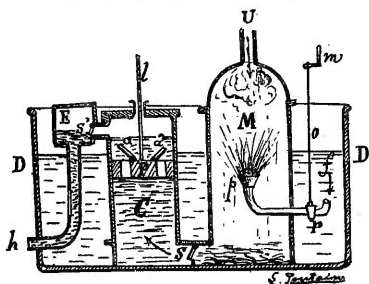


Fig. 103. — Principe d'un condenseur à bêche.

compose (fig. 103) d'un réservoir D D, contenant un condenseur M et une pompe à air C. On voit que ces deux organes sont séparés dans ce condenseur. Le condenseur proprement dit est une colonne cylindrique, arrondie au sommet et munie d'un manomètre. Il communique à la partie supérieure avec le tuyau de vapeur U, venant du cylindre, et inférieurement avec la pompe C ; celle-ci porte une *chapelle*, munie d'une soupape S s'ouvrant suivant le sens de la flèche. L'eau froide est amenée par un tuyau *f*, muni d'un robinet *r*, dont la tige *o* porte une manivelle *m* ; une pomme d'injection *p* lance l'eau en gerbe sur la vapeur d'échappement venant de U.

La pompe à air C a un piston P, muni de deux soupapes *a a'* s'ouvrant de bas en haut, le mouvement lui est donné par une tige *l*.

La marche est la suivante : la vapeur d'échappement, arrivant au condenseur M, rencontre l'eau froide qui lui emprunte de la chaleur et la réduit en eau. Elle tombe au fond, où elle est prise par la pompe à air. En effet, le piston P en s'élevant aspire et fait ouvrir S, le liquide monte dans le corps de pompe ; quand il redescend, S se ferme et les clapets *m* et *m'* se soulèvent pour donner passage au liquide aspiré. Enfin, lorsque P remonte, ses soupapes se ferment, et l'eau de condensation se déverse, par une soupape S', dans une bêche E. Elle est reprise dans le tuyau *h* par une pompe à piston plongeur, qui l'envoie à la chaudière. La pompe à air est, dans ce système, à simple effet.

Considérations générales sur les condenseurs

La pression à l'intérieur du condenseur, ou encore la contre-pression qui devra agir sur le piston du cylindre à vapeur, doit varier, au manomètre entre $1/24$ à $1/14$ d'atmosphère, correspondant à 30 ou 40° C.

Par l'abaissement de pression qui se passe dans le condenseur, une certaine quantité d'air est mis en liberté, d'après le principe suivant : *la quantité de gaz dissous est proportionnelle à la pression de l'atmosphère superposée*. Dans l'eau naturelle, le coefficient de dissolution de l'air est d'environ $1/20$, cet air étant supposé à la pression de l'atmosphère qui pèse sur le liquide. Or, à l'instant où l'eau arrive dans le condenseur, sa pression est de 1 atmosphère, celle-ci devient immédiatement 15 fois moindre; elle abandonne alors les $14/15$ de l'air qu'elle contenait. Cet air ne tarderait pas à augmenter rapidement la contre-pression s'il n'était enlevé, au fur et à mesure de sa production, par la pompe à air.

Quand on veut employer un condenseur dans une usine agricole, il faut disposer d'une grande quantité d'eau. Celle-ci peut se calculer de la façon suivante :

Soit Q le poids de l'eau nécessaire à la condensation d'un poids q de vapeur d'eau.

D'autre part, soit t la température de l'eau d'injection, variant entre 6° à 30° suivant la saison, T celle de la vapeur venant du cylindre, et t' celle résultant du mélange après la condensation.

Or, on sait, d'après les expériences de Regnault, que le nombre de calories contenues dans 1 kil. de vapeur à T est de :

$$606,5 + 0,305 T.$$

Le poids q de vapeur, passant d'une température T à celle de t' , perd un nombre de calories égal à :

$$q (606,5 + 0,305 T - t').$$

L'eau d'injection, étant déjà à une température t , absorbe, en passant à une température t' , une quantité de chaleur égale à :

$$Q (t' - t).$$

Comme la quantité de chaleur cédée par la vapeur doit être égale à celle qu'absorbe l'eau, on a :

$$Q (t' - t) = q (606,5 + 0,305 T - t'); \text{ d'où}$$

$$Q = \frac{q (606,5 + 0,305 T - t')}{t' - t}$$

Exemple. — Déterminer le poids d'eau à 12° qu'il faut injecter dans le condenseur d'une machine à vapeur, pour condenser 10 kil. de vapeur d'eau à 150°, la température du mélange devant être égale à 30° C.

Pour trouver la solution de ce problème, il suffit de remplacer, dans la formule précédente, les lettres par leur valeur :

$$Q = \frac{10 (606,5 + 0,305 \times 150 - 30)}{30 - 12} = 357 \text{ litres } 27.$$

En général, on compte qu'il faut environ 25 litres d'eau pour condenser 1 kil. de vapeur.

Le volume d'eau et de gaz à extraire par la pompe à air se décompose de la façon suivante :

- 1° 2,2 litres, eau et vapeur condensée.
- 2° 24,5 — eau introduite pour condensation.
- 3° 24,5 — air dégagé par l'eau de condensation.
- 4° 2,2 — air dégagé par l'eau et la vapeur condensée venant de la chaudière.

Total.... 53,4 litres, net 54 litres.

La pompe à air devra avoir une capacité 4 ou 8 fois plus grande que la quantité d'eau à enlever, dans les conditions normales.

En résumé, les machines fixes ou demi-fixes des usines agricoles, seules, peuvent utiliser le condenseur. Le travail est fortement accru, et l'eau chaude que l'on utilise pour l'alimentation de la chaudière permet de réaliser une grande économie de combustible. La pompe à air absorbe environ 1/20 à 1/30 du travail développé par la vapeur sur le piston.

TRAVAIL DE LA VAPEUR.

La chaleur que renferment les molécules de vapeur se transforme en travail, en déplaçant le piston dans le cylindre. Quand la vapeur agit à pleine pression pendant toute la course, on a les *machines à pleine pression* ; quand, au contraire, elle n'agit que pendant une période de la course du piston, on a les *machines à détente*.

On a donc à calculer le travail de la vapeur dans ces deux systèmes de moteurs.

On désigne sous le nom de *cylindrée* la quantité de vapeur introduite dans le cylindre pour une *simple* course du piston.

1° Détermination du travail dans les moteurs sans détente et sans condensation. — Dans le cylindre d'une locomobile,

où la vapeur agit à pleine pression pendant toute la course du piston, on détermine le travail d'après les facteurs suivants :

- Soit : P = pression de la vapeur ;
 P' = contre-pression ou pression atmosphérique empêchant la sortie de la vapeur par le tuyau d'échappement ;
 H = longueur du cylindre ou espace parcouru ;
 S = surface du piston sur laquelle agit la vapeur ;
 10330^{kg} = une atmosphère de pression par mètre carré.

Le travail de la vapeur sera de :

$$T = P \times S \times H.$$

Le travail de la contre-pression sera de :

$$T = P' \times S \times H. \text{ D'où;}$$

travail utile $T = P \times S \times H - P' \times S \times H$; ou en mettant en facteur commun:

$$T = S \times H (P - P') \text{ (1).}$$

D'un autre côté, $S \times H = V$, volume du cylindre; ceci permet de remplacer dans la formule (1) $S H$ par sa valeur :

$T = V (P - P')$ = travail pour une course de piston ou une cylindrée.

Si nous admettons qu'il y ait n coups de piston par minute, ou dans 60 secondes, le travail sera de :

$$T = V (P - P') n.$$

Et par seconde, il sera de :

$$T = \frac{V (P - P') n}{60}.$$

Pour avoir en chevaux-vapeur, on n'a qu'à diviser par 75, ou :

$$T = \frac{V (P - P') n}{60 \times 75} = x \text{ chevaux-vapeur (1).}$$

Exemple. — Quel est le travail développé, en une seconde, par de la vapeur arrivant à 6 atmosphères dans un cylindre, celui-ci ayant un rayon de 0^m,10, une longueur de 0^m,40, le piston travaille à 240 coups par minute ; la pression d'une atmosphère est de 10330 kilogr. par mètre carré.

(1) Expérimentalement, on détermine la pression P au cylindre, en employant l'indicateur de Watt.

Nous n'avons qu'à remplacer les lettres de la formule (2) par leur valeur :

$$T = \frac{0^m,10 \times 0^m,10 \times 3,14 \times 0^m,40 (61980 - 10330) \times 240}{60 \times 75}, \text{ ou}$$

$$T = \frac{0,01256 \times 51650 \times 240}{4500} = 34 \text{ chevaux-vapeur } 59.$$

Représentation graphique du travail de la vapeur agissant à pleine pression pendant toute la durée de la course du piston. —

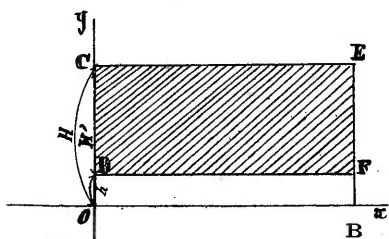


Fig. 104. — Représentation graphique du travail de la vapeur agissant à pleine pression pendant toute la durée de la course du piston.

On peut représenter, graphiquement, le travail de la vapeur agissant à pleine pression pendant toute la durée de la course du piston. Pour cela, on trace, perpendiculairement l'un à l'autre, deux axes ou coordonnées $o x$ et $o y$ (fig. 104). Sur l'axe $o x$, on mesure une longueur $O B$, proportionnelle à la course du piston ou à l'espace parcouru. Sur l'axe $o y$, on prend une longueur $O C$, proportionnelle à l'expression $P \times S$, et une deuxième longueur $O D$, proportionnelle à $P' \times S$. Par B , on mène une parallèle à $o y$ et, par C et D , deux parallèles à $o x$. On obtient trois rectangles : 1° $O C E B$; 2° $O D F B$; 3° $D C E F$. Le premier, ayant une hauteur H , exprime le travail total de la vapeur; le deuxième, de hauteur h , égale le travail de la contre-pression; et enfin le troisième, de hauteur H' , représente le travail effectif ou utile de la vapeur.

2° Travail dans les moteurs sans détente et à condensation.

— Pour obtenir l'équation du travail et sa représentation graphique dans cette catégorie de moteurs, il suffit de remplacer P' par P_0 ou pression au condenseur. On aura donc :

$$T = \frac{V (P - P_0) n}{60 \times 75} = x \text{ chevaux-vapeur.}$$

3° Travail dans les moteurs à détente et à condensation. —

Dans la détente, la vapeur n'arrive dans le cylindre que

pendant une partie de la course du piston. Désignons par h la longueur de cette période d'admission (fig. 105); par P , la pression de la vapeur à ce moment; par H , la longueur du cylindre; par S , la surface du piston, et par P' , la contre-pression. Divisons ensuite la longueur du cylindre correspondant à la période de détente en un nombre de parties aussi grand que possible, soient $e_1 e_2 e_3 \dots e_n$.

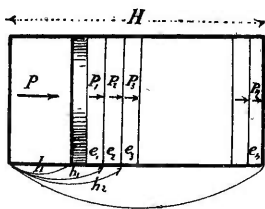


Fig. 105. — Détermination du travail d'un moteur à détente.

Ces parties correspondent à des pressions $P_1 P_2 P_3 \dots P_n$.

Le travail total ou *réel* de la vapeur peut être divisé en trois parties :

T_1 = travail de la vapeur pendant la période d'admission ;

T_2 = travail de la vapeur pendant la période de détente ;

T_3 = travail de la contre-pression. D'où

$$T \text{ travail total} = T_1 + T_2 + T_3.$$

Le *travail effectif* ne comprend que les deux premiers travaux, le travail T_3 de la contre-pression est négatif.

Le travail de la vapeur agissant, pendant la période d'admission, à pleine pression est égal à :

$$T_1 = P \times S \times h$$

Le travail de la détente est égal à :

$$T_2 = P_1 \times S \times e_1 + P_2 \times S \times e_2 + P_3 \times S \times e_3 \dots + P_n \times S \times e_n \quad (1)$$

Les quantités $h_1 h_2 h_3 \dots h_n$ représentent les longueurs totales des courses respectivement parcourues ; nous aurons, d'après la loi de Mariotte :

$$P h = P_1 h_1 = P_2 h_2 = P_3 h_3 = \dots P_n H.$$

• D'où l'on tire :

$$P_1 = \frac{P h}{h_1}, P_2 = \frac{P h}{h_2}, P_3 = \frac{P h}{h_3} \dots P_n = \frac{P h}{H}.$$

En remplaçant ces valeurs dans l'équation (1), on a :

$$T_2 = P S h \left(\frac{e_1}{h_1} + \frac{e_2}{h_2} + \frac{e_3}{h_3} + \dots \frac{e_n}{H} \right).$$

Or, la parenthèse est égale au logarithme hyperbolique de $\frac{H}{h}$, dont la base est 2,7182818.

Pour transformer ce logarithme en logarithme décimal ordinaire, on sait que le logarithme d'un nombre, dans un système dont la base est quelconque, est égal au logarithme dé-

cimal de ce nombre, divisé par le logarithme décimal de la base de ce système. On a alors :

$$\log. \text{ hyp. } \frac{H}{h} = \frac{\log. \frac{H}{h}}{\log. 2,7182818} = \frac{\log. \frac{H}{h}}{0,434294482} = 2,3026 \log. \frac{H}{h}$$

Ceci nous permet d'écrire :

$$T_2 = P S h \left(2,3026 \log. \frac{H}{h} \right).$$

Le travail développé par la contre-pression est égal à :

$$T_3 = P' S H.$$

Connaissant les trois facteurs, on peut écrire :

$$\text{Travail total } T = P S h + P S h \left(2,3026 \log. \frac{H}{h} \right) - P' S H.$$

Et en mettant $P S h$ en facteurs communs, il vient :

$$T = P S h \left(1 + 2,3026 \log. \frac{H}{h} - \frac{P' H}{P h} \right).$$

Comme $S h = V'$, c'est-à-dire le volume de la vapeur admise à pleine pression, on peut écrire :

$$T = P V' \left(1 + 2,3026 \log. \frac{H}{h} - \frac{P' H}{P h} \right).$$

Le rapport $\frac{H}{h}$ qui existe dans cette formule est toujours connu, le constructeur dit à l'acheteur que la détente du moteur est au $\frac{1}{3}$, au $\frac{1}{4}$, etc. Si nous faisons ce rapport $\frac{H}{h} = m$, le travail sera :

$$T = P V' \left(1 + 2,3026 \log. m - \frac{P' m}{P} \right),$$

ce qui représente le travail pour un coup de piston ; si on a n coups par minute, le travail par seconde sera en kilogram-mètres :

$$T = \frac{P V' n}{60} \left(1 + 2,3026 \log. m - \frac{P' m}{P} \right)$$

et pour rapporter au cheval-vapeur, on a :

$$T = \frac{P V' n}{60 \times 75} \left(1 + 2,3026 \log. m - \frac{P' m}{P} \right).$$

Cette formule générale permet de calculer le travail de la détente de la vapeur dans une machine munie d'un condenseur ou dans celle où l'échappement se fait à l'air. Dans le premier cas, P' est donné par un manomètre de pression placé sur le condenseur ; dans le deuxième cas, P' est représenté par la

pression atmosphérique, qui est de $1^k,0333$ par centimètre carré.

Ce qui est inconnu dans la formule précédente, ce sont les logarithmes de m ; voici ceux que l'on emploie le plus dans les détente de $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, etc.

$\frac{1}{m}$	m	log. m
$\frac{1}{10} = 10$		1
$\frac{2}{10} = 5$		0,6989700
$\frac{3}{10} = 3,333$		0,5228744
$\frac{4}{10} = 2,5$		0,3979400
$\frac{5}{10} = 2$		0,310300
$\frac{6}{10} = 1,666$		0,2218314
$\frac{7}{10} = 1,4285$		0,1548809
$\frac{8}{10} = 1,25$		0,0969100

Représentation graphique du travail de la vapeur agissant avec détente. — On peut représenter, graphiquement, le travail de la vapeur agissant avec détente. Pour cela, on trace deux axes $O X$ et $O Y$ (fig. 106), perpendiculaires l'un à l'autre. Sur l'axe

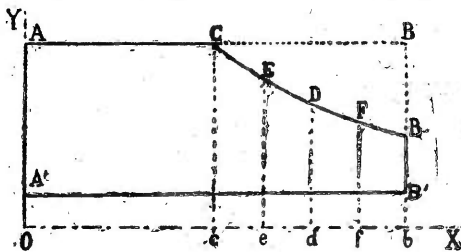


Fig. 106. — Représentation graphique du travail de la vapeur agissant avec détente.

$O X$, portons une longueur $O c$, égale ou proportionnelle à la course du piston pendant l'admission de la vapeur ; sur l'axe $O Y$, portons une longueur $O A$, proportionnelle à la hauteur

du cylindre, et tirons une parallèle à O X par le point A. Joignant ensuite les points *c* et C, nous obtenons un rectangle O A C *c*, représentant le travail de la vapeur pendant son admission. Si, dans notre exemple, nous supposons que la détente soit de $\frac{1}{2}$, O *c* sera la moitié de la course totale du piston ou O *b*. La distance *c b* nous représente le chemin parcouru par le piston pendant la détente. Partageons celle-ci en quatre parties égales *c e*, *e d*, *d f* et *f b* (on pourrait en faire plus), et par les points *c*, *e*, *d*, *f*, *b* élevons les perpendiculaires *c C*, *e E*, *d D*, *f F*, *b B*. Puis, portons sur ces lignes des longueurs proportionnelles aux pressions de la vapeur, c'est-à-dire aux $\frac{4}{5}, \frac{4}{6}, \frac{4}{7}, \frac{4}{8}$ de A O; nous obtenons ainsi les points C E D F B, qui, réunis entre eux, nous donnent une courbe C E D F B, limitant la surface *c C b B* ou travail de la vapeur pendant la détente. Cette surface peut se déterminer par la méthode de Simpson, ou :

$$\frac{l}{24} \left[C c + \frac{C c}{2} + 4 \left(\frac{4 C c}{5} + \frac{4 C c}{7} \right) + 2 \left(\frac{4 \times C c}{6} \right) \right]$$

$$= \frac{l \times C c}{24} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{16}{5} + \frac{16}{7} + \frac{4}{3} \right) = \frac{8,32}{24} l \times C c (1).$$

En ajoutant cette surface *c C B b* à O A C *c*, on aura le travail total T = de surface O A C B *b*. Pour avoir le travail moteur utilisable, il faut retrancher de cette surface le rectangle O A' B' *b*, représentant le travail de la contre-pression. D'où travail moteur T *m* = O A C B *b* — O A' B' *b* = A' A C B B'.

Méthodes expérimentales employées pour déterminer la puissance d'un moteur à vapeur

On arrive à mesurer la puissance d'un moteur à vapeur en employant différents appareils. Les méthodes sont différentes, suivant que l'on recherche le travail produit au cylindre ou le travail utilisable à l'arbre de couche.

Pour le cylindre, on fait les essais avec les *indicateurs*, dont le diagramme inscrit sert en même temps à analyser la distribution. Les calculs donnent la puissance en *chevaux-indiqués* ou *force nominale* du moteur.

Le travail utilisable se détermine au moyen de freins, et les calculs donnent la puissance en *chevaux utilisables*. Ce travail est toujours inférieur au premier, car le mécanisme absorbe

toujours une certaine quantité de travail, on l'estime à 0,75 ou 0,80 du travail indiqué.

Donc, quand on achète une machine, il faut tenir compte de ces deux valeurs, l'une est toujours plus grande que l'autre.

Les Anglais vendent généralement leurs machines en chevaux nominaux. Nous avons fait un chapitre spécial des essais des moteurs thermiques, auquel nous renvoyons le lecteur.

Étude des distributions au moyen des diagrammes

Si, théoriquement, on analyse la distribution de la vapeur au cylindre et son mode d'action, nous trouvons plusieurs cas :

1° La vapeur agit sans détente, sans avance à l'admission et à l'échappement, ou avec avance à l'admission et à l'échappement ;

2° La vapeur agit avec détente sans avance à l'admission et avec retard à l'échappement, ou avec avance à l'admission et à l'échappement.

Pour les deux premiers cas, prenons le tiroir à coquille ordinaire. Dans la figure 107, l'admission n'a son maximum

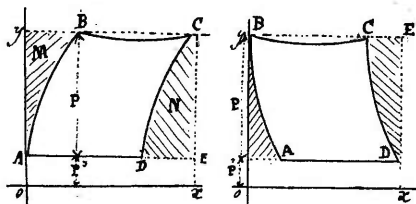


Fig. 107

Fig. 108

Diagrammes du travail de la vapeur à pleine pression.

de pression P qu'en B , mais, de B en C , le piston fuit plus vite que l'arrivée de la vapeur, de sorte que la pression donne une courbe. En C , commence l'échappement, mais la vapeur ne peut sortir instantanément, de sorte qu'on obtient une courbe $C D$ donnant le retard. Le diagramme se ferme par une ligne droite $A D$. Fermons le rectangle $o y C x$, nous obtiendrons tous les éléments du travail de la vapeur. La surface $A B C D$ représente le travail effectif transmis au piston; les surfaces $M N$ représentent les travaux négatifs avec retard à l'admission et à l'échappement; enfin, le rectangle $A E x o$ indique le travail de la contre-pression P' .

Si nous donnons de l'avance à l'admission et à l'échappe-

ment, le travail à pleine pression pourra être représenté par le diagramme de la figure 108.

La figure 109 représente le diagramme du travail de la vapeur sans avance à l'admission et à l'échappement. La vapeur commence à arriver au point A, sa pression augmente jusqu'en B, où elle est maximum; de B en C, la vapeur agit à pleine pression, mais comme le piston fuit plus vite que l'arrivée de la vapeur, on a une dépression. De C en D, la vapeur est interrompue, on a la courbe de détente. En D, commence l'échappement, qui se termine en E; de E en A, le diagramme se ferme par une ligne droite. Le travail réellement transmis au piston a pour expression la surface A B C D E. Les travaux négatifs sont A G B pour le retard à l'admission; E D F pour le retard à l'échappement; et A F x o pour la contre-pression P'.

Si on donne de l'avance à l'admission et à l'échappement (fig. 110), la surface A B C D E représente le travail effectif.

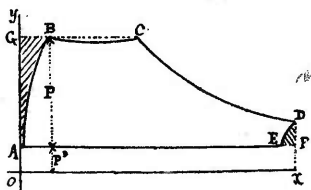


Fig. 109

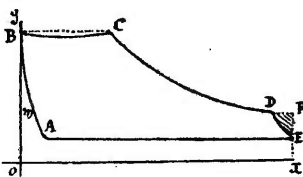


Fig. 110

Diagrammes du travail de la vapeur agissant avec détente.

On remarque que la contre-pression P' reste constante jusqu'au point A, lorsque le piston revient en arrière; mais, par suite de l'avance à l'admission, cette compression augmente rapidement pour atteindre en B une valeur égale à celle de la pression de la vapeur arrivant du générateur.

C'est au moyen de l'indicateur de Watt que l'on peut étudier les imperfections des distributions sur le diagramme inscrit par le crayon. En général, il faut employer de grandes détente, mais celles-ci nécessitent des cylindres plus longs et les machines sont à petite vitesse.

Avantages de l'emploi de la vapeur à haute pression

Les anciennes machines à vapeur étaient à basse pression; aujourd'hui, on emploie des pressions de 5, 6, 7, 8, 10, 12 jusqu'à 15 atmosphères. Il y a avantage, en effet, à produire de la vapeur à de hautes pressions, car la dépense de chaleur est

proportionnellement moins élevée au fur et à mesure que la pression augmente, comme l'indique le tableau ci-dessous :

TEMPÉRATURE	PRESSION en atmosphères	DÉPENSE de chaleur en calories	POIDS du mètre cube de vapeur
100°	1	637	0,607
121	2	643	1.167
134	3	647	1.708
144	4	650	2 237
152	5	653	2 757
159	6	655	3.270
165	7	657	3 776
170	8	658	4.277

Le rendement thermique d'une machine s'obtient avec la formule suivante :

$$T = \frac{t_1 - t_0}{273 + t_1},$$

dans laquelle t_1 indique la température de la vapeur, t_0 celle qu'elle possède à l'échappement, 273 étant le *zéro absolu*, à partir duquel sont comptées les *températures absolues*.

Les machines à vapeur les meilleures n'ont pas un rendement thermique dépassant 20 o/o, c'est-à-dire qu'il n'est utilisé à la production du travail que 0,6 de la chaleur dépensée au foyer.

Le rendement théorique donne 0,25. En général, le rendement pratique n'est guère que de 14 o/o. Ainsi donc, sur 8000 calories fournies par 1 kilogr. de houille, la machine n'en utilise que $8000 \times 0,14 = 1120$ calories.

L'équivalent mécanique de la calorie étant de 425 kgm., on pourra recueillir un travail de $425 \times 1120 = 476000$ kgm.

Donc, pour 270000 kgm., travail correspondant à un cheval-heure, la dépense en combustible sera de $\frac{270000}{476000} = 0$ kil. 56 de houille. Les grandes machines n'arrivent à dépenser que 0 kil. 850 de houille.

Le rendement théorique est modifié par l'eau entraînée au cylindre, par les espaces nuisibles, par la condensation de la vapeur dans le tuyau d'amenée et dans le cylindre.

Si nous comparons deux machines au point de vue de la pression de la vapeur qu'elles utilisent, et en employant la

formule du rendement, nous voyons que celles à hautes pressions ont l'avantage sur celles à basses pressions.

Prenons deux machines parfaites sans condensation, l'une emploie la vapeur à 10 atmosphères ou 180°, l'autre à 3 atmosphères 6 ou à 140°, les rendements théoriques seront:

$$\frac{180 - 100}{273 + 180} = 0,176$$

et $\frac{140 - 100}{273 + 140} = 0,097$

soit une différence de 40 o/o en faveur de la première. Comme conclusion, on peut dire qu'il y a avantage à augmenter la pression dans les chaudières.

Vapeur saturée et vapeur surchauffée. — On entend par *vapeur saturée* un gaz qui est dans un état d'équilibre interne et externe tel qu'on ne peut, sous une pression donnée, lui enlever du calorique sans qu'une portion passe à l'état liquide. Sous 1 atmosphère, la vapeur renferme 637 calories.

La vapeur est dite *surchauffée* quand on peut lui soustraire de la chaleur sans la liquéfier. Enfin, la vapeur saturée, soumise à une pression constante, se condense sans changer de température lorsqu'on lui enlève de la chaleur; au contraire, de la vapeur surchauffée baisse en température lorsqu'on lui enlève de la chaleur. Prenons un exemple: Pour élever 1 kil. d'eau à 100°, il faut 637 calories; pour produire 1 kil. de vapeur à 152°2 (5 atmosphères), il faut, d'après la formule de Regnault, $(606,5 + 0,305 \times 152,2 = 652,9$ calories. La différence est de 15 calories 9, lesquelles surchauffent la vapeur de $\frac{15,9}{0,48} = 33^\circ$ environ, le coefficient 0,48 étant la chaleur spécifique de la vapeur d'eau surchauffée. Ainsi, notre vapeur à 1 atmosphère sera à la température de 133°.

Le surchauffeur *Uhler* a donné, dans ces dernières années, dans les grandes installations, 22,11 à 25,85 o/o d'économie en houille.

ORGANES DE TRANSFORMATION DU MOUVEMENT

Ces organes sont chargés de transformer le mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu. Dans le *moteur horizontal*, qui est le plus généralement employé dans les machines agricoles, soit séparé de la chaudière, soit placé sur celle-ci, les organes servant à la transformation du mouvement sont :

- 1° Un coulisseau ;
- 2° Des guides ;
- 3° Une bielle ;
- 4° Une manivelle ;
- 5° Un arbre moteur ;
- 6° Des poulies.

Le *coulisseau*, appelé encore *croisse*, *tête de la tige du piston*, est une pièce glissante, servant à réunir la tige du piston à la bielle. Il est formé ordinairement d'une pièce cubique en acier, dont les deux faces glissantes sont bien polies pour diminuer le frottement ; l'une des extrémités est clavetée sur la tige du piston, tandis que l'autre est articulée à la bielle. Quelquefois, le coulisseau est percé d'une ouverture rectangulaire, dans laquelle passe une glissière. Les moteurs à bâti américain ont généralement un coulisseau circulaire, glissant dans un fourneau à large surface.

Les *guides* ou *glissières* sont des surfaces planes sur lesquelles glisse le coulisseau et le dirigent dans son mouvement rectiligne alternatif. Elles doivent être planes et très polies, et présenter des rainures dans lesquelles circule l'huile destinée à diminuer le frottement. Leur forme est très variable ; dans beaucoup de cas, on trouve quatre glissières assemblées deux à deux et superposées ; dans d'autres, la glissière est unique ; enfin, on peut rencontrer une table en acier dans laquelle est creusée une coulisse en T, dans laquelle s'engage le coulisseau. Sur les glissières se placent des graisseurs.

La *bielle* relie le coulisseau à la manivelle de l'arbre moteur ; elle est formée d'une tige en fer forgé ou en acier, terminée à ses extrémités par deux têtes munies de coussinets en bronze. L'une est dite *petite tête de bielle* et s'attache au coulisseau ; l'autre est dite *grosse tête de bielle* (fig. 111). La partie D est évidée et contient deux coussinets A, traversés par la manivelle ; le serrage est obtenu par un coin C, poussé par la vis à têtes B.

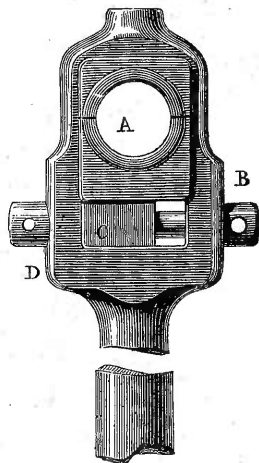


Fig. 111. — Tête de bielle motrice.

La section de la bielle est ordinairement ronde, d'un diamètre plus grand dans son milieu ; elle peut être aussi pris-

matique. La longueur doit être de 4 à 6 fois celle de la tige du piston.

La *manivelle* est la pièce du mécanisme chargée de transformer, en mouvement circulaire continu, le mouvement rectiligne alternatif de la bielle. Le point de réunion de ces deux pièces porte le nom de *bouton de manivelle*. Celui-ci est tantôt formé par une petite tige de fer rivée à un *plateau-manivelle*, tantôt c'est un *vilebrequin* formé par un coude de l'arbre moteur. Le centre de rotation de la manivelle décrit une circonférence dont le diamètre doit être égal à la longueur de la course du piston. Si on désigne ce diamètre par L , la longueur l de la manivelle sera égale à $\frac{L}{2}$ ou $2l = L$.

La manivelle communique à la tige du piston un mouvement uniformément varié.

L'*arbre moteur* ou *arbre de couche*, sur lequel est calée la manivelle, est destiné à transmettre un mouvement de rotation aux différents appareils de l'usine, par l'intermédiaire de poulies et d'arbres secondaires que l'on peut comparer à des organes de liaison. On fait les arbres de couche en fer forgé ou en acier, à section circulaire, ils reposent par leurs extrémités sur deux tourillons, tournant dans des paliers munis de coussinets en bronze. A chaque tourillon, se trouvent des écrous de serrage, pour diminuer le jeu produit par l'usure, et un graisseur.

Les *poulies* sont chargées de transmettre aux différents appareils, par l'intermédiaire de courroies, le mouvement circulaire de l'arbre de couche. Elles sont clavetées aux extrémités de ce dernier, et leur jante est bombée de façon à donner de la stabilité à la courroie de commande. Très souvent, les poulies servent de volant pour régulariser la marche.

APPAREILS DE RÉGULARISATION DU MOUVEMENT DANS UN MOTEUR

Dans un moteur quelconque de machine à vapeur, il se produit dans la marche des variations de vitesse de deux sortes :

Les premières proviennent du mécanisme lui-même, dont l'arbre moteur présente à chaque rotation deux points morts, pendant lesquels l'effort transmis est nul. Pour parer à cet inconvénient, on emploie des *volants*.

Les deuxièmes sont dues à des variations de résistance ou de puissance pendant le travail ; on emploie, pour régulariser la marche, des *régulateurs*.

a) VOLANTS. — Le volant est une roue en fonte, dont la jante est formée par un anneau épais et très lourd, réuni au moyeu par des bras. Il peut être coulé d'une ou plusieurs pièces. On le cale sur l'une des extrémités de l'arbre de couche et entre deux paliers. Comme son diamètre peut être de plusieurs mètres, on est obligé de creuser, pour installer les machines fixes, un canal maçonné, dans lequel il tourne. Les moteurs des machines demi-fixes et des locomobiles sont pourvus de *poulies-volants*, ainsi appelées parce qu'elles servent d'organes de régularisation et de transmission. Leur diamètre est compris ordinairement entre 1 m. 10 à 1 m. 30, et sont à jante bombée.

Le but du volant est d'emmagasiner une certaine quantité de travail ou puissance vive $\frac{(M V^2)}{2}$, pour le restituer en-

suite au moment des points morts. Pendant la marche du moteur, la résistance Q est toujours constante, tandis que la puissance P est variable. Nous avons vu, en effet, que la manivelle et la bielle formaient des angles variant de 0 à 90 degrés. A chaque angle correspond un bras de levier plus ou moins long, entraînant un travail qui croît en raison directe de ce bras de levier. Le travail est égal à zéro lorsque la bielle et la manivelle sont en ligne droite ; il est maximum lorsqu'elles sont placées suivant un angle de 90 degrés. Pour que la marche soit régulière, il faut que le volant emmagasine, pendant l'accroissement de l'angle de 0 à 90°, une quantité de travail pour le restituer au moment de la décroissance de l'angle de 90° à zéro degré. Pour un tour de l'arbre moteur ou pour 360°, il y a donc quatre phases, dont deux où la puissance est supérieure à la résistance, et deux dans lesquelles la résistance est supérieure à la puissance.

On détermine, pour chaque machine, le poids des volants d'après la formule suivante :

$$P = \frac{T g n}{V^2},$$

dans laquelle P indique le poids de la jante ; n, l'écart des variations de vitesse dans lesquelles on doit rester : il faut que la plus grande vitesse ne s'écarte pas de la plus petite au delà de 1/25. T représente la quantité de travail que le volant doit emmagasiner et restituer à chaque tour ; g, l'accélération, valant à Paris 9,8088 ; V, la vitesse moyenne.

Les volants sont surtout utiles dans les machines fixes et à grande vitesse.

b) RÉGULATEURS. — Nous avons vu que le rôle du volant est de diminuer les variations de vitesse périodiques dans la rotation de l'arbre moteur. Si le travail moteur Tm et le travail résistant Tr étaient égaux constamment, le volant seul suffirait pour régulariser la marche. Mais il arrive que ces deux quantités varient presque à chaque instant ; tantôt c'est le travail moteur Tm qui devient plus grand que le travail résistant Tr , tantôt c'est le contraire. Ceci tient à l'irrégularité de la résistance qu'offrent les machines mises en mouvement. Il s'ensuit que s'il n'y avait pas un appareil spécial appelé *régulateur*, destiné à augmenter ou à diminuer l'arrivée de la vapeur dans le cylindre, la marche serait très irrégulière : à certains moments, la vitesse serait trop grande, à d'autres, elle serait trop faible.

Le but du régulateur est donc de rétablir l'équilibre à chaque instant entre Tm et Tr , en ouvrant ou en fermant une vanne de distribution ou papillon placé sur le tuyau d'amenée de la vapeur.

L'invention des régulateurs est due à Watt.

Régulateur ou modérateur de Watt. — Ce régulateur est encore appelé *régulateur à boules*, *pendule conique* ; son principe est basé sur l'action de la force centrifuge. Il se compose (fig. 112) d'un arbre vertical h , mis en mouvement par les

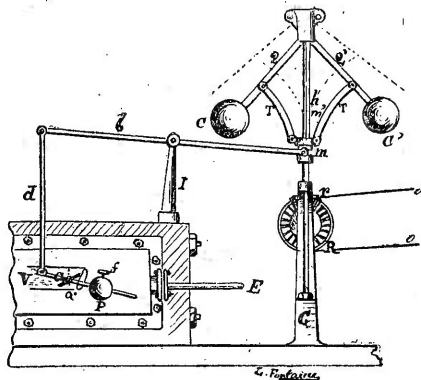


Fig. 112.— Régulateur centrifuge (système Brouhot).

engrenages coniques r et R et une courroie o , reliée à une poulie calée sur l'arbre de couche. La partie G est fixée au bâti du moteur et sert de support à l'ensemble. En Q et Q' se trouvent deux tiges d'égale longueur, terminées par les boules C C' de poids semblable. Ces tiges sont articulées à deux

bielles T et T', fixées à un manchon inférieur m muni d'une gorge et pouvant glisser dans un sens vertical sur h . L'ensemble forme un losange à pièces articulées, permettant d'éloigner ou de rapprocher les boules C C' quand le manchon m monte ou descend. Un levier b , terminé par une mâchoire et oscillant sur le support I, peut suivre les mouvements d'élévation et d'abaissement du manchon m . Il transmet les déplacements à d et à un autre levier horizontal muni du papillon a , logé dans le tuyau de vapeur V, et d'un contre-poids P. Voici le mécanisme de la marche.

Au départ, les boules C C' sont appliquées le long de l'axe h et le papillon a est complètement ouvert, la vapeur arrive à plein tuyau. En tournant, la force centrifuge éloigne les boules, lesquelles soulèvent le manchon m . La mâchoire du levier b est également entraînée et tout l'ensemble oscille, venant fermer plus ou moins le tuyau V. Lorsque le moteur est arrivé à sa vitesse normale, la position reste stationnaire. Mais si cette vitesse augmente, la force centrifuge devient plus grande et fait écarter davantage les boules, m passe en m' , et le papillon a en a' , interceptant complètement l'arrivée de la vapeur. Le travail diminuant au cylindre, la vitesse de rotation diminue également et l'ensemble du pendule redescend. Si, au contraire, la vitesse de régime vient à diminuer brusquement par suite de résistances plus grandes à vaincre, les boules C et C' se rapprochent par leur propre poids et font descendre le manchon m qui fait ouvrir la valve a , la vapeur arrive en plus grande quantité et la vitesse remonte.

Le régulateur de Watt n'est qu'un *modérateur* de vitesse, il y a toujours des oscillations. Pour avoir des moteurs de vitesse constante et à puissance variable, il faut employer des régulateurs à *mouvement isochrone*, dont nous allons donner quelques exemples.

Régulateur Farcot. — Il est encore appelé *régulateur à bras et bielles croisées* et à *deux centres d'oscillation*, les bras portant les boules se déplacent sur une courbure parabolique, ce qui permet de maintenir chez le moteur une vitesse de rotation constante, la force étant variable.

Régulateur Andrade. — Le régulateur centrifuge *Andrade* comprend (fig. 113) un axe de rotation OP, auquel sont suspendus deux leviers à boules L L'. Au centre se trouve un losange articulé $c a c' b$; le point a est fixe, le point b peut se mouvoir verticalement sur l'axe du régulateur, et les points

c c' glissent à frottement doux à l'intérieur de deux rainures pratiquées dans les branches des leviers à boules :

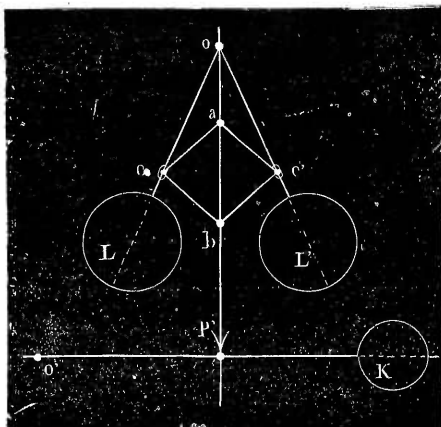


Fig. 113. — Principe du régulateur Andrade.

Un levier horizontal, ayant son centre d'oscillation en o' et un manchon mobile en P, suit les mouvements des boules; un contre-poids K sert à régler la vitesse de régime que l'on veut obtenir, il suffit de le déplacer pour obtenir une vitesse différente.

Ce régulateur est isochrone et très simple, comme l'indique la figure d'ensemble 114. Dans les grandes machines, on lui

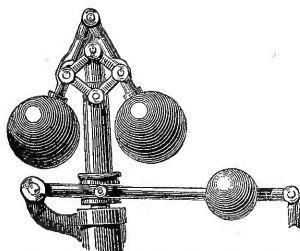


Fig. 114 — Vue d'ensemble d'un régulateur Andrade.

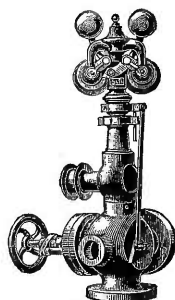


Fig. 115. — Régulateur Buss.

adjoint un *régulateur hydraulique*, pour éviter les transitions brusques dans les écarts de vitesse.

Régulateur Buss. — Ce régulateur est construit par MM. Schaeffer et Budenberg (Paris). Il se compose (fig. 115) de

deux bras tournés vers le haut et terminés par des boules métalliques. Ces bras sont portés, en dessous, par deux rouleaux articulés au manchon commandant le levier de la soupape. Lorsque les boules s'écartent, elles font monter le manchon et les rouleaux, ces derniers tournent d'une petite quantité. On adapte souvent une soupape équilibrée donnant plus ou moins de vapeur au cylindre. Ce régulateur est très sensible.

APPAREILS DE GRAISSAGE DU MOTEUR

Pour diminuer les frottements des organes du moteur et pour éviter leur usure rapide, on emploie des corps gras, soit des huiles, soit des graisses consistantes renfermées dans des graisseurs.

On distingue dans ces appareils deux catégories :

1° Les *graisseurs ordinaires*, dans lesquels le graissage s'effectue à la main d'une façon intermittente ;

2° Les *graisseurs automatiques*, qui fonctionnent mécaniquement et d'une façon continue.

Parmi les graisseurs à huile, on en distingue plusieurs espèces ; la figure 116 indique un graisseur à vis en verre tra-

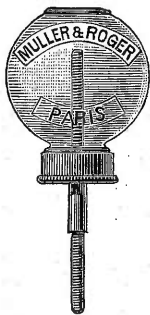


Fig. 116. — Graisseur à vis
(Muller et Roger).



Fig. 117. — Graisseur Rous.

versé par une tige filetée que l'huile suit, on l'emploie pour les paliers.

La figure 117 montre un graisseur à godet en bronze du système Rous. Dans le système de la figure 118, le godet est en verre et traversé par une tige centrale réglant la sortie de

l'huile, latéralement se trouve un compte-goutte; l'huile sort goutte à goutte. Dans les graisseurs à graisse consistante (fig. 119), le godet est cylindrique, le chapeau se visse, et au-dessus de la graisse se trouve un piston pesant qui, par

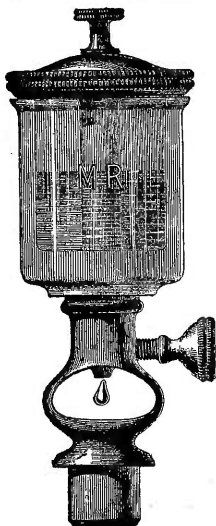


Fig. 118. — Graisseur à goutte visible.

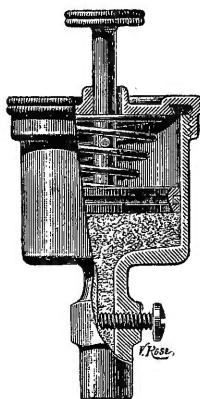


Fig. 119. — Graisseur à graisse consistante.

son poids, ou par l'action d'un ressort à boudin, la fait descendre aux coussinets. Une vis à tête obstrue plus ou moins le passage.

Les cylindres à vapeur sont munis de graisseurs automatiques, dont le système le plus simple comprend un godet muni de deux robinets. L'inférieur sert à admettre l'huile pour graisser la vapeur et lubrifier les organes du tiroir et de la détente.

Certains modèles sont très compliqués, les uns sont à piston, les autres à pression hydraulique, ils graissent la vapeur avant son arrivée au cylindre.

ÉTUDE DES DIFFÉRENTS MOTEURS A VAPEUR

Classification des moteurs à vapeur. — La classification rationnelle des moteurs peut se faire d'après la présence ou l'absence du condenseur et de la détente.

On peut avoir alors quatre classes de moteurs :

- 1° Moteurs sans condensation et sans détente ;
- 2° Moteurs à condensation sans détente ;
- 3° Moteurs sans condensation et à détente ;
- 4° Moteurs à condensation et à détente.

Comparaison des moteurs au point de vue du travail fourni. — Si nous comparons la quantité de travail effectif disponible sur l'arbre de couche que fournit 1 kil. de combustible dans les quatre classes de moteurs, nous voyons qu'il est variable. Sur un axe OX (fig. 120), portons des longueurs 01, 02, 03, 04,..... proportionnelles à des pressions de 1, 2, 3,

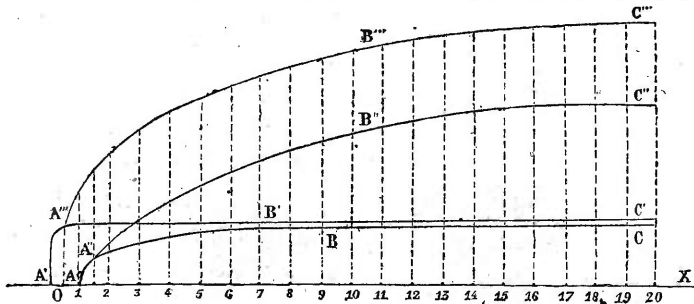


Fig. 120. — Graphique représentant l'effet utile de la vapeur dans les différents systèmes de moteurs.

4..... 20 atmosphères. A ces points, élevons des ordonnées et portons, à la même échelle, des hauteurs représentant les travaux correspondants. Nous obtiendrons ainsi quatre courbes :

- ABC pour les machines sans détente et sans condensation ;
- A'B'C' pour les machines sans détente et à condensation ;
- A''B''C'' pour les machines à détente sans condensation ;
- A'''B'''C''' pour les machines à détente et à condensation.

1° La courbe A B C montre que dans les machines sans détente et sans condensation, l'effet utile croît assez régulièrement jusqu'à 8 ou 10 atmosphères ; au delà, il n'augmente pas, malgré l'élevation de pression. Nos locomobiles peuvent donc employer la vapeur à ces pressions et avec profit.

2° Dans les moteurs sans détente et à condensation A'B'C', l'effet utile croît très rapidement jusqu'à 1 atmosphère 1/4 ou 1 atmosphère 1/2 ; cet effet reste stationnaire jusqu'à des pressions de 20 atmosphères. Pour ces moteurs, il faut des chaudières à basse pression.

3° La courbe A'' B'' C'' montre que dans les moteurs à détente et sans condensation, l'effet utile croît régulièrement jusqu'à 8 atmosphères.

4° De même A" B" C" nous montre que l'effet utile croît dans les moteurs à détente et à condensation régulièrement jusqu'à 8 atmosphères.

Il suffit de jeter un simple coup d'œil sur les courbes précédentes, pour voir que les ordonnées représentant l'effet produit par la vapeur agissant avec détente et condensée ensuite sont beaucoup plus grandes que dans les trois autres cas. Puis viennent celles où la vapeur agit avec détente et sans condensation. C'est à ces deux groupes de moteurs que devront recourir les installations d'usines agricoles, surtout à la première si l'eau est en quantité suffisante.

Dans nos locomobiles de la force de 8 à 10 chevaux, il est donc absolument économique d'employer la détente (Meyer, Farcot, Compound). Au-dessous de cette force, on ne l'applique généralement pas, la petite locomobile étant surtout appelée à être dirigée par de simples employés de la ferme, peu familiarisés à des mécanismes compliqués.

Au point de vue de la disposition du bâti, on distingue :

- 1° Les moteurs horizontaux ;
- 2° Les moteurs verticaux.

A.— MOTEURS A VAPEUR HORIZONTAUX FIXES

Les moteurs horizontaux sont généralement les plus répan-

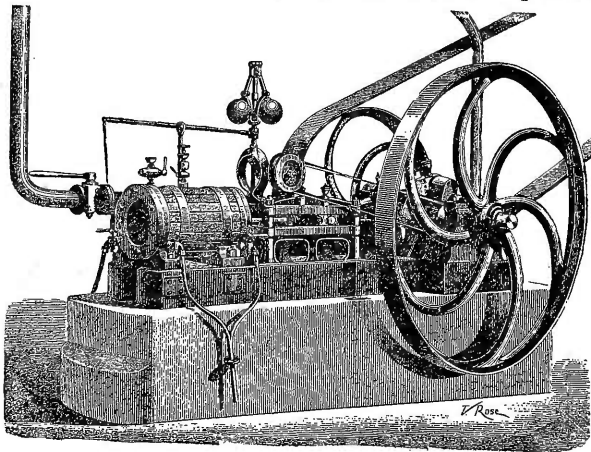


Fig. 121. — Moteur horizontal Brouhot (Vierzon).

pus, seulement ils demandent une large assise pour les fixer. Leur forme est très variable suivant qu'ils sont à détente et à

condenseur, ou qu'ils sont dépourvus de ces deux appareils. Nous passerons en revue certains types.

Moteur Brouhot. — Le moteur Brouhot (fig. 121) est un de ceux que l'on emploie fréquemment pour les forces de 8 à 15 chevaux. Il se compose d'une assise en maçonnerie de 0 m. 50 de haut environ, sur laquelle est boulonné un bâti en fonte, très solide, muni à l'avant de chaises où repose l'arbre de couche.

Le cylindre est, à une extrémité, muni d'une détente et d'un régulateur centrifuge ; il est entouré d'une enveloppe de bois dur. Le coulisseau se meut entre 4 glissières munies de graisseurs.

L'arbre de couche fait environ 80 tours par minute et porte à ses deux extrémités deux volants, dont l'un porte la courroie de commande. Le tuyau qui amène la vapeur au cylindre est muni d'un robinet distributeur du type à *boisseau*. La vapeur, après avoir agi sur le piston, s'échappe dans l'atmosphère par un tuyau vertical. Le cylindre est muni de deux purgeurs, dont le tuyau d'échappement vient rejeter l'eau de condensation au dehors au moment de la mise en marche.

Le mouvement de ce moteur est très doux et sa conduite en est facile, car tous les organes sont sous la main du mécanicien.

Moteurs Compound. — Dans les moteurs du type représenté par la figure 122, le bâti porte à un bout les deux cylin-

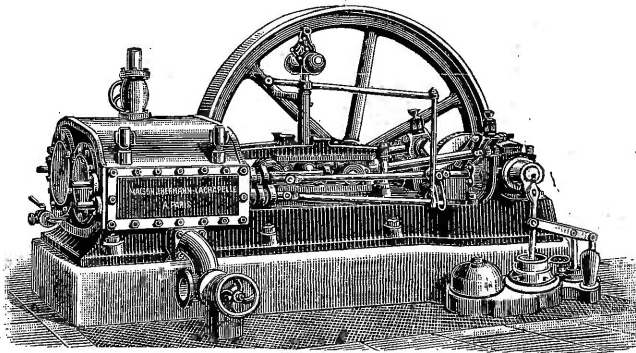


Fig. 122. — Moteur Compound (Hermann-Lachapelle).

dres. La vapeur, après avoir agi par détente, passe dans un réservoir intermédiaire, puis, de là, au grand cylindre, où elle se détend à nouveau. Les manivelles sont calées à 90° sur

l'arbre de couche. La détente peut être commandée à la main ou par le régulateur. L'échappement se fait à l'air ou dans un condenseur vertical, comme l'indique la figure 122. On construit de ces moteurs à partir de la force de 15 chevaux jusqu'à 200 chevaux ; la dépense de charbon n'est guère que de 850 gr. par cheval et par heure pour des puissances élevées.

Moteurs à bâti américain. — Le bâti, dans ces moteurs, est dit à *baïonnette*.

Il se compose (fig. 123) d'une pièce en fonte allongée, repo-

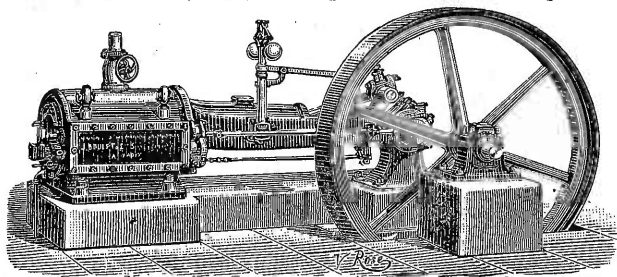


Fig. 123. — Moteur horizontal à bâti américain.

sant par ses extrémités sur deux supports boulonnés à un massif en maçonnerie. L'arrière de ce bâti porte le cylindre, et l'avant sert de palier. La glissière est cylindrique et fait corps avec le bâti. L'arbre moteur et le volant en fonte.

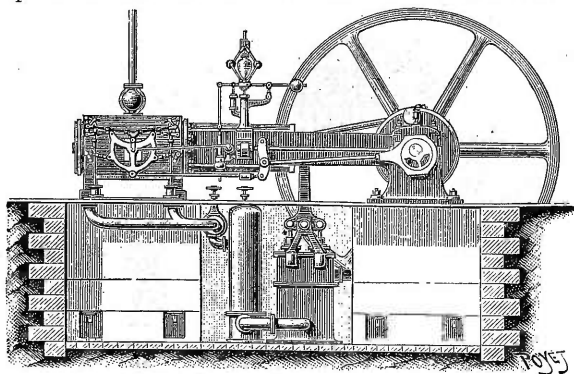


Fig. 124. — Moteur Weyher et Richemond.

reposent sur deux paliers, dont l'un est indépendant du reste de la machine. Une niche reçoit la partie inférieure du volant, ce qui diminue la maçonnerie. Pour des forces de 10 chevaux et au-dessus, le bâti américain convient parfaitement.

La figure 124 représente la coupe d'un moteur Weyher et Richmond, avec distribution à 4 tiroirs. La commande de ceux-ci se fait par une plaque évidée reliée à un excentrique ; les variations de vitesse sont compensées par un régulateur Denis. En dessous du bâti est logé le condenseur du type vertical, avec double pompe à air.

En résumé, les moteurs à bâti horizontal ont une très grande stabilité, mais ils ont l'inconvénient d'occuper une large surface d'emplacement.

B.— MOTEURS A VAPEUR VERTICAUX FIXES

Les moteurs à bâti vertical sont surtout employés dans les installations où l'on dispose de peu de place. Ordinairement, le cylindre à vapeur est placé au-dessus du bâti, on a alors

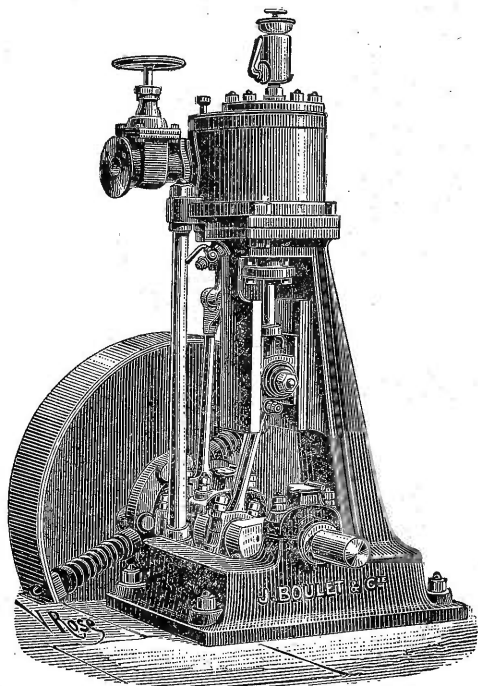


Fig. 125. — Moteur à pilon.

des *moteurs à pilon*. La figure 125 représente le système Hermann-Lachapelle.

Il se compose d'une semelle scellée à un massif en maçon-

nerie, d'une seule pièce venue de fonte ; avec elle s'élève une colonne portant à sa partie supérieure le cylindre à vapeur. L'avant du bâti est soutenu par un montant. La colonne forme glissière, où se meut le coulisseau de la tête de bielle. Cette disposition permet d'avoir sur un espace restreint une force de 4 à 25 chevaux.

La figure 126 représente un moteur à pilon *Compound* à con-

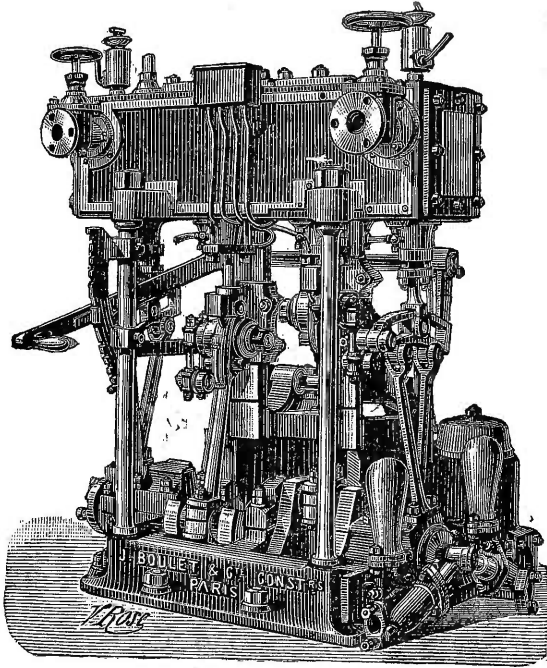


Fig. 126.— Moteur *Compound* à condensation.

densation, se construisant depuis 20 chevaux jusqu'à 300. On construit également sur le même type des machines à triple expansion. Chaque cylindre est pourvu d'une coulisse de changement de marche et de pompes alimentaires. Ce genre de moteur peut faire 225 à 350 tours par minute.

Moteurs à pilon à grande vitesse. — C'est en employant la disposition à pilon qu'on est parvenu à obtenir des moteurs à *grande vitesse*, faisant jusqu'à 500 tours par minute. Ils sont utilisés pour la commande directe de certains appareils, tels que : dynamos, pompes centrifuges, etc., ou pour sup-

primer les transmissions, toujours encombrantes et absorbant du travail.

Le système Westinghouse, vendu en France par M. Pierson (Paris), est très répandu. Il se compose (fig. 127 et 128) de

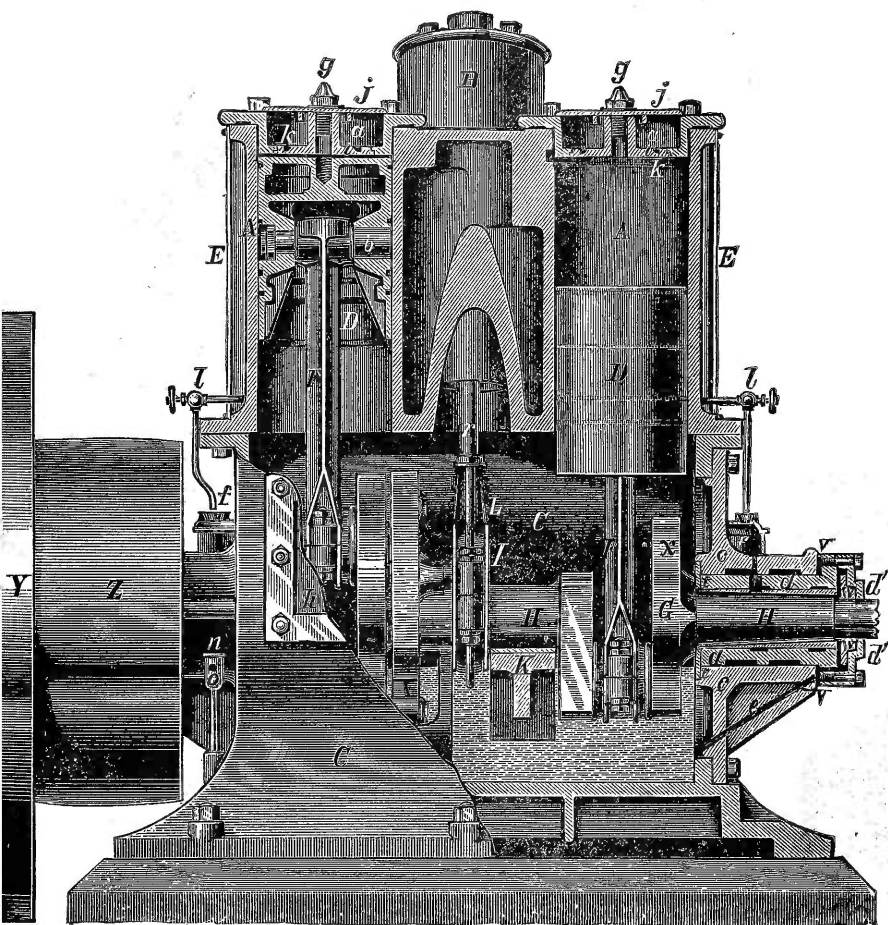


Fig. 127. — Coupe verticale par l'arbre du moteur,

deux cylindres verticaux A A boulonnés au-dessus de l'arbre moteur H. Les deux manivelles G G sont calées à 180° et reliées au piston D D par les bielles F F, dont les tourillons *b* sont fixés à l'intérieur des pistons. Cette disposition évite les glissières, car les pistons ont une longue portée pour guider

et empêcher l'ovalisation des cylindres. Une boîte à vapeur B, placée entre les deux cylindres, est munie d'un tiroir creux V, muni d'obturateurs pour ouvrir les orifices d'admission et

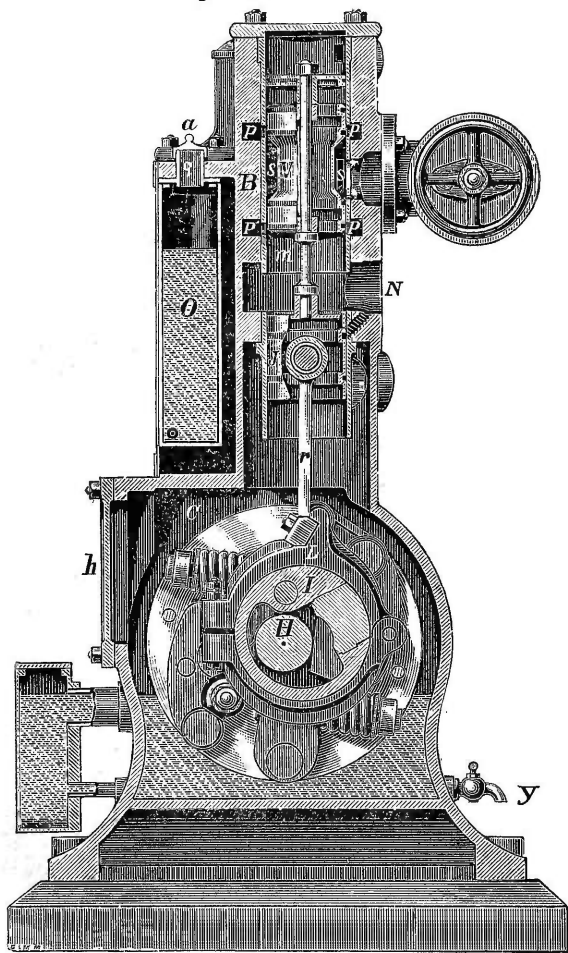


Fig. 128. — Coupe verticale par l'axe du tiroir.

d'échappement P P'; il est commandé par l'excentrique I. La vapeur arrive par S S; après avoir agi sur le dessus des pistons, elle s'échappe par le tuyau N. Les bielles sont toujours soumises à des efforts de compression; celle qui reçoit l'action de la vapeur est poussée vers le bas, tandis que l'autre

est poussée vers le haut par l'arbre moteur. Donc, les cylindres de ce moteur sont à simple effet.

Tout l'ensemble du mécanisme est renfermé dans un bâti creux C ; seules, les extrémités de l'arbre H portant la poulie Z et les volants Y sont à l'extérieur.

En O, se trouve un réservoir d'huile qui s'écoule, par les tuyaux l, sur les paliers d, et, après les avoir lubrifiés, descend, soit directement, soit par le canal e, dans le bas du bâti, qui doit être en partie rempli d'eau. Les manivelles et l'excentrique trempent ainsi dans un bain d'huile qu'ils projettent sur toutes les parties de la machine. Lorsque l'eau devient abondante, un siphon n l'extrait.

Un régulateur, muni de deux masses pesantes, règle l'admission de la vapeur. La pression doit être de 6 kil. et la consommation en charbon est de 1^k,8 à 2 kil. par cheval-heure.

Ces moteurs occupent peu de place ; pour une force de 5 chevaux, la vitesse est de 500 tours et le prix est de 1.825. fr. ; pour 25 chevaux, la vitesse est de 475 tours et le prix de 3.400 fr.

Conduite et entretien d'un moteur. — Lorsque le feu est allumé dans la chaudière et qu'il est bien en train, le mécanicien doit visiter le moteur dans tous ses détails. En premier lieu, il doit jeter un coup d'œil sur les pièces qui sont susceptibles de prendre du jeu (bielles, coussinets, etc.) et serrer, s'il y a lieu, les écrous. Dans le cas où les mouvements sont durs, il donnera du jeu, afin de diminuer le frottement et l'usure des pièces.

Ceci fait, il passe au graissage des pièces frottantes, en introduisant dans les graisseurs, ou dans les ouvertures pratiquées à cet effet, de la graisse ou de l'huile.

Les huiles et graisses minérales sont les produits les plus recommandables pour le graissage des machines. On emploie très souvent de la néoline, de l'huile de pied de bœuf, de l'huile d'olive, des graisses consistantes solidifiées, etc. Il faut surtout proscrire les produits acides mal épurés, qui corrodent les pièces.

Le condenseur, quand il y en a un, doit être visité minutieusement dans ses joints, afin d'éviter les fuites. Les clapets de sa pompe à air doivent être nettoyés de temps à autre pour assurer l'extraction de l'eau ayant servi à la condensation. Enfin, avant de mettre en marche, il est bon que le mécanicien fasse tourner à la main le volant du moteur, pour voir que tout fonctionne bien.

La mise en marche d'un moteur simple, à échappement libre, se fait de la façon suivante :

Le mécanicien, après avoir amené à la main la bielle et la manivelle suivant un angle de 90 degrés et ouvert les purgeurs du cylindre, tourne lentement le volant de la prise de vapeur, de façon à laisser pénétrer celle-ci peu à peu dans le cylindre. La machine se met en marche d'abord lentement, rejetant au dehors l'eau de condensation provenant du cylindre. Peu à peu, il augmente l'admission, et le moteur atteint bientôt sa vitesse de régime ; il ferme alors les purgeurs.

Lorsque le moteur est à condenseur, le mécanicien ne doit pas oublier d'ouvrir la prise d'eau destinée à condenser la vapeur ; cette eau ne doit jamais dépasser la température de 40° C., et le vide doit osciller entre 31^{mm},5 et 54^{mm},9 de mercure.

Pendant la marche, le mécanicien n'a plus à s'occuper que de l'alimentation de la chaudière, du graissage, de la vitesse, etc.

L'arrêt se fait en sens contraire de la mise en marche ; la prise de vapeur est fermée ainsi que le tuyau d'injection de l'eau au condenseur, afin d'éviter les retours d'eau au cylindre, chose qui aurait surtout de très graves inconvénients si l'eau est en charge.

Le mécanicien doit profiter des arrêts pour graisser complètement sa machine, comme nous l'avons dit plus haut, et pour nettoyer soigneusement toutes les parties frottantes. On a dit, avec juste raison, que l'on connaît le bon mécanicien au degré de propreté et d'entretien de sa machine.

Si le moteur doit rester pendant très longtemps sans fonctionner, il est bon de démonter complètement le cylindre, afin d'éviter la rouille, qui ne tarde pas à s'emparer des pièces. Puis, il faut enduire le tout avec une pâte de la composition suivante : on fait fondre du suif au feu ; lorsqu'il commence à se liquéfier, on verse de la céruse, que l'on mélange intimement, en agitant avec un pinceau, dans la proportion de 300 grammes de céruse pour 2 kil. de suif. Dès que ce mélange peut s'étendre, on badigeonne, au pinceau, toutes les parties polies du moteur.

DEUXIÈME CLASSE DE MACHINES A VAPEUR

MACHINES SEMI-FIXES

Dans ces machines à vapeur, le moteur est solidaire de la chaudière; l'ensemble est simplement boulonné sur un massif de maçonnerie, que l'on peut déplacer d'un point à un autre. Le moteur se place généralement sur la chaudière, mais, dans certains modèles anglais, il peut être en dessous

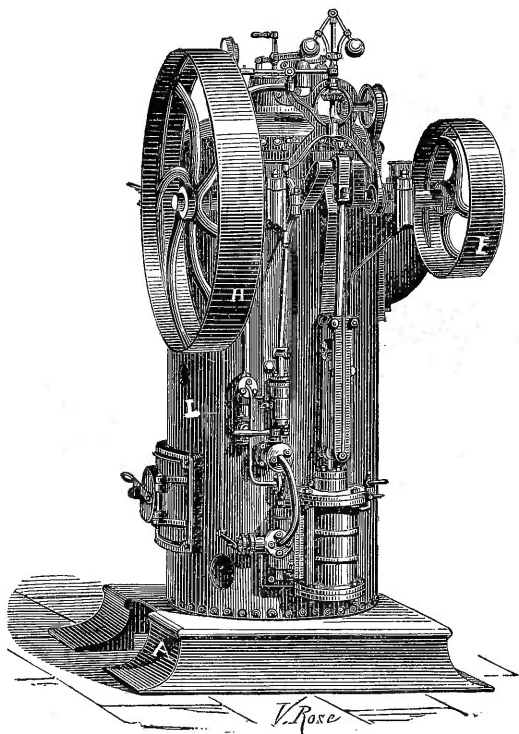


Fig. 129. — Machine à vapeur verticale Brouhot.

(Davey et Paxmann, Fowler, etc.). Le mécanisme peut présenter les mêmes dispositions que celles des moteurs fixes

(détentes, condenseurs, etc.). Au point de vue de la forme générale, nous ferons deux divisions :

- 1° Machines semi-fixes verticales ;
- 2° Machines semi-fixes horizontales.

MACHINES SEMI-FIXES VERTICALES

Chez celles-ci, la chaudière est verticale. La figure 129 représente, dans son ensemble, la machine verticale Brouhot. La chaudière est verticale, du système Field, et repose sur deux sommiers A, boulonnés à un massif en maçonnerie; l'intervalle forme cendrier. Pour une force de trois chevaux, cette chaudière mesure 1 m. 65 de haut, 0 m. 69 de diamètre; les tubes bouilleurs sont au nombre de 26, d'une longueur de 0 m. 55 et de 0 m. 06 de largeur. Le moteur est monté sur une plaque de fondation verticale, fixée à la chaudière. Il comprend le cylindre à vapeur, le mécanisme donnant le mouvement à l'arbre de couche, portant à ses extrémités deux poulies E et H, d'inégal diamètre. Un régulateur centrifuge et une pompe alimentaire complètent la machine. Les forces de 1, 2 et 3 chevaux coûtent 1.800, 2.300 et 2.900 fr. L'ensemble de la machine Brouhot est très ramassé et est d'une installation simple.

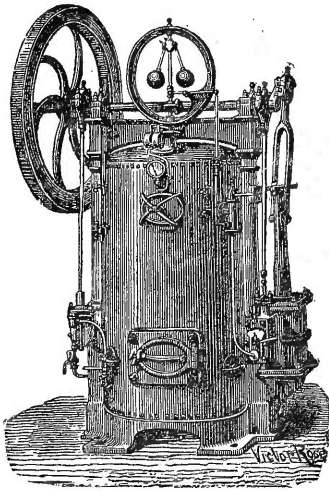


Fig. 130. — Machine à vapeur semi-fixe.

Chez d'autres systèmes, le moteur est isolé de la chaudière et est monté sur un bâti horizontal ou sur un bâti vertical (fig. 130) (Hermann-Lachapelle).

La chaudière peut être à bouilleurs ou à tubes de Field. Le bâti-isolateur est en fonte, formé de deux colonnes verticales réunies par un entablement. D'un côté, se

trouve le cylindre, dont la tige du piston est reliée, par une bielle à fourche, à un arbre de couche, muni d'une poulie volant. De l'autre côté, se trouve la pompe alimentaire, mise en mouvement par un excentrique et une tige.

Ce genre de machines se construit surtout pour les petites

forces de 1 à 4 chevaux, quelquefois, lorsque l'emplacement fait défaut, on peut leur donner jusqu'à 10, 15 et 20 chevaux de force.

MACHINES DEMI-FIXES HORIZONTALES

Dans ces machines, les chaudières sont horizontales ; le corps est de forme variable ; il est cylindrique en T dans presque toutes les machines françaises ; du *type locomotive* à foyer rectangulaire comme dans les machines anglaises.

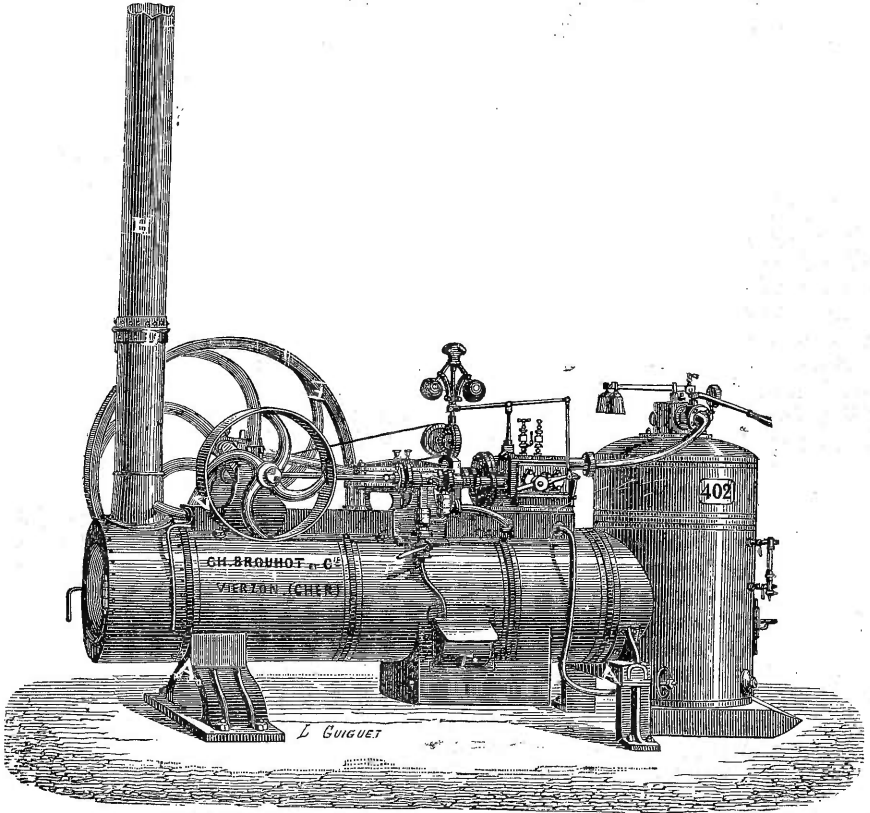


Fig. 131. — Machine à vapeur Brouhot (Vierzon).

La figure 131 représente, dans ce genre de machines, l'excellent type de M. Brouhot, constructeur à Vierzon. La machine est indiquée comme elle doit être installée. La chaudière est

tubulaire, à flamme directe, de la forme en T ; la cheminée H, d'une hauteur de 12 à 15 mètres, se raccorde par un boulonnage.

La construction est particulièrement soignée dans le choix des tôles, des tubes à fumée donnant une grande surface de chauffe, des appareils indicateurs de niveau d'eau, des soupapes, du manomètre, de l'enveloppe en bois qui empêche la déperdition de la chaleur, de la couverture de cuivre destinée à protéger l'ensemble de la chaudière de la rouille, etc. Deux supports A A, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, soutiennent la chaudière. Un bac d'alimentation F, placé en dessous, permet à l'eau de s'échauffer avant d'être envoyée à la chaudière par la pompe.

Quant au moteur, il est monté sur une plaque de fondation réunissant tous les organes, ce qui permet une libre dilatation sans entraîner des dislocations toujours nuisibles. Le cylindre est muni d'un régulateur à détente donnant une marche régulière, le papillon ordinaire est remplacé par un obturateur conique. L'excentrique de commande du tiroir est à changement de marche, ce qui permet de croiser la courroie à volonté pour tel ou tel sens de rotation. Pour des forces de 5, 6 et 7 chevaux, les prix sont de 4.500, 5.300 et 5.800 fr.

Les machines demi-fixes à retour de flamme (fig. 132) diffè-

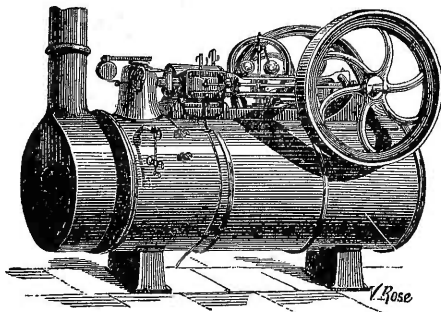


Fig. 132. — Machine demi-fixe à retour de flamme.

rent peu des précédentes. Le vaporisateur est amovible et peut se nettoyer facilement ; la cheminée se trouve au-dessus du foyer.

Le moteur n'offre rien de particulier ; sa plaque de fondation est boulonnée sur l'arrière de la chaudière. L'ensemble est supporté par deux chaises en fonte, boulonnées sur un massif en maçonnerie.

Dans les fortes machines, on monte le moteur à Compound (fig. 133), dont les manivelles sont calées à 90° sur l'arbre

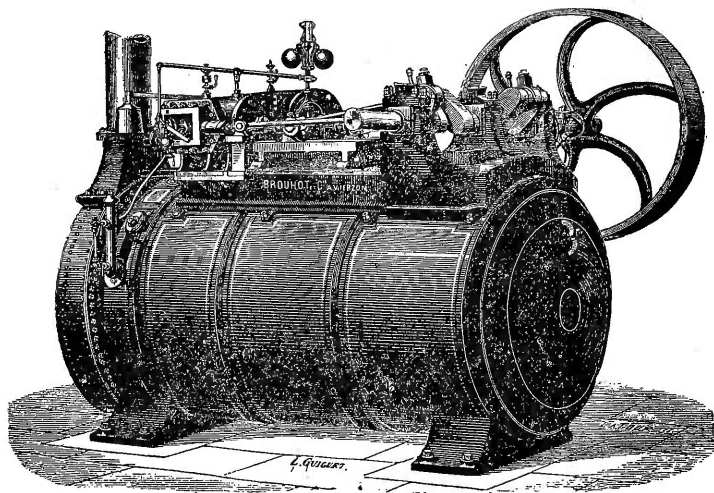


Fig. 133.— Machine demi-fixe Compound et à retour de flamme.

moteur. La chaudière est cylindrique très puissante. Ce dispositif a l'avantage de permettre d'installer sur un espace restreint une grande force.

TROISIÈME CLASSE DE MACHINES A VAPEUR

LOCOMOBILES

Les locomobiles, comme leur nom l'indique, sont des machines à vapeur montées sur roues, que l'on peut transporter d'un lieu à un autre. C'est d'Amérique que nous vient cette forme de machine à vapeur ; l'Angleterre en commença la construction vers 1850. Pour propager l'emploi de la locomobile en France, le général Morin acheta, pour le Conservatoire des Arts et Métiers, la machine de Tuxford et fils. A la même époque, le Ministre des Travaux publics fit venir, pour les travaux du chemin de fer de Tours à Bordeaux, celle de Clayton.

Le grand avantage de la locomobile est qu'elle peut, après

avoir exécuté les battages des céréales dans les champs, les irrigations dans les prairies, les défoncements des terres, etc., servir comme moteur d'une salle de préparation des aliments. Il suffit, pour cela, que la base de la cheminée de la salle de chauffe puisse se boulonner sur la locomobile de laquelle on a enlevé la cheminée trop peu élevée. Bien des modèles sont construits ; ils se caractérisent par la forme de leur chaudière qui peut être à flamme directe ou à retour de flamme, par leur moteur qui peut être à détente ou Compound.

On distingue, dans une locomobile, trois parties qui sont :

- 1° La chaudière ;
- 2 Le moteur ;
- 3° Le chariot ou train.

Nous prendrons comme exemple, pour notre description,

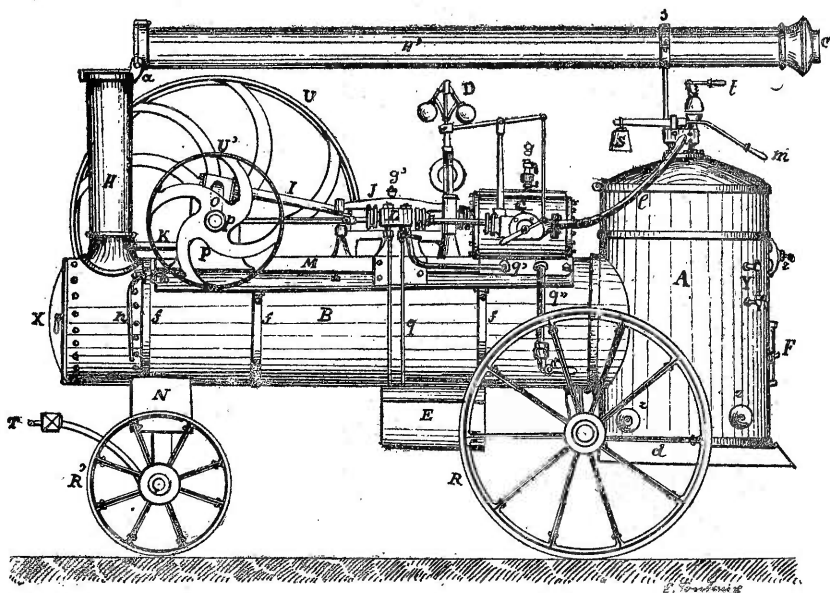


Fig. 134. — Principe d'une locomobile Brouhot.

la locomobile Brouhot, représentée par les figures 134 et 135. La chaudière est en T, l'arrière A renferme le foyer et le dôme de vapeur, la partie horizontale B contient le faisceau tubulaire. La porte du foyer est en F et sert à charger la grille ; en dessous, en d, est le cendrier contenant de l'eau. La

boîte à fumée se trouve à l'avant, munie d'une porte X qui sert à ramoner les tubes à fumée. Le dôme de vapeur porte deux soupapes de sûreté S, un manomètre et un sifflet *l*. Sur la boîte à fumée est fixée une cheminée en tôle H, de 4 mètres de haut, sectionnée en deux parties, réunies par une articulation *a*; la partie H' pour le transport se rabat sur le support *s*; l'extrémité *c* porte le nom de *capuchon*. Le bac ali-

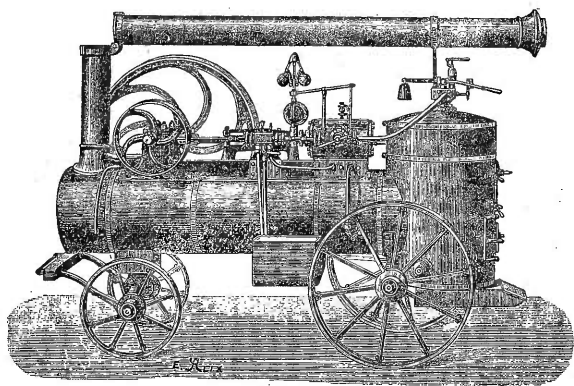


Fig. 135. — Vue d'ensemble d'une locomobile Brouhot.

mentaire E est fixé en dessous de la chaudière et contient l'eau prise par une pompe L, qui l'envoie dans un réchauffeur *q'*, puis de là par *q''* dans la chaudière en passant par un clapet de retenue *d*. En Y se trouve le niveau d'eau, puis en *z, z, z, z*, sont les autoclaves servant aux nettoyages. L'extérieur de la chaudière est entouré d'une enveloppe de bois, sur laquelle se trouve une deuxième enveloppe en tôle mince, munie de brides de serrage *f f*.

Le moteur repose sur une plaque d'assise en fonte M, boulonnée à la chaudière, mais les dilatations peuvent se faire dans tous les sens. En G se trouve le cylindre avec le graisseur *g*; puis viennent les glissières J, munies de graisseurs *g'*.

La bielle I s'articule à la manivelle *o* de l'arbre de couche *p*, portant à ses extrémités un grand volant U et une poulie U'. Les paliers P supportent ce mécanisme.

La vapeur est amenée au cylindre par le tuyau *l*, dont le papillon est commandé par le régulateur D; l'échappement se fait par le tuyau K, dans la cheminée, ce qui active le tirage. Pour la mise en pression, on se sert du souffleur *n*. La prise de vapeur se fait, en ouvrant le robinet de prise, par le

levier *m*. L'ensemble de la machine est monté sur 4 roues, celles d'arrière R sont portées par un essieu fixé à des pièces en fer réunies au-dessous de la chaudière; celles d'avant R' forment avant-train dirigeable, la partie N repose sur l'essieu et est munie d'un goujon ou d'une rotule.

En T se fixent des brancards ou un timon, servant pour le transport au moyen de chevaux ou de bœufs. Les roues se font en bois, ou mieux avec moyeux en fonte, les *rais* et les jantes sont en fer. Un frein à sabot est fixé sur les roues d'arrière.

Les premières locomobiles étaient montées sur un chariot en bois porté par 4 roues; quelques constructeurs montent encore les roues d'arrière sur ressorts.

Les machines Brouhot, pour des forces de 6, 7, 8, 10 chevaux-vapeur, coûtent 5.600, 6.100, 7.000, 7.800 fr.; le cheval-vapeur coûte, par conséquent, pour les mêmes forces, 940, 871, 875 et 780 fr.

Locomobile Garrett. — Cette excellente machine, de construction anglaise, est vendue en France par M. Piltet (Paris). La chaudière est à flamme directe, son foyer est carré, sou-

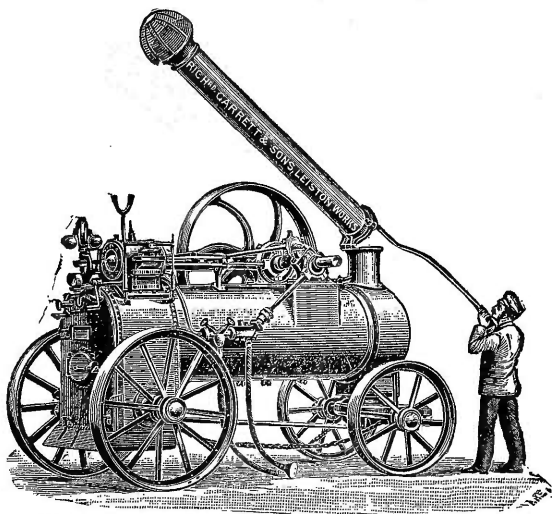


Fig: 136. — Locomobile Garrett (Piltet).

tenu par des entretoises, rivées à l'extérieur (fig. 136). La partie horizontale est beaucoup plus grosse que dans les chaudières en T, ceci afin de ne pas diminuer la surface d'é-

bullition provenant de la suppression du dôme de vapeur. L'alimentation d'eau se fait au moyen d'une pompe dite à retour d'eau (fig. 137). Elle comprend un corps de pompe incliné B, dans lequel se meut un piston plongeur *p*, articulé en

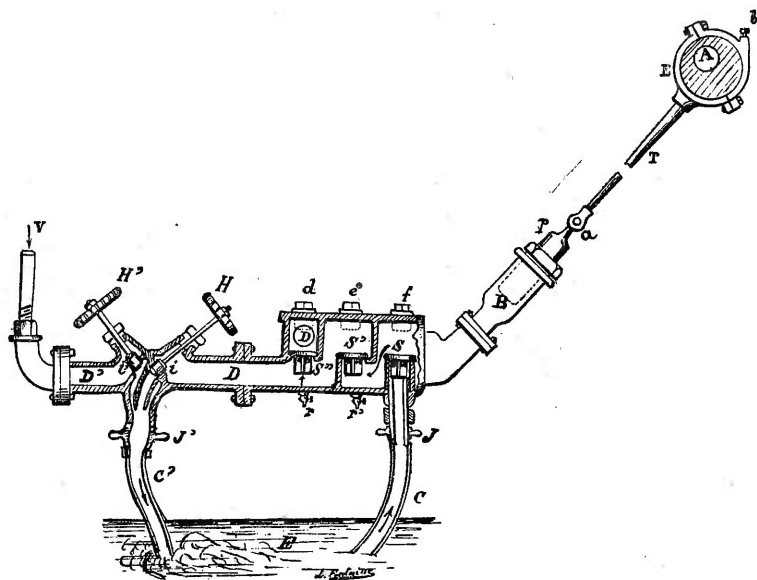


Fig. 137.— Coupe de la pompe alimentaire Garrett.

a à la tige T d'un excentrique E, mis en mouvement par l'arbre de couche A. Le corps de pompe est raccordé à une boîte à soupapes D, divisée en 3 chambres par des cloisons, et munies de soupapes S S' et S''. La première chambre est en communication avec le tuyau d'aspiration C, relié par un joint J. L'eau chaude E est aspirée suivant la flèche, elle soulève S S' et S'' et passe dans la chaudière. Si le mécanicien veut arrêter l'alimentation, il tourne la manivelle H, de façon à déboucher l'orifice *i*, l'eau n'a pas assez de pression pour soulever S'', elle revient dans le bac par le tuyau de retour C', muni du raccord J'. Pour chauffer l'eau, on se sert de vapeur prise à l'échappement, et amenée par le tuyau V, en débouchant *i'* au moyen de la manivelle H'; cette vapeur descend par C'. La boîte à clapets est munie de 3 bouchons à vis *d e f*, qui permettent la visite intérieure; en dessous se trouvent 2 robinets d'amorçage *r r'*. Cette pompe est excellente.

Le bâti est en plusieurs pièces rapportées sur la chaudière. A l'arrière se trouve fixé le cylindre C (fig. 138) à enveloppe de vapeur; il est muni d'une soupape de sûreté S, dont la tige *a* est maintenue par le levier L, articulé en *o*. Une balance N, fixée par sa base B à la chaudière, maintient la soupape fermée par sa tige *t* et par la vis V. En *f* se trouvent inscrites les pressions en chiffres.

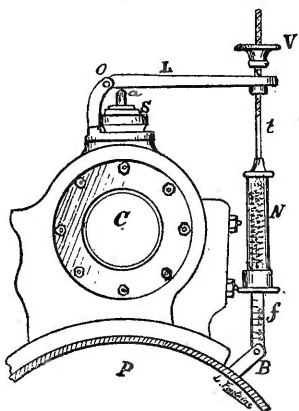


Fig. 138. — Cylindre de la locomobile Garrett (Piltter).

Les locomobiles Garrett, de la force de 5 à 10 chevaux, sont munies d'un régulateur à boules; au-dessus de ces forces, on emploie le régulateur *Hartnell* (fig. 139 et 140). Sur l'arbre à vilebrequin A, se trouve fixé l'excentrique de distribution, dont la tige est en B. Cet excentrique porte des joues latérales

C, munies d'un trou pour laisser passer le bouton de manivelle d'un plateau G.

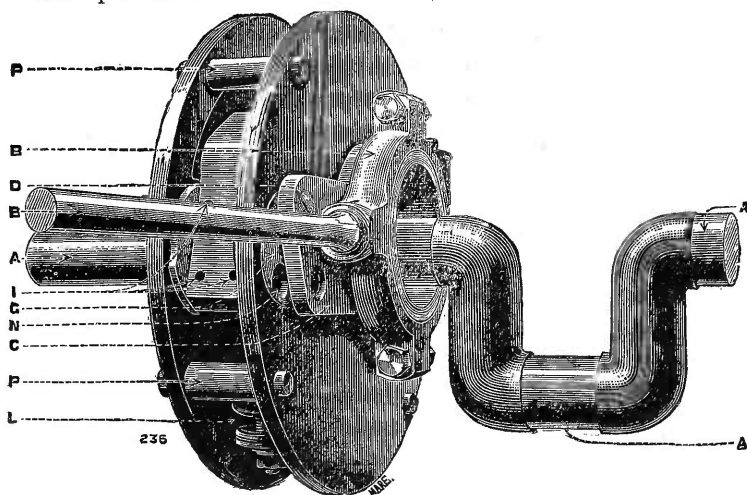


Fig. 139. — Régulateur Hartnell (Piltter).

Deux disques, munis d'entretoises P, ont leur axe calé sur l'arbre de couche. Enfin, en HH, se trouvent deux poids

reliés à l'axe des plateaux-manivelles G G, dont la base est appuyée fortement par des ressorts L, terminés par des écrous de serrage M.

Sous l'action de la force centrifuge, les poids H tendent à s'éloigner du centre de rotation, ils entraînent les plateaux-manivelles G et, par suite, déplacent le corps de l'excentrique. La course du tiroir est modifiée, l'admission de la vapeur se fait sur une partie plus ou moins grande de la course, donnant une détente variable.

Le calage se fait au moyen d'un dispositif spécial, représenté par la figure 141. Deux sabots en bois S et S', dont la pointe embrasse la jante R de la roue A, sont reliés par deux tringles M, celles-ci s'accrochent en *a* sur le sabot S' et s'arti-

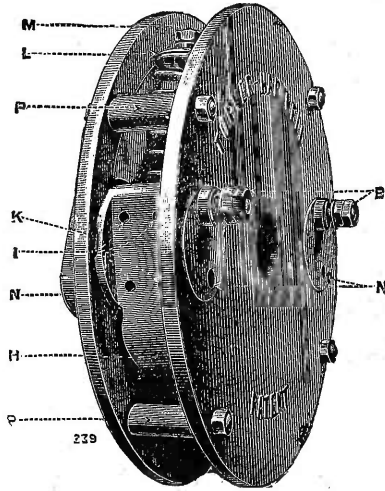


Fig. 140. — Régulateur Hartnell démonté.

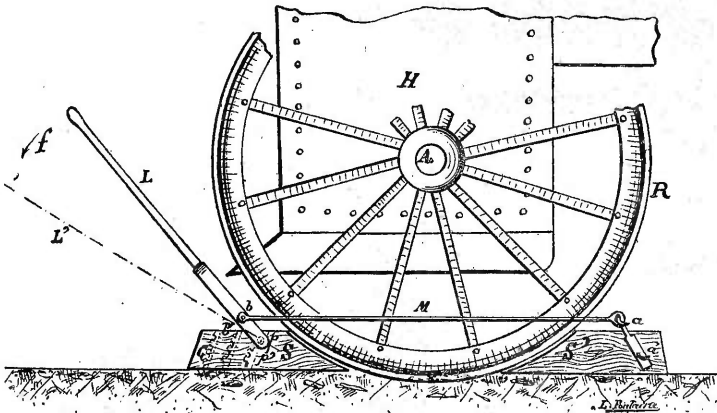


Fig. 141. — Calage de la locomobile Garrett.

culent en *b* à un levier L sur le sabot S. Ce dernier porte des crémaillères G; en prenant un point d'appui *p* avec le levier L,

et en appuyant suivant *f*, L passe en L' ; les deux sabots se rapprochent et serrent fortement la roue. On peut même soulever un côté de la machine pour la mettre de niveau.

Locomotives à chaudières à retour de flamme. — Cette forme de locomotives se rencontre beaucoup moins que les précédentes, cependant elle donne une grande économie de combustible. On compte qu'elle dépense 2 kil. à 2 kil. 500 de houille par cheval-heure, lorsque la locomotive a 8 à 10 chevaux de force.

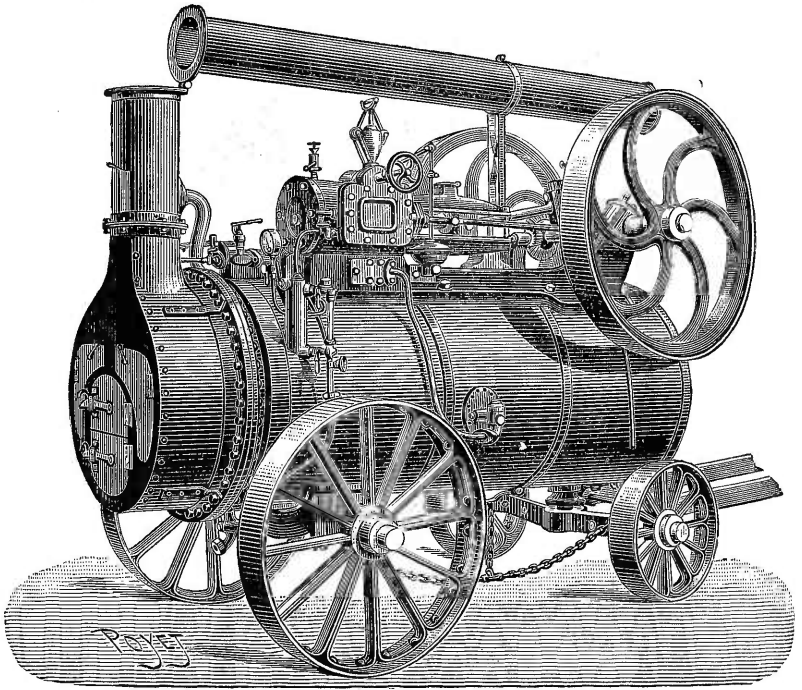


Fig. 142. — Locomotive à chaudière à retour de flamme Weyher et Richmond.

Il faut plus de temps pour la mise en pression, on compte 1 heure à 1 heure 1/4. Il faut citer, comme systèmes, ceux de Weyher et Richmond (fig. 142), de Gautereau, de Brouhot, etc.

Petites locomotives. — Pour les forces comprises entre 1/2 à 2 chevaux-vapeur, on construit des locomotives verticales, montées sur deux roues ou sur un chariot à trois roues ;

on les emploie, en petite culture, pour les battages, pour les scieries, etc. Elles consomment, par cheval-heure, 4 à 6 kil. de houille et 30 litres d'eau ; leur prix est 1.900 fr. pour un cheval, et 2.300 fr. pour deux chevaux.

La maison Belleville construit également des petites locomobiles, montées sur un chariot; la chaudière est inexplosible.

Prix des machines à vapeur et prix de revient du travail

Avant de terminer notre sujet, nous devons donner quelques renseignements sur les prix des machines à vapeur, sur la quantité de charbon qu'elles consomment et sur leur prix de revient :

Tableau du prix des machines à vapeur

	5 chev.	6 chev.	8 chev.	10 chev.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Chaudières horizon- (à flamme directe...)	2 400	2.600	2.900	3.250
tales tubulaires... (à retour de flamme.)	2.800	2.900	3.200	3.650
Moteurs horizontaux à détente fixe.	2.500	2.900	3.250	3.700
— vertic. à grande vitesse à détente fixe.	1.550	1 700	1.800	2.050
Machines à vapeur (à flamme directe...)	4.350	5.200	6 350	7.400
semi-fixes. (à retour de flamme.)	4.000	4 850	6.500	7.300
Locomobiles. (à flamme directe ..)	4.600	5.400	6.650	7.350
		5.500	6 900	8.250

Il est évident que ces prix ne sont que des moyennes.

Quant à la consommation de charbon par heure et par cheval, on compte sur les chiffres suivants :

Chaudière Field (moteur de 2 à 3 chevaux), 5 kil. à 4 kil.

Chaudière tubulaire à flamme directe (moteur à détente, 3 à 10 chevaux), 3 kil. à 2 kil. 500.

Chaudière tubulaire à retour de flamme (moteur à détente fixe, 5 à 10 chevaux), 2 kil. 500 à 2 kil.

Les chaudières à retour de flamme sont donc à conseiller.

Les dépenses occasionnées par une machine à vapeur (locomobile, par exemple) sont de deux sortes :

1^o Dépenses *fixes*, comprenant le charbon, la main-d'œuvre, l'huile et les chiffons ;

2^o Dépenses *variables*, comprenant les réparations, l'amortissement et l'intérêt du capital d'achat de la machine.

Pour établir les frais *fixes* par journée, il faut connaître la force de la machine, la quantité de charbon brûlé, l'huile et les chiffons employés, enfin le prix du mécanicien. Si nous admettons une locomobile de 8 chevaux, consommant 3 kil.

de houille par cheval et par heure, celle-ci coûtant 40 fr. la tonne, voici le prix de revient du cheval-vapeur ou 75 kilogrammètres, par journée de dix heures :

Chauffage : $3 \times 10 = 30$ kil. à 40 fr. les 1.000 kil.....	1 fr. 20
Mécanicien : 1/8 de journée à 4 fr.....	0 fr. 50
Graisse, huile, chiffons.....	0 fr. 25
Total.....	<u>1 fr. 95</u>

Dans les frais *variables*, on a l'intérêt du prix d'achat, l'amortissement du capital et les frais de grosse réparation.

Pour notre locomobile de 8 chevaux, le cheval-vapeur coûte environ 800 fr., dont l'intérêt, à 5 o/o, représente par an 40 fr. L'amortissement et les réparations absorbent 20 o/o du prix d'achat, ou

$$20 \times 800 : 100 = 160 \text{ fr.}$$

En additionnant à cette somme les 40 fr. précédents, on arrive à 200 fr. de frais variables, qu'il faut répartir entre le nombre de journées de travail par an. En supposant celles-ci de 50, 100, 150, 200, 250, 300 et 350, les frais variables seraient de 4 fr., 2 fr., 1 fr. 33, 1 fr., 0 fr. 80, 0 fr. 66 et 0 fr. 57 par jour.

En définitive, le cheval-vapeur reviendrait pour les mêmes quantités de jours de travail, et en additionnant nos deux espèces de frais, à 5 fr. 95, 3 fr. 58, 2 fr. 95, 2 fr. 75, 2 fr. 61 et 2 fr. 52. D'où conclusion : la machine à vapeur dans une ferme doit rester le moins de jours possible inoccupée, car elle représente un capital qui perd de sa valeur au repos.

QUATRIÈME CLASSE DE MACHINES A VAPEUR

LOCOMOTIVES ROUTIÈRES

La locomotive routière nous vient d'Angleterre, cette forme de machine à vapeur est montée sur un train, muni d'engrenages commandés par le moteur. La machine peut servir à la locomotion sur routes pour traîner les fardeaux, ou est employée à poste fixe pour les travaux agricoles. L'idée première de ces machines est due à l'ingénieur français Cugnot, qui, en 1769, construisit une voiture à vapeur.

Les Anglais modifièrent d'une façon heureuse la locomobile,

en en faisant une machine automotrice, leur servant de *traction engine*, pour leurs charrues, herses, rouleaux à vapeur.

La première locomotive routière qui circula sur les chemins, en Angleterre, fut celle de Trewithick et Vivian, en 1802. La machine avait peu d'adhérence à cause de son faible poids; elle fut abandonnée. Fowler triompha, et, dès 1854, sa locomobile pouvait transporter de lourds fardeaux sur les routes et commander, à poste fixe, les appareils de culture.

Lotz aîné, de Nantes, avant 1867, créa un type de locomotive destinée au transport des voyageurs sur route. Elle n'eut pas de succès. Actuellement, certains systèmes de voitures à vapeur sont pratiques, notamment celui de Serpollet (Paris).

On construit aujourd'hui différents types de locomotives routières; les unes sont spécialement disposées pour la traction sur routes, d'autres sont employées à la culture et portent des organes supplémentaires appelés treuils, servant au déplacement des appareils, tels que : charrues, rouleaux, herses, etc.

Nous prendrons comme type, dans ce genre de machine, celui de Fowler, vendu par M. Pilter (Paris) et représenté par la figure 143.

La chaudière est très forte, à flamme directe et à foyer carré; à l'avant se trouve une cheminée J, à l'arrière se trouve un tender T, dans lequel se tient le mécanicien, il sert en outre de réservoir de charbon et d'eau, on introduit celle-ci en X. Deux marchepieds *b' b'* en facilitent l'accès.

Le moteur est fixé sur la chaudière, en H se trouve le cylindre avec soupapes à ressorts, les glissières *p p* dirigent le coulisseau *l*. L'arbre moteur repose sur deux paliers D, il porte à l'une de ses extrémités un volant S, sur lequel on peut passer une courroie lorsqu'on veut faire la commande d'un appareil, les engrenages servant à la locomotion sont débrayés. Le cylindre peut être Compound et porte une coulisse de Stephenson, dont la tige de commande est en *o*; on obtient facilement le renversement de la vapeur et le changement de marche. La tringle *a*, portant une poignée *m*, sert à l'introduction de la vapeur au cylindre; un régulateur centrifuge I maintient la vitesse régulière.

L'ensemble est monté sur 4 roues; les antérieures R' constituent un avant-train dirigeable supportant l'extrémité L de la chaudière. La mobilité de cet avant-train permet de diriger la machine. Pour cela, deux chaînes *r* sont roulées en sens contraire sur un treuil F, commandé par une vis sans fin *v*, si-

tuée à l'extrémité d'un arbre oblique K, dont le volant *n* est mû par le mécanicien. En tournant dans un sens convenable, on obtient l'allongement d'une chaîne *r*: tandis que l'autre se

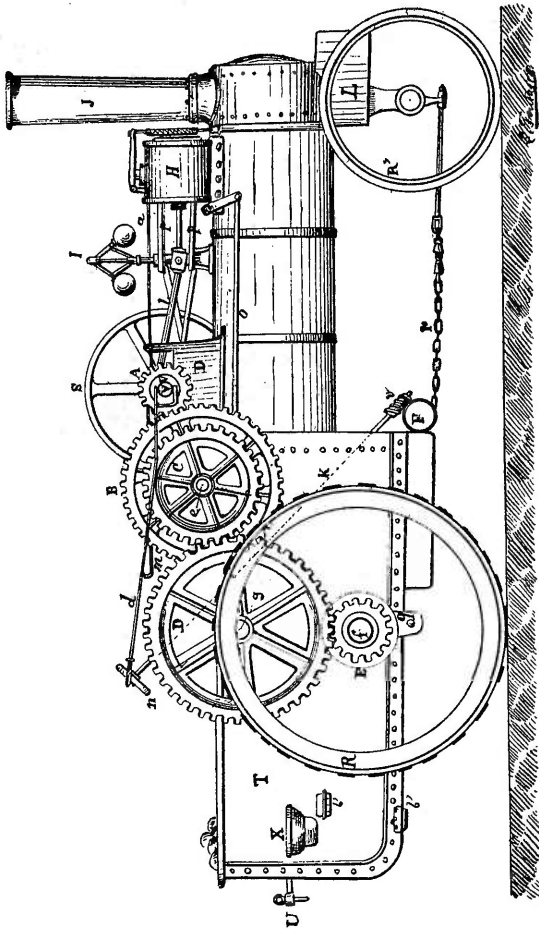


Fig. 443. — Locomotive routière Fowler (Piltter).

raccourcit, l'avant-train oblique. Il nous reste à voir comment le déplacement de la machine se fait en avant.

En arrière, se trouvent deux roues porteuses R, dont les jantes mesurent 0 m. 45 de large et munies à leur surface de bandes de fer obliques rapportées de façon à augmenter l'adhérence sur le sol. Ces roues sont folles sur l'essieu *f*; pour

obtenir le déplacement, on les réunit par une clavette *a* avec la boîte E clavetée sur l'essieu. Dans celle-ci se trouve un petit pignon commandé par la roue dentée D, dont l'axe de rotation est en *g*; D engrène avec le pignon *c*, calé sur l'axe *e* à côté de la roue B, qui prend son mouvement sur le pignon A. Celui-ci peut se déplacer, au moyen du levier *d* et de la mâchoire V, pour embrayer ou débrayer.

Une locomotive de la force de 20 chevaux, à cylindre unique ayant 0 m. 19 de diamètre, une course de piston de 0 m. 22 et une vitesse de 225 tours par minute, a un poids net de 6.000 kil. et coûte 12.000 fr. environ. Souvent on adjoint à ces machines un élévateur d'eau, muni d'un tuyau d'aspiration de 10 m. 50 de long.

Les chariots, voitures, batteuses, etc., s'attellent à l'arrière de la locomotive, au moyen d'une tringle réunie en U à l'aide d'un goujon. Dans certaines machines, le treuil de direction est remplacé par une crémaillère circulaire (Clayton).

Calcul du poids traîné par une locomotive routière. —

D'après les expériences de A. Tresca, le coefficient de traction, sur routes ordinaires, est de 0,05 pour les locomotives routières. Si on suppose une machine de 30 chevaux de force, du poids de 17.000 kil. avec charbon, eau et hommes compris, on aura comme travail développé par seconde :

$$30 \times 75 = 2250 \text{ kilogrammètres.}$$

L'effort de traction nécessaire au déplacement de la machine seule est de :

$$17.000 \times 0,05 = 850 \text{ kilogrammètres.}$$

Cherchons maintenant la vitesse avec laquelle la machine peut se déplacer par seconde, d'après la formule du travail :

$$T = F \times e. \text{ L'espace } e = \frac{T}{F} \text{ ou } \frac{2250}{850} = 2^m,647.$$

Par heure, la distance que peut parcourir cette machine sera de $2.647 \times 3.600 = 9.529$ mètres. Au point de vue pratique, on ne peut guère compter que sur 4 kil. à l'heure. Si nous admettons cette vitesse de 4 kgm., notre machine de 30 chevaux pourra traîner :

$$\frac{2250 \times 3600}{4000} \times \frac{1}{0,05} - 17.000 = 23.500 \text{ kil.}$$

Dans cette égalité, le rapport $\frac{1}{0,05}$ est tiré de l'expression : $17.000 \times 0,05 = 850$. Donc, $0,05 = \frac{17.000}{850}$, c'est-à-dire le rapport du poids à la traction.

APPLICATIONS DE LA VAPEUR EN AGRICULTURE

Dès son apparition, la vapeur a révolutionné l'industrie; l'agriculture n'a commencé à l'utiliser que vers 1850. Pour passer en revue les nombreuses applications auxquelles donne lieu la vapeur en agriculture, nous examinerons les installations que l'on peut faire à l'intérieur de la ferme, puis à la culture proprement dite du sol. Mais, avant, nous devons dire deux mots du choix du genre de machine qui convient aux différents cas de la pratique.

Choix d'une machine. — Quand on veut faire le choix d'une machine, on doit concilier sa forme avec les besoins auxquels on la destine. Si elle doit travailler à poste fixe, pour une usine agricole ou pour une salle de préparation d'aliments, on devra choisir la machine fixe ou semi-fixe. Si, au contraire, la machine doit se déplacer pour exécuter différents travaux sur la ferme, on devra préférer les types locomobiles ou locomotives routières.

Un point très important à considérer également est la puissance nécessaire que la machine doit être susceptible de fournir; pour les petites forces de 1 à 3 chevaux, on s'adresse aux machines verticales, pour des forces supérieures on choisira dans les types horizontaux.

Il faut toujours prendre un moteur d'une force supérieure à celle que donnent les prévisions des calculs, pour ne pas être obligé dans la suite, si l'on apporte des modifications dans le nombre des appareils à commander. Enfin, nous recommandons de s'adresser à de bonnes maisons fournissant des machines bien construites qui, au bout de peu de temps, regagnent les quelques centaines de francs que l'on aurait pu économiser sur l'achat d'une machine défectueuse, par l'économie de combustible qu'elles produisent.

Installations fixes

Suivant l'importance de la ferme et l'industrie qui y est annexée, on emploiera des machines fixes ou semi-fixes.

1° *Dispositions avec chaudière et moteur séparés.* — Dans ce cas, le bâtiment de la machine doit être divisé en deux pièces; la première, appelée *salle de chauffe* ou *chaufferie*, renferme la chaudière, elle doit avoir les dimensions nécessaires pour permettre la charge du foyer et le nettoyage inté-

rieur. Dans la deuxième, appelée *salle du moteur*, on établit le moteur avec les transmissions par courroies pour commander l'arbre de couche principal des appareils. Tous les systèmes de chaudières et de moteurs que nous avons décrits peuvent être employés.

Quand le moteur est séparé de la chaudière, on peut l'entourer de plaques en fonte, à rainures, appelées capots (fig. 144), que l'on entretient facilement propres. La figure 145 indique une disposition anglaise de Garrett très pratique. La chaudière, du type à flamme directe, est munie d'une cheminée de 10 à 12 mètres de haut. La vapeur est envoyée

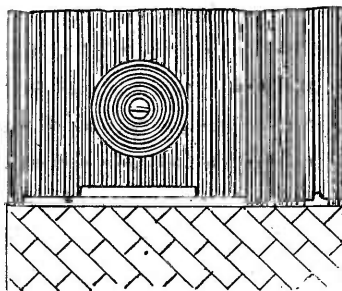


Fig. 144. — Plaques de capots.

par un tuyau latéral au moteur. Celui-ci est boulonné sur un massif en maçonnerie et comporté tous les appareils de mouvement et d'alimentation. Une poulie est reliée par une courroie à l'arbre de transmission ; l'échappement se fait par la cheminée.

Pour les besoins de l'usine ou de la ferme, on est généralement obligé d'installer un réservoir d'eau à une certaine hauteur, afin que l'écoulement se fasse en charge. Le plus simple est d'employer un bac en tôle galvanisée (fig. 146), de forme circulaire ou rectangulaire, le tuyau de refoulement se déverse au-dessus, tandis que le tuyau d'écoulement prend naissance au fond du réservoir. Un tuyau de trop-plein évacue les eaux surabondantes.

2° *Dispositions avec machines semi-fixes.* - Nous traiterons, ici principalement, les installations d'une salle de préparation des aliments dans une ferme. Il est incontestable que les grains écrasés, les pailles et les racines hachées sont plus digestifs, on évite ainsi un travail de mastication aux animaux, et les sucs organiques agissent mieux. En résumé, il y a économie. Tous les instruments d'intérieur doivent être rangés dans un bâtiment à part, situé au centre de l'habitation pour faciliter les transports et les manutentions.

Pour les petites installations, on emploiera une machine verticale, disposée dans le bâtiment représenté par la figure 147. Celui-ci est rectangulaire, divisé en deux pièces K et Z.

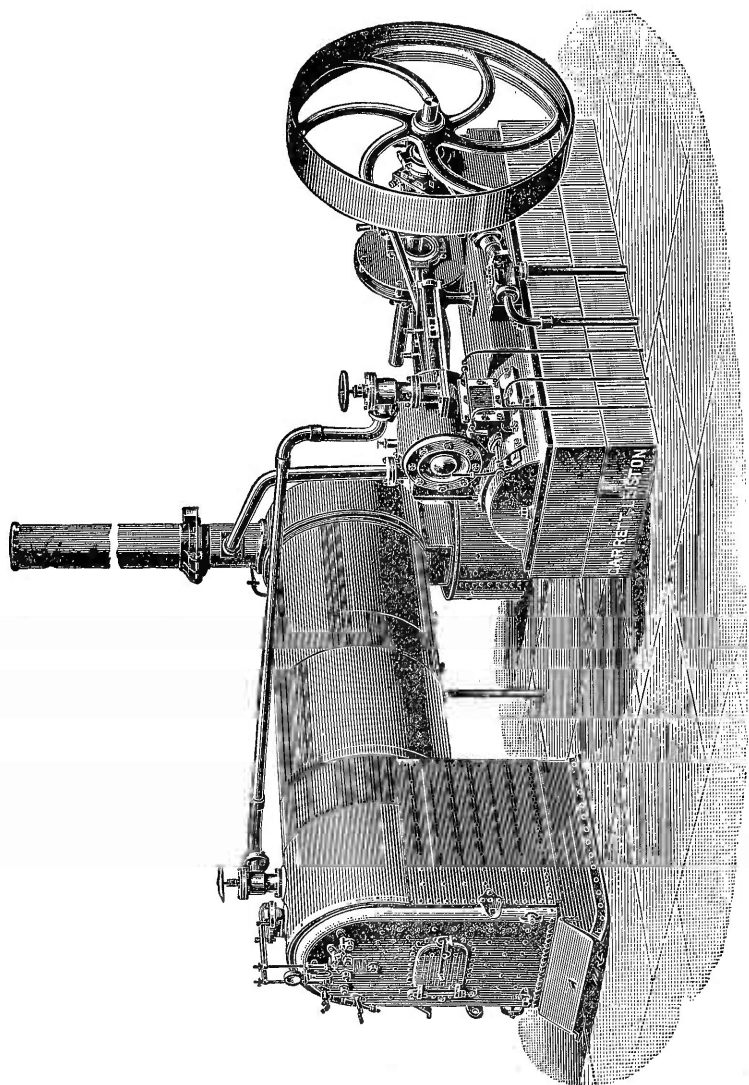


Fig. 143. — Installation Garrett (Pilter).

La pièce K, appelée salle de la machine, mesure 6 mètres de profondeur sur 4 m. 50 de large, soit :

$$6 \times 4.50 = 27 \text{ mètres carrés de superficie.}$$

La machine M et son moteur occupent environ 1 mètre carré et demi (pour 3 ou 4 chevaux) ; son socle est boulonné à un massif en maçonnerie, et en dessous on laisse un cen-

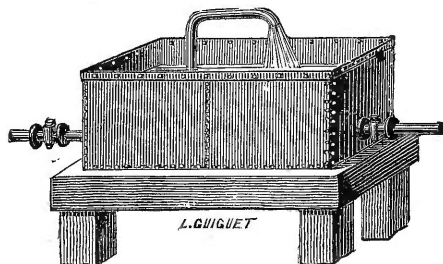


Fig. 146 — Réservoir d'eau en tôle.

drier contenant une couche d'eau pour éteindre les parcelles enflammées qui tombent de la grille du foyer. La poulie R est reliée, par une courroie *t*, à la poulie de commande *p* de l'arbre de couche *d d*. En dehors de cette transmission, on peut faire actionner par la poulie *r* une pompe P, qui envoie l'eau d'un puits, par exemple, dans un bassin d'alimentation. On peut aussi placer dans la salle de chauffe deux cuiseurs de tubercules à bascule U, qu'on alimente de vapeur venant de la chaudière par un tuyau *n*. Deux fenêtres et une large porte vitrée éclairent la salle ; enfin, la cheminée en tôle s'élève au-dessus du bâtiment et est soutenue par des haubans (fig. 148). Le diamètre de cette cheminée, pour des machines de 2, 3 et 4 chevaux, est de 0 m. 15, 0 m. 17 et 0 m. 19 ; la hauteur est comprise entre 8 et 10 mètres. Les mêmes machines consomment, par cheval et par heure, environ 4 kil. de houille et 25 litres d'eau. Leur mise en pression demande une demi-heure.

D'après le décret du 30 avril 1880, l'établissement des machines verticales de 3, 4 chevaux, etc. (troisième catégorie), peut se faire dans un atelier quelconque, même lorsqu'il fait partie d'une maison d'habitation.

Le volant R a de 0 m. 50 à 0 m. 60 de rayon ; il fait environ 105 à 115 tours par minute ; la distance de l'axe de l'arbre de la machine à l'axe de commande *d d* doit être au moins de 3 m. 50. L'arbre *d d* devant faire un nombre déterminé de tours par minute, il faut calculer le diamètre de la poulie *p*. Si nous admettons un volant de 1 m. 20 de diamètre, tournant à 105 tours par minute, et devant commander la poulie de

l'arbre de couche à raison de 130 tours par minute, nous voyons que celle-ci devra avoir :

$$\frac{D}{D'} = \frac{N'}{N} \text{ ou } \frac{1.20}{x} = \frac{130}{105}, \text{ et } x = \frac{1.20 \times 105}{130} = 0^m,969,$$

ou 0 m. 97 en tenant compte du glissement.

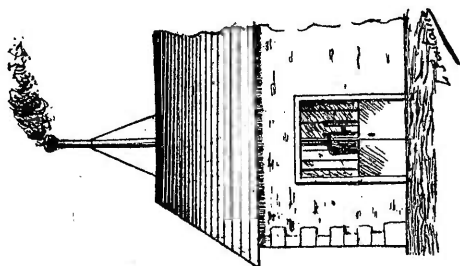


Fig. 448. — Facade de la salle de la machine.

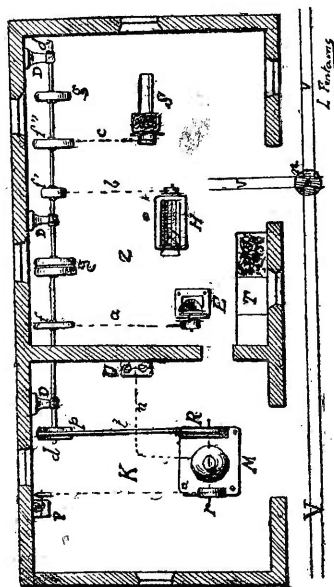


Fig. 447. — Plan de l'installation d'une salle de préparation des aliments.

Si nous passons maintenant à la disposition des appareils d'intérieur dans la chambre Z, nous voyons que l'arbre de couche *dd*, soutenu par des chaises *DD*, porte de distance en distance des poulies *ff'*, commandant, par des courroies *abc*, un coupe-racines *E*, un laveur *H* et un hache-paille *S*. Ces trois

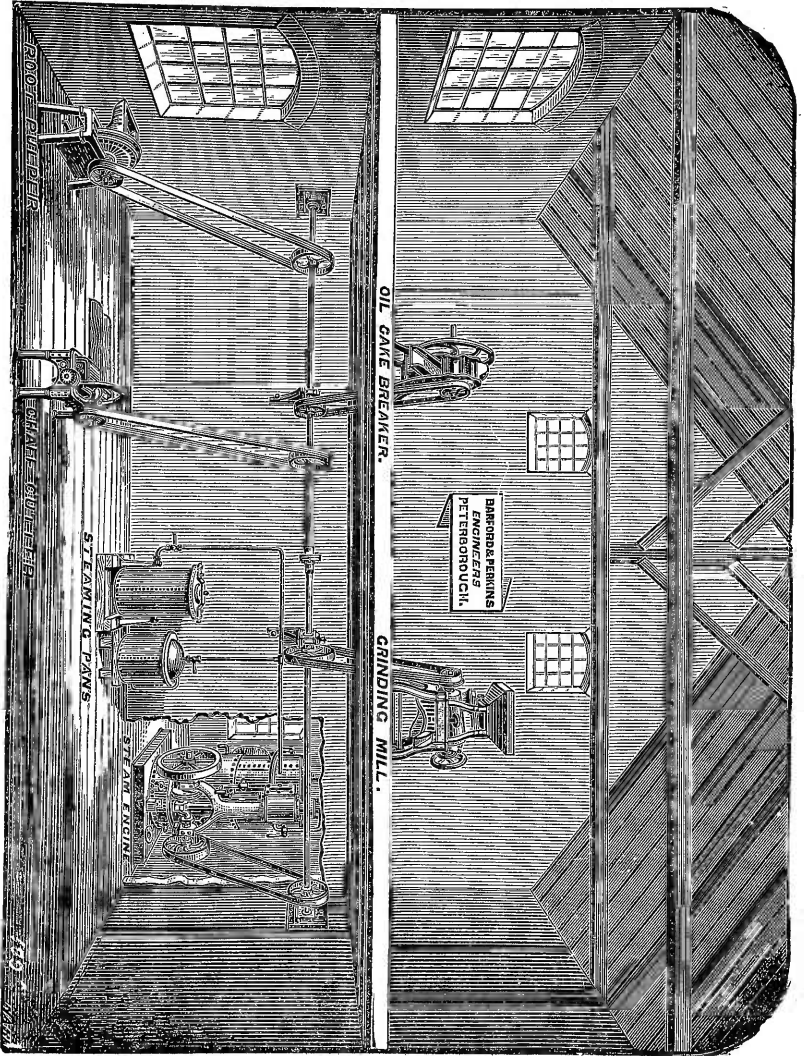


Fig. 149. — Salle de préparation des aliments commandée par moteur à vapeur (Barford et Perkins. — Piller).

appareils permettent de couper de la paille et des racines qu'on mélange ensemble pour les faire fermenter dans des cuves T. Dans le grenier, on peut installer un concasseur, un tarare, etc., qu'on commande par les poulies *g g*. Le service des transports se fait très avantageusement par un De-cauville V V, avec plaque tournante *n*, placée à l'entrée de la porte principale.

Une machine verticale demi-fixe coûte en moyenne, pour 1 cheval, 1.800 fr.; pour 2 chevaux, 2.400 fr., et pour 3 chevaux, 2.900 fr. Elle consomme de 4 à 5 kil. de houille par cheval et par heure, de 20 à 25 litres d'eau. Par jour, les frais fixes s'élèveraient à :

Chauffage à $5 \times 10 = 50$ kil., à 40 fr. les 100 kil	2 fr. 00
Mécanicien à 4 fr. par jour	4 fr. 00
Graisse, huile, chiffons, etc.	0 fr. 25
Total	6 fr. 25

La figure 149 représente une installation anglaise de Barford et Perkins; on voit, au fond, la salle de la machine, la chaudière et le moteur, tous deux du type vertical. La courroie de commande attaque un arbre horizontal porté par des paliers fixés au mur. Au rez-de-chaussée sont installés un coupe-racines, un hache-paille et un cuiseur à vapeur de racines. Au premier étage, se trouvent un concasseur et un moulin à farine. On peut ajouter des tarares, des trieurs, pour le nettoyage des grains. Tous ces appareils sont commandés par poulies et courroies à différentes vitesses (1). Des fenêtres vitrées éclairent l'intérieur.

Installation d'une machine à vapeur horizontale. — Nous traitons ici l'installation pour une ferme de 150 hectares au moins, ayant de 80 à 100 têtes de bétail. La salle de préparation peut renfermer un laveur, un hache-paille, un coupe-racines, une machine à battre, un aplatisseur, un concasseur, un moulin à farine, etc. Dans bien des cas, on pourra commander une dynamo pour l'éclairage de la ferme. La force exigée est donc supérieure aux 4 chevaux que nous avons demandés à la machine verticale.

Bien des dispositions peuvent être employées, mais celle qui nous semble la plus simple est représentée par la figure 150. A côté de la salle des appareils, et perpendiculairement, est adossée la salle de la machine M. Occupons-nous d'abord de la disposition intérieure de cette salle. Sur des chaises H, et

(1) Voir, à ce sujet, notre premier fascicule. Coulet, à Montpellier.

le long du mur donnant sur la machine, est établi l'arbre de couche *a*, portant de distance en distance les poulies de commande des appareils. On les réunit, par des courroies *e e*, à un hache-paille *B*, placé à l'étage supérieur et à un coupe-

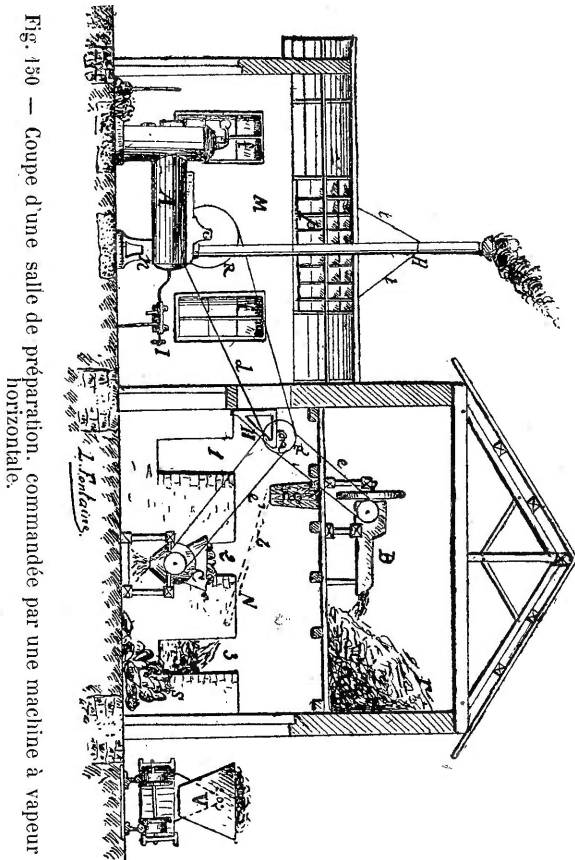


Fig. 150 — Coupe d'une salle de préparation, commandée par une machine à vapeur horizontale.

racines *C*, etc. La batteuse, les aplatisseurs, les moulins, etc., s'établissent dans le grenier, tandis que le coupe-racines, le laveur, le dépulpeur, se placent au rez-de-chaussée. Ces appareils forment deux lignes. On doit chercher, dans la marche, à diminuer le plus possible les manutentions. Ainsi, par exemple, le laveur devra être plus élevé que le coupe-racines, de façon à lui permettre de verser directement les racines

dans la trémie de cet appareil, sans qu'un ouvrier soit obligé de les reprendre. De même, le hache-paille B déversera la paille coupée dans les fosses de fermentation N par une goulotte *g* et une auge inclinée *b*, qu'on fait aboutir aux compartiments 1, 2, 3. Les transports des aliments aux différents services de la ferme s'effectueront avec un wagonnet V, roulant sur des rails.

La salle de la machine a des dimensions variables suivant la force à installer: pour 8 à 10 chevaux, on lui donnera 8 mètres de long sur 5 mètres de large; les murs auront 0 m. 50 de large et supporteront une charpente légère, vitrée dans la partie *p*; des fenêtres *ff* contribueront à donner un bon éclairage. On peut les remplacer par un châssis vitré dont la charpente est faite avec des petits fers en T (fig. 151). La che-

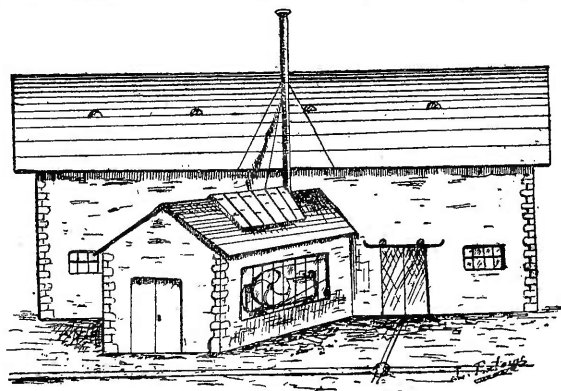


Fig. 151. — Vue extérieure du bâtiment.

minée H aura de 0 m. 24, 0 m. 27 à 0 m. 29 de diamètre et une hauteur comprise entre 10 à 15 mètres; on la soutient par des fils de fer *tt*, attachés à la toiture des deux bâtiments.

Si l'on se sert d'une locomobile, la base de cette cheminée devra pouvoir se boulonner à la chaudière au moment du travail, et les roues seront reçues dans des cavités où on les calera solidement.

Dans le cas d'une machine semi-fixe (fig. 150), la machine reposera, par sa base et par une chaise *n*, sur un massif en maçonnerie. Le volant R est relié à R' par une courroie *d*.

Quand la chaudière et le moteur sont séparés, il faut diviser le bâtiment de la machine en deux salles: l'une est appelée *chaufferie*, l'autre *salle du moteur*. Le mur de séparation de ces deux locaux est fait avec une mince cloison, en partie

vitrée, ce qui permet au mécanicien de surveiller ses deux machines en même temps.

La longueur de courroie doit être de 4 m. 50 par brin, pour

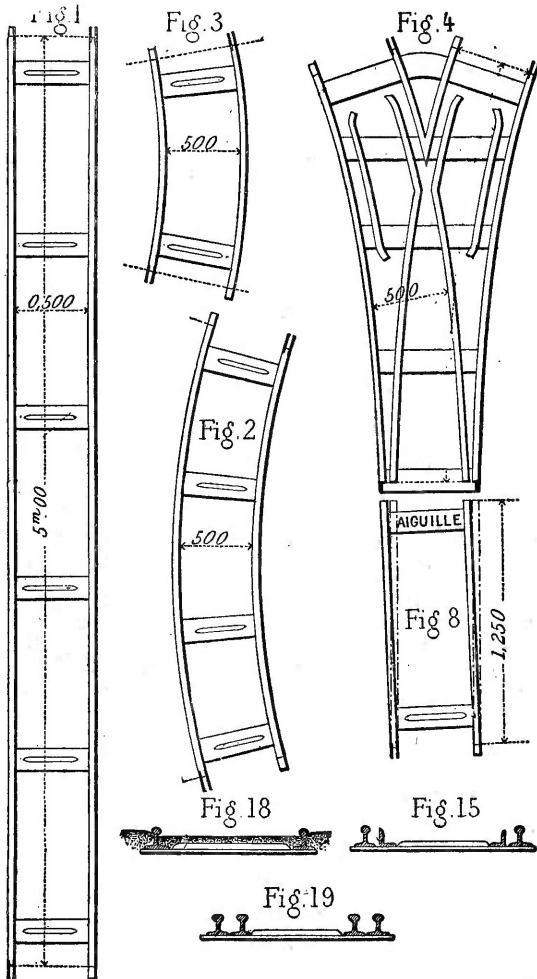


Fig. 152. — Voies Decauville.

des machines de 8 à 15 chevaux ; on ne doit pas oublier qu'une courroie trop tendue fait frein sur les poulies.

La vitesse de rotation du moteur est très importante ; c'est

elle qui règle les diamètres des poulies à établir sur les arbres de transmission. Les moteurs des locomobiles et des machines semi-fixes font 120 à 140 tours par minute ; les moteurs horizontaux, 110 à 150 ; enfin les moteurs à pilon, de 225 à 350.

Si l'on admet un volant de 1 m. 20 de diamètre calé sur le moteur de la machine, faisant 120 tours par minute, et que l'on veuille commander l'arbre des appareils à raison de 150 tours par minute, on aura :

$$\frac{D}{D'} = \frac{N'}{N}, \text{ ou } \frac{1.20}{x} = \frac{150}{120} \text{ et, } x = \frac{1.20 \times 120}{150} = 0^m,96.$$

Voies Decauville et monorails pour le service intérieur. --

Le service intérieur dans une grande ferme demande un personnel assez nombreux. C'est pour faciliter les transports de fourrage, de fumier, etc., qu'on installe des voies Decauville ou des monorails. La voie devra être distribuée dans les cours pour desservir tous les bâtiments et dépendances de la ferme, de la façon la plus économique, pour avoir le minimum de rails.

Le système Decauville, de Petit-Bourg (Seine-et-Oise), est

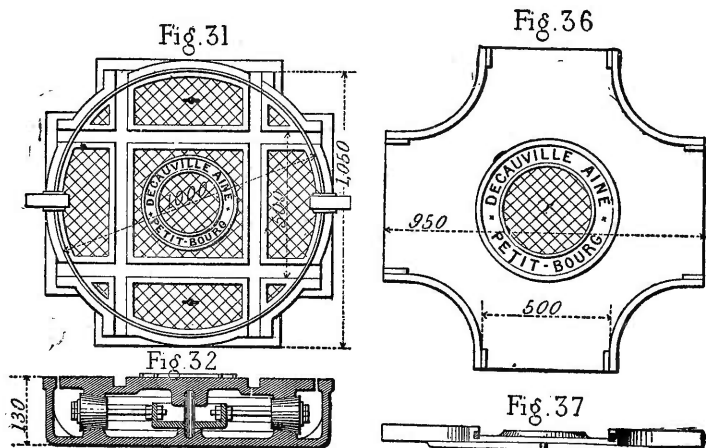


Fig. 153. — Plaque tournante à cuve (coupe et plan).

Fig. 154. — Plaque tournante lisse.

très répandu, même pour les transports de fumiers et débardages de betteraves dans les champs. Nous parlerons de la voie et des wagonnets,

Les voies sont transportables, mais elles peuvent être rendues fixes; elles comprennent deux rails en acier, du type Vignole, rivés sur des traverses en acier plat, avec partie centrale emboutie (fig. 152). Les largeurs les plus communément

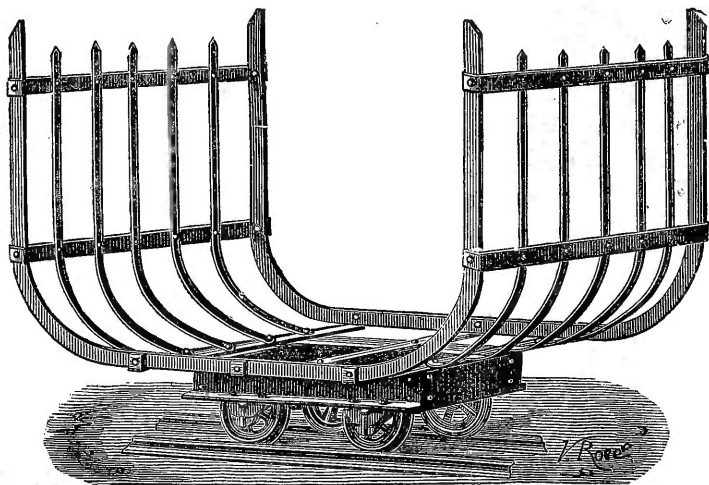


Fig. 155 — Wagonnet-corbeille.

employées sont celles de 0 m. 40, 0 m. 50, 0 m. 60; les rails pèsent 3 kil., 4 kil 500 et 6 kil. par mètre courant; les sections pèsent par mètre 9 kil. 500, 12 kil. et 15 kil.

Comme la voie est démontable et transportable, on la fait par tronçons de 5 mètres de long (fig. 1). Les jonctions se font au moyen d'éclisses et de plaques hybrides qui peuvent être boulonnées; pour les installations fixes, les déplacements sont rapides. Pour les courbes, on emploie des sections de voie (fig. 2 et 3), d'un rayon variable. Pour des intersections de voies à angle droit, on utilise des plaques spéciales. Aux changements de direction, on emploie des aiguilles que l'on déplace à la main pour passer d'une voie à l'autre (fig. 4).

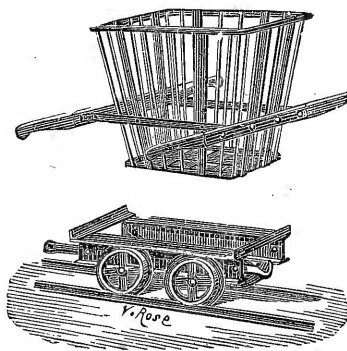


Fig. 156. — Wagonnet-civière.

A l'intérieur des bâtiments, on se sert, pour les changements de voie, de plaques tournantes ; la figure 153 montre en plan et en coupe une plaque à cuve dont le plateau a 1 mètre de diamètre, garni de 4 ornières à sa surface ; son axe est mis en mouvement par la rotation de rouleaux. On peut employer des plaques tournantes fixes (fig. 154) ; pour passer d'une voie à une autre, on fait riper le wagonnet sur ses roues.

Les wagonnets comprennent un bâti en fers cornières, monté sur 4 roues ayant un boudin, calées sur les essieux tournant dans des boîtes de graissage. Sur le bâti on dispose, suivant les produits à transporter, une caisse, de forme variable.

Pour les fourrages et fumières, on se sert du wagonnet-

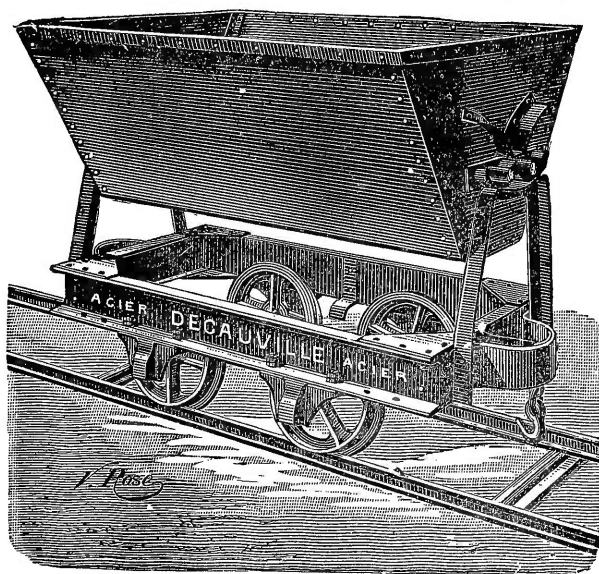


Fig. 157. — Wagonnet à bascule.

corbeille, représenté par la figure 155, la longueur est de 2 mètres sur 1 m. 50 de large et 1 m. 50 de haut.

Pour les transports de betteraves, pommes de terre, on se sert de civières à claire-voie que l'on place sur le chariot, des poignées permettent le déchargement (fig. 156).

Quand on transporte des aliments fermentés ou semi-liquides, on se sert d'un wagonnet à bascule (fig. 157). C'est éga-

lement ce type qui est employé pour les terrassements. La caisse contient 500 litres. Pour les substances liquides, telles que eau, petit-lait, les cuves sont prismatiques ou cylindriques, munies de robinets.

Les monorails commencent à se répandre de plus en plus, grâce à leur bon marché.

EMPLOI DES MACHINES A VAPEUR POUR L'IRRIGATION ET LES DESSÉCHEMENTS

Les machines à vapeur sont très employées dans l'élévation des eaux destinées, soit à l'alimentation des fermes, soit à l'irrigation. Elles commandent, à cet effet, des pompes à piston ou des pompes centrifuges. Le travail mécanique nécessaire pour une quantité d'eau donnée varie avec la hauteur d'élévation, le débit par seconde et le rendement mécanique de la pompe. Ainsi, par exemple, si on veut élever 10 litres d'eau par seconde à une hauteur de 8 mètres avec une pompe ayant un rendement de 55 o/o, il faudra que la machine développe :

Un cheval-vapeur, ou 75 kilogrammètres, élève à 1 mètre de hauteur et par seconde :

$$75 \times 0,55 = 41 \text{ lit. } 25.$$

Pour 8 mètres, la quantité élevée n'est plus que de :

$$\frac{41,25}{8} = 5 \text{ lit. } 15.$$

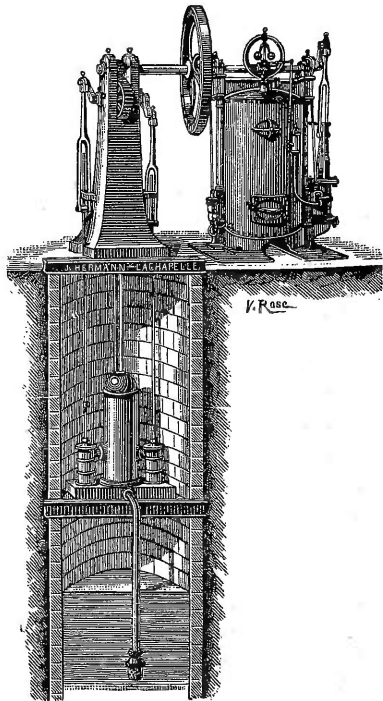


Fig. 158.— Pompe installée sur un puits.

Pour 5 lit. 15, il faut 75 kilogrammètres ; pour 1 litre, il faut :

$$\frac{75}{5 \text{ lit. } 15}$$

Et pour 10 litres, il faudra :

$$\frac{75 \times 10}{5,15} = 145 \text{ kilogrammètres,}$$

soit 1 cheval-vapeur 93.

Quand on prend l'eau dans un puits profond, l'installation la plus simple à employer consiste à établir la machine à vapeur à côté du puits (fig. 158) et de prolonger son arbre de couche jusqu'aux manivelles des pompes.

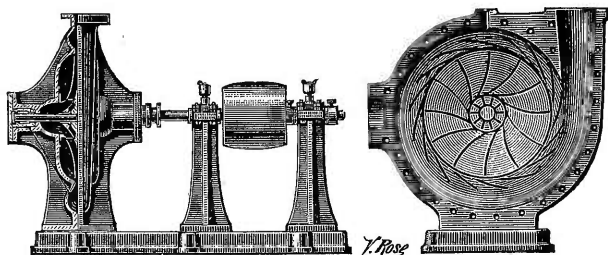


Fig. 159. — Pompe centrifuge Schabaver.

Si l'on a de grandes quantités d'eau à élever, il vaut mieux employer les pompes centrifuges. Elles occupent peu de volume et peuvent élever, sans gêne sérieuse, des eaux chargées d'impuretés, leur rotation est continue. C'est surtout leur continuité, se prêtant merveilleusement aux grandes vitesses et aux grands débits, qui les rend supérieures.

Jusqu'ici, les pompes centrifuges n'avaient donné un bon rendement que pour des hauteurs d'évaluation de 8 à 10 mètres ; au delà de 12 à 15 mètres, on renonçait à leur emploi. Il fallait avoir recours à plusieurs pompes conjuguées.

M. Schabaver, constructeur à Castres (Tarn), a résolu le problème de l'élévation de l'eau avec une seule pompe, en lui conservant un bon rendement. Celle-ci se compose (fig. 159) d'une roue à ailettes courbes, recevant l'eau par deux distributeurs logés dans les œillards et dont les ailettes dirigent les jets sur la roue. L'eau quitte cette dernière et est projetée dans un éjecteur circulaire, dont les aubes ont leurs premiers éléments tangents à la direction de la vitesse de sortie absolue de l'eau. Celle-ci s'engage dans un tuyau collecteur spiriforme, se rendant au tuyau de refoulement. L'ensemble est renfermé dans une enveloppe métallique.

Dans plusieurs expériences, le rendement s'est élevé à plus de 65 o/o pour une hauteur d'élévation de 15 mètres ; on a obtenu 57 o/o à 50 mètres ; enfin, à 120 mètres, on a obtenu encore 30 o/o. M. Schabaver, dans la construction de sa pompe, s'est basé sur la théorie des turbines hydrauliques.

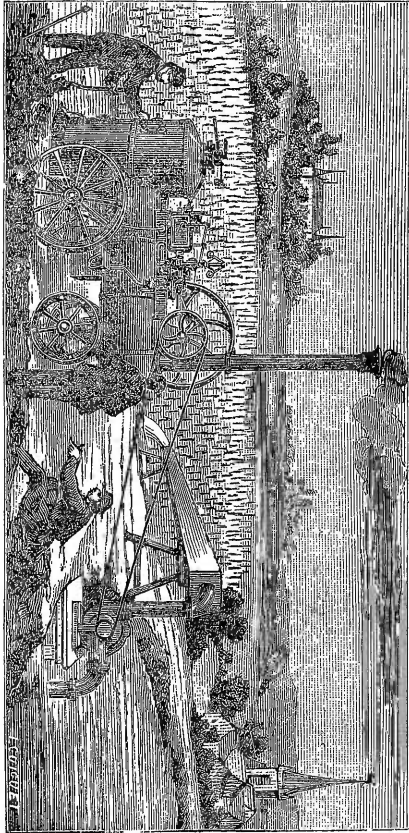


Fig. 160. — Installation d'une pompe centrifuge.

L'accouplement de la pompe se fait avec la machine à vapeur pour des élévations de 3 à 4 mètres, comme l'indique la figure 160, le tuyau de refoulement aboutit à une auge inclinée qui déverse l'eau dans un canal d'amenée. C'est surtout pour les irrigations des prairies et des vignobles que l'on peut employer avantageusement ces pompes. Il faut au moins 10 à 12 hectares de prairies pour que l'irrigation soit économi-

que. L'exemple le plus important, comme application des pompes centrifuges alimentant d'eau les canaux d'irrigation, est celui de *Katabeh*, en Égypte. Cette irrigation se fait dans la province de Béhéra, l'usine comprend 5 pompes centrifuges système Farcot, qui servent à élever les eaux du Nil dans le canal d'irrigation. Chaque pompe a 2 m. 10 de diamètre, elle fait 35 tours par minute et débite 7 mètres cubes d'eau à la seconde. Dans une journée de 24 heures, les 5 pompes élèvent 3 millions 1/2 de mètres cubes d'eau.

L'irrigation est aussi appliquée, aux vignobles du Midi, en arrosages pendant l'été, ou en submersion pendant l'hiver (procédé Faucon), qui dure pendant 20 à 60 jours. Dans la Crau, la Camargue, on applique l'irrigation pour dessaler les sols.

La machine à vapeur a été appelée à rendre d'immenses services dans les dessèchements. De grandes surfaces ont été assainies et mises en culture, rendant leur voisinage plus salubre. Les machines d'épuisement ont été les roues à palettes, les norias, les pompes centrifuges, les écopés, etc.

Citons, comme exemples de grands dessèchements, les marais du *Lincolnshire* en Angleterre, le marais Deeping, près de Spalding, d'une superficie de 10.000 hectares, employant 2 machines à vapeur de 80 à 60 chevaux chacune. Le lac de Harlem, en Hollande, d'une superficie de 18.154 hectares, fut desséché au commencement de ce siècle; la quantité d'eau enlevée ne fut pas moins de 880 millions de mètres cubes. L'usine de Leeghwater, des étangs de Koog, fonctionne constamment pour enlever les eaux surabondantes. Onze pompes Crucius dépensent 250 chevaux-vapeur. Citons également des installations dans la région des Polders du Prince Alexandre. On emploie aussi des pompes à vapeur à *action directe*; citons le système Brouhot.

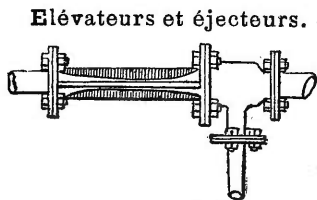


Fig. 161. — Elévateur.

Elévateurs et éjecteurs. -- Les élévateurs ou éjecteurs, ou pompes à jet de vapeur, sont des injecteurs qui servent à élever les liquides boueux ou acides. Ils demandent de la vapeur à 3 ou 4 kilogr. de pression pour des aspirations de 5 mètres. Ils peuvent marcher également avec de l'eau en charge, disposée sous une pression de 3 à 4 atmosphères. Le débit varie suivant les pressions et les diamètres des tuyaux. On se sert beaucoup des élévateurs par aspiration dans les remplissages des tenders des locomotives routières, pour les épuisements

des fondations. Dans les pompes centrifuges, on se sert également des éjecteurs d'amorçage. La figure 161 donne une vue d'ensemble de l'appareil.

Pulsomètres. — La vapeur trouve une très grande application dans les élévations d'eau au moyen de pulsomètres. Les figures 162, 163 et 164 montrent le pulsomètre Schaeffer et Budenberg (Paris) en élévation et en coupe.

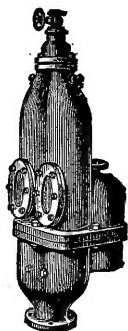


Fig. 162. — Vue d'ensemble du pulsomètre Schaeffer et Budenberg.

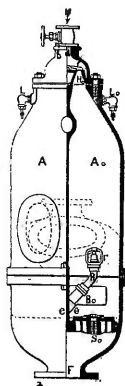


Fig. 163. — Coupe verticale.

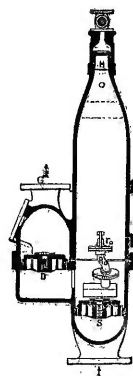


Fig. 164. — Coupe suivant l'axe de la boîte à clapets.

L'ensemble est formé par deux chambres en poire A et A₀ ; la vapeur arrive en haut suivant la flèche, elle s'introduit dans une chambre *b d*, puis fait mouvoir un tiroir *f*, qui débouche des orifices H et H₀, communiquant avec les chambres A et A₀. La partie inférieure F, appelée *chambre d'aspiration*, communique avec un tuyau plongeant dans le liquide à élever. Cette chambre est munie de deux soupapes d'aspiration S et S₀. Chaque poire communique par une soupape avec une chambre de refoulement D ; l'eau s'élève ensuite par le tuyau de refoulement G.

Voici le fonctionnement, en supposant que la chambre A₀ soit pleine d'eau. La vapeur arrive par l'orifice H₀ et presse cette eau pour la refouler par la soupape D, mais lorsque le niveau est arrivé en B₀, la surface de l'eau se trouve subitement agrandie, la condensation de la vapeur augmente rapidement, sa vitesse s'accélère et produit l'entraînement du tiroir *f* qui ferme l'arrivée de la vapeur. L'autre ouverture communiquant avec A est alors débouchée et la vapeur agit sur l'eau qui a monté par aspiration. Mais A₀ étant vide, sa pression a

diminué et l'eau s'y précipite par aspiration ; le même phénomène se reproduit à périodes égales. MM. Schaeffer et Budenberg ont ajouté à chaque chambre des injecteurs automatiques R et R₀, qui condensent rapidement la vapeur, donnant ainsi un fonctionnement régulier. Enfin, en L et L₀, se trouvent des *reniflards*, qui servent à l'introduction automatique de l'air pour amortir les chocs provenant de la condensation. La tension de la vapeur doit toujours dépasser de 1 atmosphère à 1 atmosphère 1/2 la pression de la colonne d'eau à élever. L'eau refoulée a une température d'environ 11°. Les hauteurs d'aspiration sont comprises entre 1 et 4 mètres ; les refoulements vont jusqu'à 25 m.

Les pulsomètres sont suspendus au milieu de l'eau par des chaînes ; l'installation est simple.

Battages à la vapeur. — Il n'est plus guère de régions en France, où la locomobile n'ait fait son apparition dans le battage des céréales. Le travail est plus expéditif, mieux fait et à meilleur marché qu'au fléau. Les battages se font surtout par entrepreneurs ; on estime qu'une batteuse à grand travail, actionnée par une locomobile de 8 à 10 chevaux, peut battre 120 à 160 hectol. de blé par jour, représentant le travail de 100 batteurs au fléau. L'hectolitre revient entre 0 fr. 40 et 0 fr. 45.

CULTURE A VAPEUR

HISTORIQUE

Dès que la machine à vapeur fut devenue pratique pour l'employer à l'agriculture, on songea, en Angleterre, à l'appliquer à la traction des instruments de culture. Les faits invoqués au commencement de ce siècle, en faveur de ce puissant moteur, sont encore vrais de nos jours. Avoir une force mécanique permettant de faire une culture rapide, à des prix de revient moins élevés, pour accroître la production du sol : tel est encore l'objectif du cultivateur actuel. Restreindre le nombre des animaux domestiques dans les travaux des champs, c'est économiser des matières alimentaires que ces animaux peuvent transformer en viande, en lait, etc. Employer les forces mécaniques à la production du sol, voilà l'idéal de la culture de l'avenir.

Il n'est pas utile de faire de longues dissertations sur l'état actuel de l'agriculture française, pour voir que le peu d'empressement qu'apportent les cultivateurs à l'adoption des moteurs mécaniques pour la culture des terres est dû au manque de capitaux. Les grands propriétaires terriens se désintéressent en général, en France, de l'agriculture. Et cependant, si leurs capitaux et leur intelligence étaient mis à la disposition de cette branche productive, que d'améliorations pourraient être faites !

En nous restreignant en ce qui concerne l'emploi de la vapeur, il faut constater que si elle n'est utilisée à la culture proprement dite du sol que dans quelques fermes françaises, elle est, au contraire, très employée pour la commande des treuils de défoncement, dans la plantation des vignobles.

Sans faire l'historique complet de la culture à vapeur, disons que les premiers essais furent entrepris en 1810 par le major Prats ; puis vinrent ceux de John Heathcoat aidé de Josiah Parkes en 1833, de Mac Roe en 1839, de Hanman en 1849, de Fiskens en 1852, de Fowler en 1854, de Howard, etc.

En 1858, l'Anglais Halkett a proposé un système de culture à vapeur dit *Guideways*, dans lequel le sol était sillonné de lignes de rails parallèles, servant au déplacement d'une plate-forme montée sur roues. Celle-ci était tirée alternativement par des câbles actionnés par deux locomotives routières placées sur les fourrières du champ. Les instruments de culture, tels que charrues, herses, rouleaux, semoirs, suivaient accrochés à l'arrière de la plate-forme, faisant toutes les opérations culturales d'un seul coup. Halkett estimait que la dépense en rails s'élevait à 1200 fr. par hectare ; son système ne s'est pas propagé.

A la même époque parut le cultivateur à vapeur de Romaire. Cette machine consistait en une locomotive de 12 chevaux, à l'arrière de laquelle était fixé un cylindre de 2 m. 50 de long et d'un diamètre de 0 m. 80. Ce dernier portait des lames en fer forgé, s'enfonçant dans le sol, le remuant à une profondeur de 0 m. 50. Cette machine fut expérimentée en Angleterre, aux environs de Beverley.

C'est à cette époque que les inventions se multiplièrent ; vers 1857-1858, les frères Barrat construisirent une piocheuse à vapeur, dans le but de remplacer le labourage en bandes par une sorte de bêchage du sol. Une locomotive portait à l'avant un arbre à vilebrequin, commandant une série de puissantes fourches qui, en pénétrant dans le sol, le soulevaient et l'émiettaient. La machine reculait.

Mais cette belle invention n'eut pas de succès, les pauvres

frères Barrat se ruinèrent sans avoir pu faire triompher leur idée. Nous sommes persuadé que cette tentative mériterait d'être reprise, car le bêchage est bien supérieur au labourage.

Les Anglais Kientzy et Jarry ne firent qu'une copie de la piocheuse des frères Barrat, leur machine fut employée dans les défrichements de la ferme de l'Empereur, à Sabres (Landes). Soumise à un essai public à Vincennes, en 1863, cette piocheuse ne donna aucun bon résultat. Pour répandre l'emploi du labourage à vapeur en France, il fut construit, en 1863, sur l'ordre de l'Empereur, dix charrues à vapeur du système Fowler, et furent réparties aux Écoles de Grignon, Grand-Jouan, à la ferme-école de Puilboreau, à MM. de Béville (Seine-et-Marne), Decrombecque, à Lens (Pas-de-Calais); de Sourdeval, à Laverdines (Cher); de Maussabré, à Bussières (Indre-et-Loire); Liazard, à Guéméné-Penfao (Loire-Inférieure), de Baulny, à Villeroy (Seine-et-Marne).

Pour notre étude sur les appareils de culture actionnés par la vapeur, nous ferons deux divisions :

1^o Appareils de culture proprement dite ;

2^o Treuils de défoncement.

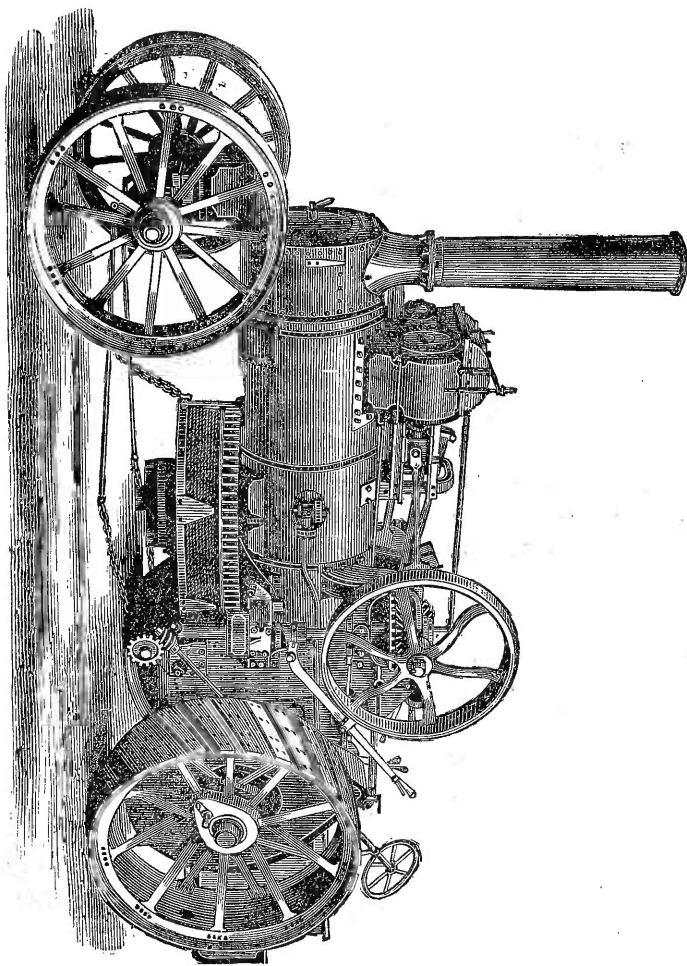
Appareils et instruments de culture Fowler. — C'est au concours de Lincoln, en 1854, que Fowler exposa sa première machine de labour à vapeur. Son système se répandit beaucoup en Angleterre et dans un certain nombre de fermes françaises.

Les instruments Fowler, construits à Leeds (Angleterre), sont vendus par M. Pilter (24, rue Alibert, Paris). Nous commencerons notre description par la locomotive routière, employée dans la traction des instruments de culture.

Locomotive routière Fowler employée pour la culture des champs. — Nous avons déjà décrit la locomotive Fowler destinée pour les transports sur routes, voici un autre système représenté dans son ensemble par la figure 165. En principe, cette machine (fig. 166) comprend une chaudière Y, du type locomotive, à foyer rectangulaire et munie en avant d'une cheminée D, l'arrière comporte un tender O, avec réservoir d'eau et de charbon. Dans ce tender est ménagée une plate-forme où se tient le mécanicien. L'ensemble de la machine est porté par quatre roues; celles d'avant B' sont à jantes planes, celles d'arrière B sont motrices pour le déplacement; leur jante mesure 0 m 55 de largeur et est garnie de lames de fer rivées obliquement, de façon à donner de l'adhérence à l'appareil dans les sols glissants.

Le mécanisme moteur est boulonné sur la chaudière ; le cylindre C est logé dans un dôme de vapeur, ou il est à Compound, la bielle L actionne la manivelle de l'arbre de couche

Fig. 163. — Vue d'ensemble d'une locomotive routière Fowler, destinée à la traction des instruments de culture (Piffet).



A. Celui-ci doit commander les roues d'arrière pour le déplacement et le treuil de traction.

Commençons par le déplacement. Le pignon *r*, lorsqu'il est embrayé, commande une roue dentée *R*, calée sur un arbre transversal *e*, munie d'un pignon *f*, à dents saillantes et très fortes. Sur celui-ci passe une chaîne de galle *m*, transmettant

le mouvement à une roue dentée S, rendue solidaire avec la roue B par un goujon *a*. Quand on veut arrêter la machine, il suffit de débrayer le pignon *r*, pour immobiliser le méca-

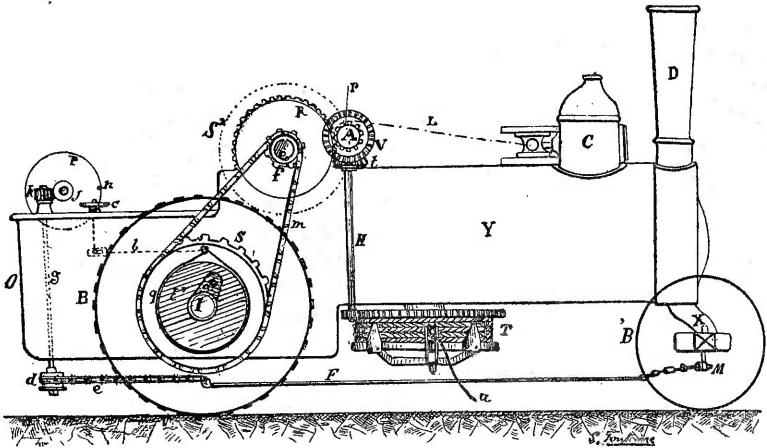


Fig. 166. — Principe de la locomotive Fowler.

nisme d'arrière. Dans les pentes, on emploie un frein à ruban très puissant *q*, embrassant un tourteau *i'*; la manœuvre se fait par un volant C, agissant sur le levier de serrage *b*.

La direction en marche est obtenue par le déplacement à droite ou à gauche de l'avant-train. Pour cela, les roues B' sont montées sur un essieu pouvant pivoter autour d'une cheville ouvrière X.

L'essieu porte en dessous deux crochets M, reliés par des chaînes à deux tringles F, terminées par une chaîne de galle *e*, engrenant avec un pignon denté *d* calé sur un arbre vertical *g*, muni en *k* d'une roue hélicoidale, commandée par une vis sans fin J, clavetée sur l'arbre d'un volant P, muni d'une manivelle *n*. En agissant sur l'ensemble, le pignon *d* tire la tringle F de droite ou de gauche, déplaçant l'avant-train.

Quand on veut mettre en marche le tambour tracteur T, on embraye le pignon conique V qui fait tourner *t* et par suite l'arbre vertical H, commandant le treuil. Celui-ci est représenté en détail par la figure 167. Le tambour métallique T, sur lequel s'enroule le câble de traction *ll*, tourne autour d'un axe DD, solidement fixé par des boulons à une embase située sous la chaudière N. L'ensemble peut être enlevé à volonté lors des réparations.

Le tambour T porte deux joues, entre lesquelles viennent se loger les spires du câble *l*. Au-dessus de la joue supérieure, se trouve une couronne dentée R, engrenant avec le pignon de commande *r*, terminant l'arbre H. Ce pignon n'est

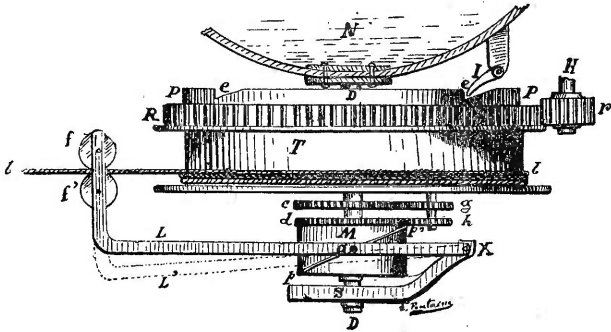


Fig. 167. — Tambour tracteur de la machine Fowler.

embrayé qu'à l'enroulement ; au déroulement, il doit être débrayé.

Sur la partie P P, formant tourteau, se trouve un frein à ruban, qui sert à limiter la vitesse de déroulement du câble. Un cliquet I prévient, dans les ruptures de câble, le retour brusque en arrière du tambour, car I s'engage dans les arrêts *e e*. Il nous reste à examiner le *guide-enrouleur* qui est des plus ingénieux.

Le câble de traction *l*, à son arrivée, passe entre deux poulies à gorge *ff'*, portées à l'extrémité d'un levier coudé L, ayant son centre d'oscillation en X. Il est animé d'un mouvement lent d'élevation et d'abaissement pour que les spires se placent les unes à côté des autres. Voici comment est obtenu ce déplacement régulier. Le levier L porte un prisonnier *a*, engagé dans une rainure hélicoïdale *p*, creusée à la surface d'un manchon cylindrique M, fou autour d'un l'arbre D. Le bord supérieur du manchon est muni d'un engrenage *d*, au-dessus s'en trouve un autre *c* ayant le même nombre de dents. Ces deux engrenages sont commandés par deux roues dentées *g* et *h*, d'une seule pièce, montées sur l'axe *p'*, claveté au tambour. La roue *g* a une dent de plus que la roue *h*. En marche, le tambour entraîne l'axe *p'* et les roues *g* et *h* tournent sur *c* et *d* ; comme *g* a une dent de plus que *h*, le manchon M avance d'une dent et fait monter ou descendre d'autant le prisonnier *a*. La courbe hélicoïdale imprime de cette façon, pendant une révolution du manchon M,

une montée et une descente au levier L. Le bras S, tournant autour de D, permet d'orienter les poulies-guides f et f' , suivant l'angle que fait le câble de traction t .

Le treuil de traction que nous venons de décrire est à simple effet et ne peut tirer en un instrument que dans un sens. Dans certaines machines Fowler on emploie deux treuils su-

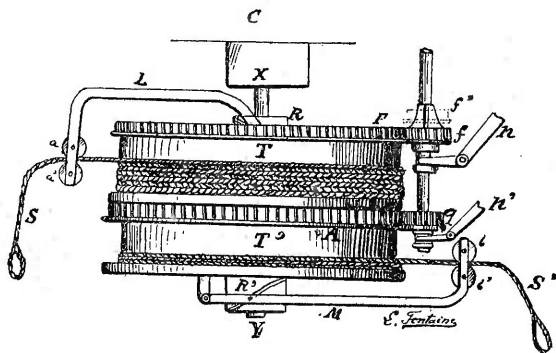


Fig. 168. — Treuil à double effet Fowler.

perposés dits à double effet (fig. 168). Sous la chaudière C se trouve fixé l'axe X Y des tambours T et T'. Le tambour T, muni d'une couronne dentée F, est commandé par le pignon f , débrayé à volonté par le levier n . Le guide enrouleur L est commandé par le tambour R, le câble S passe dans les guides $a a'$. Le tambour inférieur T' reçoit son mouvement par la couronne A et le pignon g , débrayé ou embrayé avec le levier n' . Le guide M, conduit par le tambour R', porte les poulies $b b'$, entre lesquelles passe le câble S'. En supposant que le tambour T' soit embrayé et que T soit débrayé, le câble S' est tracteur et appelle l'appareil ; au contraire, le câble S est dérouleur. L'arbre de commande des tambours o (fig. 169) prend son mouvement, au moyen d'une roue d'angle K, sur l'axe de la poulie B.

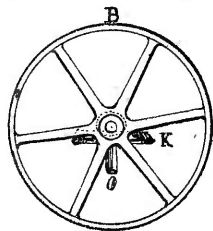


Fig. 169. — Commande des treuils.

Une machine à treuil à double effet comporte à l'extrémité opposée une ancre avec poulie de renvoi. Quelquefois l'un des tambours est tracteur et l'autre ne sert qu'au retour à vide.

Les chaudières Fowler sont timbrées à 10 atmosphères ;

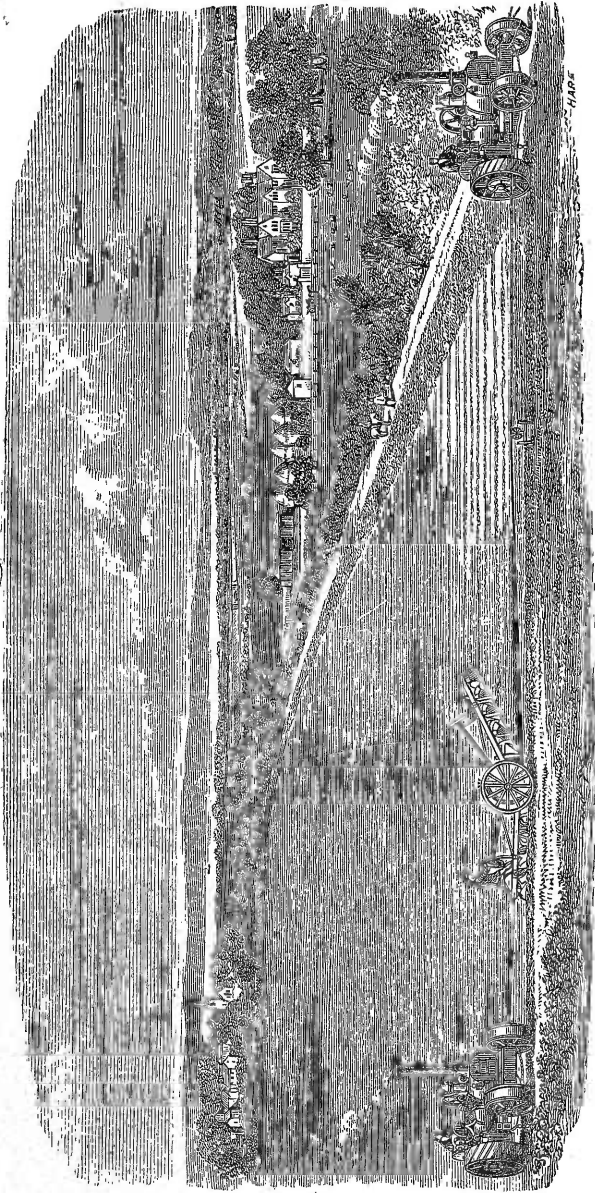


Fig. 170. — Vue d'ensemble d'un labourage à vapeur à deux machines Fowler (Piller, Paris).

la vitesse normale du moteur est de 130 tours par minute, donnant une vitesse de translation de 1 m. 22 au câble de traction. La machine se déplace à raison de 3.220 mètres par heure.

Applications des machines Fowler. — La traction des appareils de culture peut se faire de deux façons :

- 1° *En employant deux machines ;*
- 2° *En employant une seule machine et une ancre.*

1° Lorsqu'on emploie deux machines semblables, on les dispose sur les rives opposées du champ à travailler (fig. 170). Aux extrémités des deux câbles, on attache un appareil (charrue, herse, scarificateur, etc.). Cet appareil est tiré alternativement de droite à gauche : quand l'un des câbles appelle, l'autre se déroule. Une machine travaille seule à la fois et, pendant ce temps, le mécanicien dont le moteur est en repos

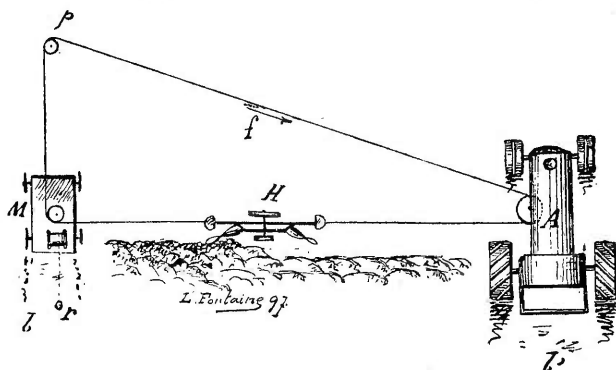


Fig. 171. — Installation Fowler à une seule machine.

le fait avancer d'une largeur égale à la surface travaillée par l'outil agricole. Il remonte en même temps la pression de sa chaudière. Donc, au fur et à mesure que le travail se fait, les deux machines avancent sur les fourrières du champ. Pour éviter que le câble frotte sur le sol, on dispose, de distance en distance, des porte-câbles que des aides déplacent à chaque passage de l'instrument agricole.

2° Dans la deuxième application Fowler, on n'emploie qu'une seule locomotive routière A (fig. 171), qui suit la fourrière *b'*; sur la fourrière opposée *b*, on installe une *ancre automobile M*, ou *chariot-ancre*, portant une poulie à gorge de renvoi. Un câble sans fin *f* est tendu sur la poulie de la machine et sur celle de l'ancre, les deux extrémités sont attachées à une charrue

H, ou à tout autre instrument. Le tambour de la locomotive est remplacé par une *poulie-pince* spéciale qui donne un serrage suffisant, afin d'éviter le glissement du câble.

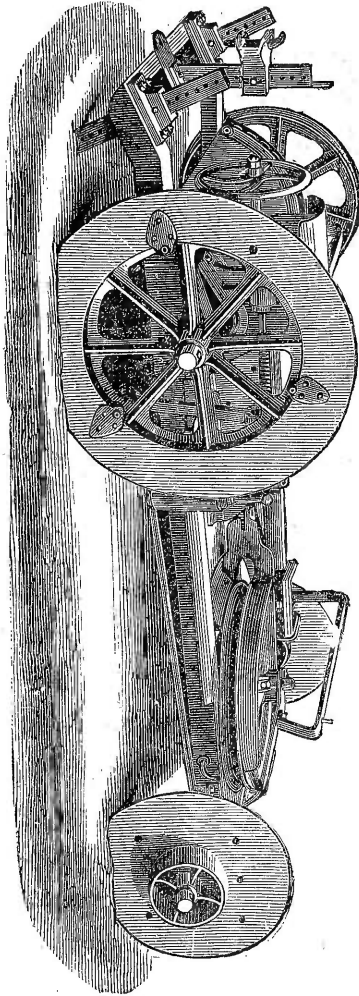


Fig. 172. — Vue d'ensemble d'une ancre automobile Fowler (Pillet)

L'ancre automobile est représentée dans son ensemble par la figure 172. Le bâti portant la poulie de renvoi est monté sur quatre disques tranchants, et trois coutres pénètrent dans le sol de la fourrière; toutes ces pièces offrent une très grande

résistance dans le sens perpendiculaire à l'action du câble. L'avancement longitudinal demande un faible effort, il se fait

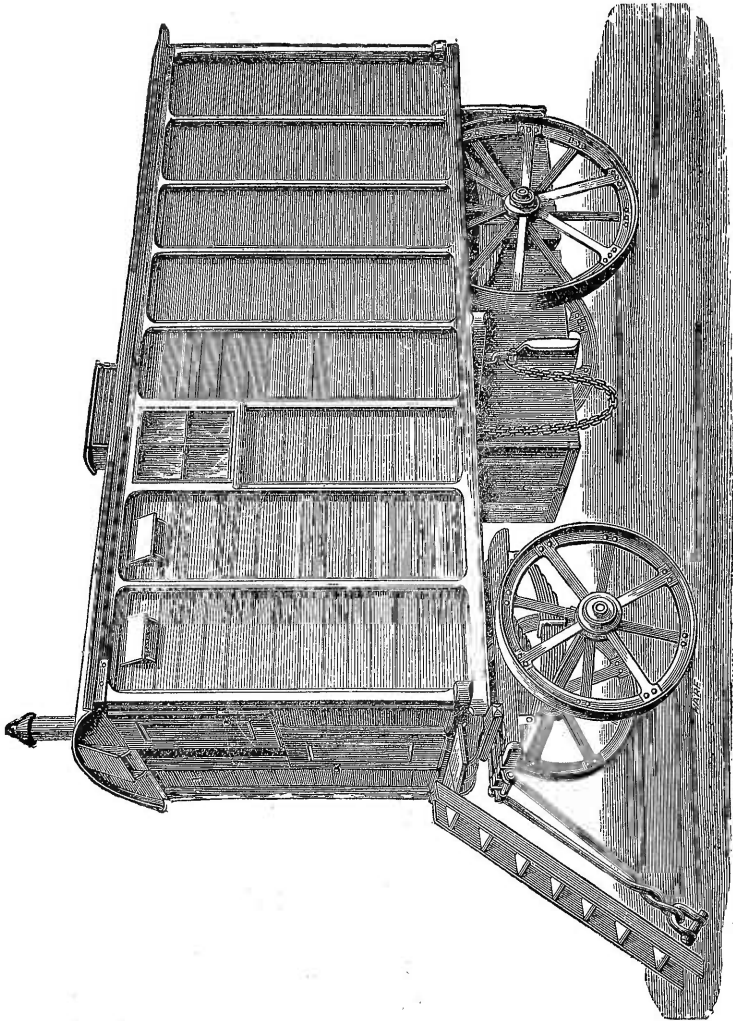


Fig. 173. — Fourgon Fowler (Pilter).

mécaniquement, au moyen d'un tambour et d'un câble qui halent l'ensemble de l'ancre vers un point fixe. L'instrument de culture fait la navette entre la machine et l'ancre automobile.

Quand l'équipe d'ouvriers affectés aux travaux des champs

se trouve trop éloignée de la ferme, on fait suivre les appareils de culture d'une voiture (fig. 173). C'est une sorte de fourgon dans lequel sont aménagés des lits et des tables pour les repas ; on peut même y placer un étau pour faire des réparations. En dessous, se trouve un coffre pour loger les outils. Dans les déplacements, le fourgon est attelé à l'arrière d'une locomotive au moyen d'une tringle. Ce système de voiture est très employé par les ponts et chaussées, dans le roulage des routes par cylindres à vapeur.

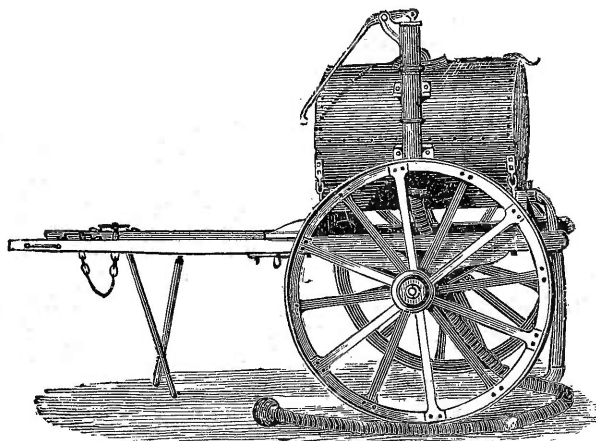


Fig. 174 — Tonneau d'eau (Pilter).

Le service d'approvisionnement d'eau pour les machines Fowler se fait au moyen de tonneaux, dont les plus simples ont la forme représentée par la figure 174. Le corps est en tôle galvanisée, et le remplissage se fait par une pompe aspirante fixée latéralement. L'ensemble repose sur un bâti monté sur deux roues.

Instruments aratoires Fowler. — La maison Fowler construit toute une série d'instruments aratoires bien étudiés pour la traction mécanique à vapeur.

En premier lieu, on a les charrues à bascule ou balances, comprenant, de chaque côté, 4, 5 ou 6 corps fixés sur un bâti triangulaire supporté par un train à deux roues réglables à volonté, pour la profondeur du labour. La direction est obtenue au moyen d'un volant, dont la tringle à vis sans fin fait osciller à droite ou à gauche l'axe du train (fig. 175).

A chaque rayage, on retourne 1 mètre à 1 m. 20 de sol en

labour ordinaire, avec un déplacement de 0 m. 90 à 1 mètre par seconde. Le labour se faisant à plat, on bascule la charrue à chaque extrémité de la raie.

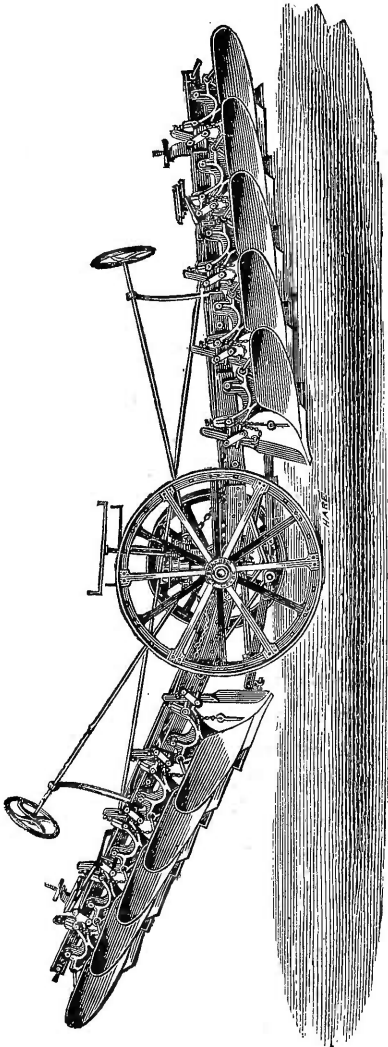


Fig. 173. — Charrue-balance Fowler (Piltet, Paris).

Pour les puissants défoncements, comme les exigent les vignobles, M. Piltet vend une charrue défonceuse à bascule,

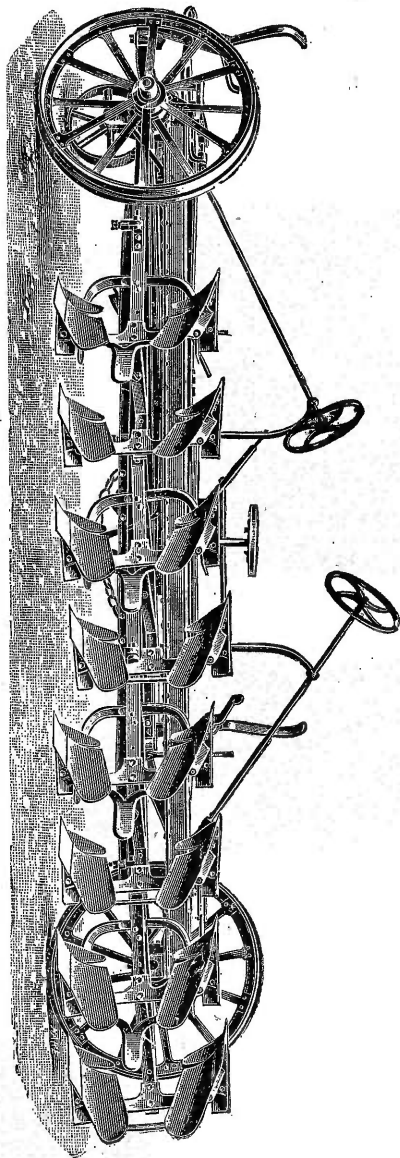


Fig. 176. — Déchaumense à vapeur Fowler (Piltier).

comprenant un corps de chaque côté et qui permet d'atteindre des profondeurs de 0 m. 50 à 0 m. 80. Ces puissantes machines ont donné d'excellents résultats dans le Midi, en Algérie et en Tunisie.

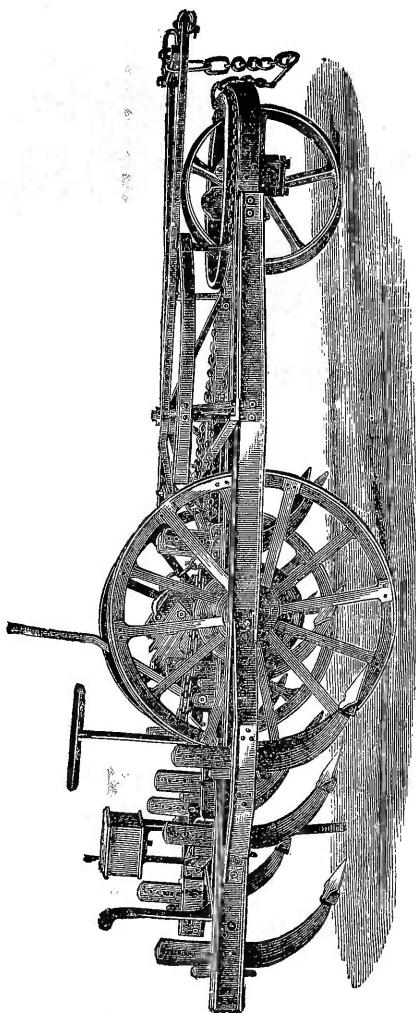


Fig. 177. — Cultivateur à vapeur Fowler (Pillet, Paris).

Pour les terres très argileuses et humides qui ont besoin d'être drainées, Fowler construit plusieurs types de charrue. Le premier est une sorte de rigoleuse, dont la puissance est

telle qu'elle ouvre par son passage une tranchée dans laquelle on place les tuyaux de drainage. Elle sert aussi à ouvrir les canaux d'irrigation dans les prairies.

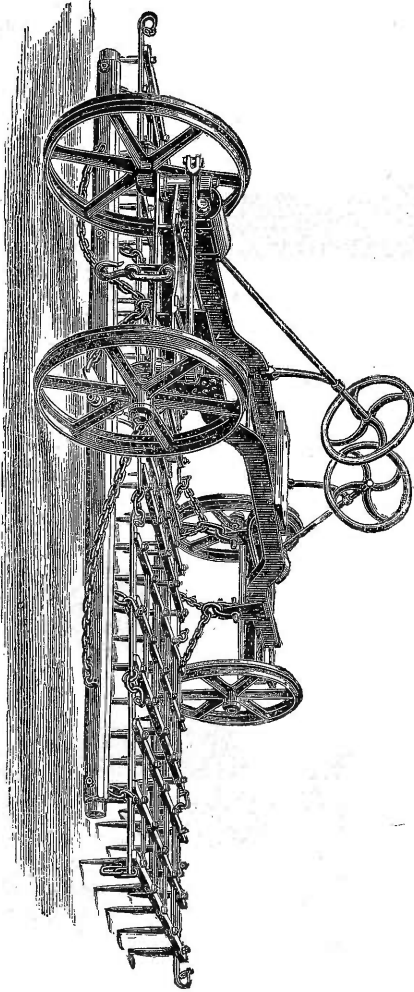


Fig. 178. — Herse à vapeur Fowler (Piltor, Paris).

M. Fowler a construit pour les besoins de la culture actuelle des déchaumeuses à retournement (fig. 176). Huit petits corps de charrue sont fixés sur un bâti triangulaire, porté par deux avant-trains dirigeables.

Surfaces travaillées. — La surface travaillée par jour varie suivant les façons culturales que l'on donne au sol. On estime que l'on peut labourer, avec une charrue à 4 socs, 4

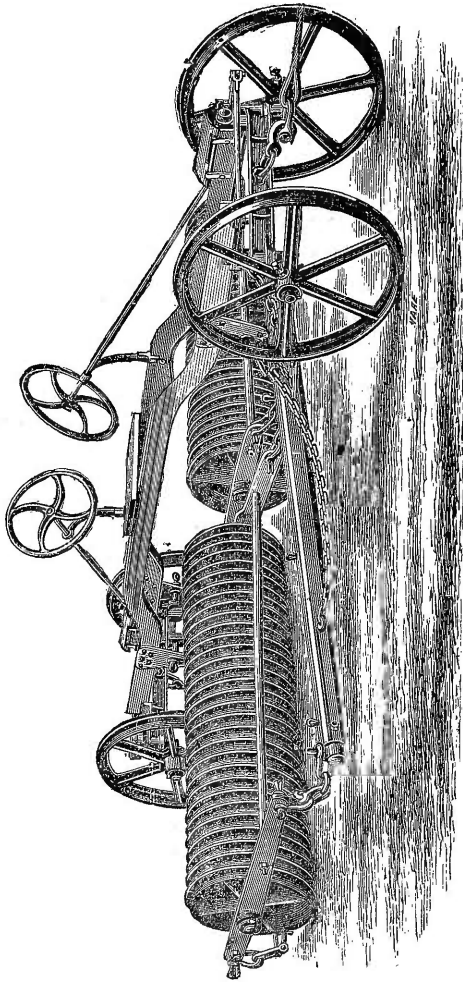


Fig. 179. — Rouleau à vapeur Fowler (Pilter).

hectares de terre à une profondeur de 0 m. 20; en hersant ou en roulant, on peut faire 7 hectares. Le prix de revient d'un labour ordinaire varie entre 18 et 20 fr.

Pour diviser et nettoyer le sol après les labours, on emploie

des cultivateurs, des extirpateurs et des scarificateurs. La figure 177 représente, dans son ensemble, un cultivateur ; le bâti est trapézoïdique, formé par une forte membrure entretoisée, soutenue par trois roues, dont celles du milieu sont mon-

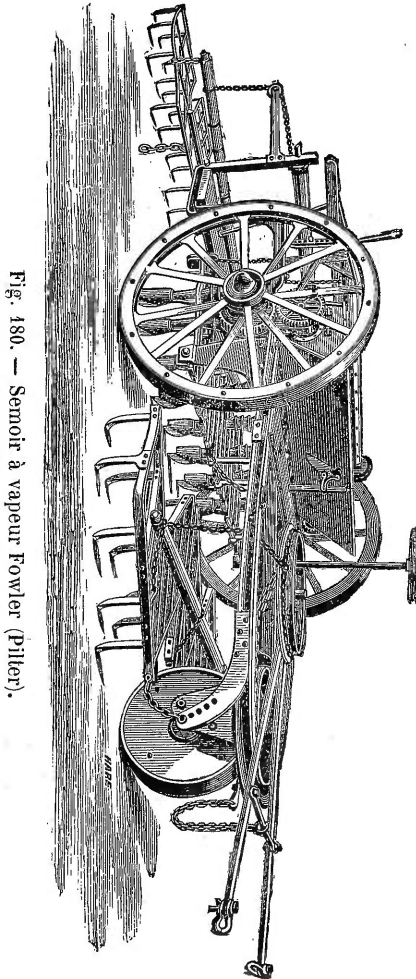


Fig. 180. — Semoir à vapeur Fowler (Piller).

tées sur un essieu coudé. A l'arrière sont fixés les pieds des socs réglables à volonté ; l'ouvrier, assis sur le siège, a sous la main le levier de terrage qui agit sur l'essieu coudé des

roues porteuses et la manivelle de direction, déplaçant un levier glissant au-dessus d'un secteur plan, qui fait dévier à droite ou à gauche le câble tracteur. A l'extrémité du rayage, le retournement de l'appareil se fait facilement par une simple orientation des câbles.

Quant aux autres instruments d'ameublissement du sol, tels que herses, rouleaux, pulvérisateurs, etc...., on les accroche en dessous d'un chariot monté sur quatre roues, dont chaque paire forme avant-train dirigeable. La figure 178 représente une herse à vapeur à plusieurs articles, accrochés à une barre de traction. Le conducteur est assis sur une planche transversale, fixée aux barreaux du bâti et dirige avec un volant l'avant-train.

On peut adapter sous le chariot, comme nous l'avons dit précédemment, deux rouleaux, soit plumbeurs, soit ondulés (fig. 179), soit croskill.

Enfin, l'ensemencement du sol se fait à l'aide d'un semoir à vapeur dont nous donnons une vue dans la figure 180. L'appareil est précédé et suivi par des herses; la direction s'obtient par un gouvernail oscillant.

Nous arrêtons ici la revue des instruments à vapeur créés par la maison Fowler, cette liste est bien incomplète; mais par les exemples que nous donnons, le lecteur pourra se faire une idée de l'admirable ensemble qu'il peut adopter dans les grandes entreprises agricoles, tant en France qu'à l'étranger.

Système Howard. — Les appareils Howard sont également construits en Angleterre, et représentés en France par M. Pilter (Paris). Le système à traction directe des appareils aratoires par deux locomotives routières est également employé.

L'innovation apportée en 1855, par Howard, dans le labourage des terres par une seule locomobile, fut le point de départ des nombreuses applications actuelles employées dans la commande des treuils de défoncement. C'est ce système que nous allons décrire. Une puissante locomobile, de 10 à 12 chevaux, commande par courroie un treuil à double tambour. Ces tambours, sur lesquels s'enroulent deux câbles, sont fous sur un essieu horizontal à double excentrique. L'une des joues de chaque tambour porte un engrenage droit, que l'on peut faire embrayer à volonté avec les pignons dentés d'un arbre intermédiaire, mis en mouvement par la courroie de la machine à vapeur. Le treuil est complété par deux brancards boulonnés à l'arrière de la chaudière.

Pour travailler sur champ, on dispose les appareils de la façon suivante (fig. 181). Sur le milieu de l'une des fourrières et à l'extrémité du champ, on dispose la locomobile A et son treuil B; puis, aux angles *f* et *h*, on place deux ancres fixes munies de grappins; enfin, aux deux angles extrêmes, on

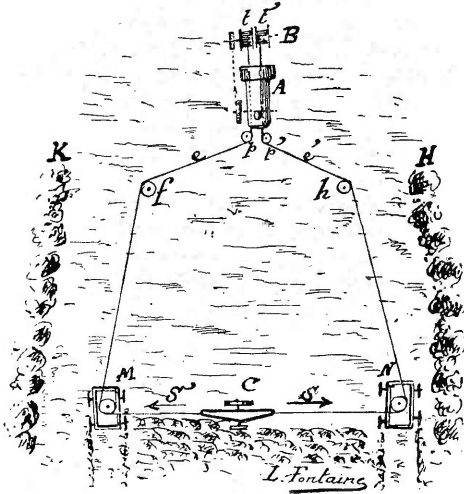


Fig. 181. — Plan de l'installation Howard en travail.

dispose deux ancres automobiles M et N, qui suivront le bord des haies K et H. Deux câbles *e* et *e'*, partant des tambours *t* et *t'*, passent sur *p* et *p'*, puis sont tendus sur les quatre poulies à gorge et attachés à l'avant et à l'arrière de la défonceuse C; ils entourent complètement la pièce. Quand on veut travailler, on embraye le tambour *t'* par exemple, le câble *e'* s'enroule et tire la défonceuse vers S à raison de 40 mètres par minute; le tambour *t*, au contraire, est débrayé et laisse le câble *e* se dérouler régulièrement sous l'action d'un frein. La charrue arrivée au bout du rayage est basculée, *t* est embrayé et *t'* débrayé; elle revient en arrière suivant S' en ouvrant sa raie. Les ancres sont automotrices, c'est-à-dire qu'à chaque rayage, un mécanisme spécial les fait avancer d'une longueur égale à deux largeurs de raie. Au fur et à mesure du travail, les ancres M et N se rapprochent de la locomobile B.

Système Fiskén. — Nous ne parlerons ici du système Fiskén qu'à titre de mémoire. Dès 1852, Fiskén proposa le

transport de la puissance d'un moteur hydraulique à distance, au moyen d'une ligne motrice formée d'un câble en chanvre, animé d'une grande vitesse et soutenu, de distance en distance, par des poteaux munis de poulies. La transmission était fermée et l'on pouvait prendre sur ce câble, à n'importe quel point, la puissance motrice au moyen de treuils pouvant se déplacer le long de la ligne courante. Un tendeur venait régler la longueur du câble suivant les variations qu'il supportait. Il est inutile de dire que la méthode Fischen peut être avantageusement remplacée, aujourd'hui, par les transports électriques.

Système Debains. — Debains, ancien professeur de Génie rural aux Écoles de Grand-Jouan et de Rennes, s'est occupé pendant longtemps, en France d'abord, puis en Algérie ensuite, de labourage à vapeur. Ses appareils, mus par locomobile, sont des plus simples et ont largement contribué à la vulgarisation des défoncements pour la plantation des vignobles.

En principe, le système Debains consiste en une locomobile ordinaire, à l'arrière de laquelle on boulonne un *treuil-tender*, muni de trois tambours de traction verticaux ; ceux des extrémités servent à l'enroulement des câbles tracteurs, celui du milieu porte 100 mètres de câble et sert à halier la machine et le treuil vers un point fixe placé en avant sur la fourrière. A l'opposé de la machine, se trouve une ancre automobile, mue à chaque rayage mécaniquement par câble. Le câble de retour passe sur une poulie-ancre avant de revenir à l'ancre automobile et à son point d'attache sur l'instrument agricole. Le guide-enrouleur Debains est des plus simples ; il consiste en un arbre horizontal portant des vis filetées dans les deux sens, commandant une mâchoire en bronze, qui anime d'un mouvement lent de va-et-vient un support muni de deux rouleaux, entre lesquels passe le câble tracteur. La mâchoire pivote à l'extrémité de la vis, pour changer le sens de l'enroulement des spires sur les tambours.

Systèmes américains. — Les Américains attellent directement leurs locomotives routières aux instruments de culture et les font déplacer dans le champ à travailler. Le moteur a ordinairement une puissance de 10 à 20 chevaux et traîne des charrues à 6 raies, qu'on sort de terre aux bouts du rayage à l'aide de leviers ou avec une petite grue à vapeur. Nous connaissons aussi, par la voie des journaux, qu'on emploie aux États-Unis des *moissonneuses-batteuses*, actionnées par de puissantes routières. Les épis sont seuls coupés et passent

au batteur qui les égrène ; la paille sert à alimenter la chaudière. C'est surtout dans les immenses plaines du Dakota, où l'on rencontre des fermes de plusieurs milliers d'hectares, que la vapeur est employée sur une vaste échelle. Les ouvriers agricoles sont utilisés presque exclusivement à la conduite des machines.

TREUILS DE DÉFONCEMENT A VAPEUR

On a cherché à simplifier les systèmes à vapeur pour les appliquer spécialement aux défoncements des terres dans les plantations des vignobles. La reconstitution s'est opérée rapidement dans le Midi de la France, et les nouvelles créations emploient de plus en plus les défonceuses à vapeur qui travaillent, en deux jours et demi à trois jours, 1 hectare de surface, alors qu'il en faut huit, neuf ou dix avec le treuil à manège. Le prix du défoncement, dans ces conditions, ne dépasse pas 150 à 175 fr. par hectare.

Le viticulteur, pour réussir sûrement ses plantations aujourd'hui, doit donner de la profondeur à son sol. Voici, en effet, ce qu'en disent MM. Viala et Ravaz dans « L'Adaptation des vignes américaines » :

« La vigne, comme toutes les plantes, exige un sol ameubli profondément. Les défoncements lui sont donc nécessaires, et ils sont même, sinon indispensables (car toutes les vignes américaines peuvent prospérer dans des terrains non défoncés), du moins d'une utilité encore plus grande pour les variétés telles que le Riparia, le Rupestris, etc., qui se développent lentement dans les terres compactes, etc., etc. La vigne végète plus vigoureusement, surtout les premières années, dans les terrains défoncés ; elle donne des fruits à la troisième feuille, tandis qu'en terrain non défoncé on ne récolte guère qu'à la cinquième ou sixième année : c'est donc deux ou trois bonnes années de gagnées. Le défoncement hâte de deux années la mise à fruit, mais il active aussi la végétation de la vigne et la place ainsi dans les meilleures conditions de développement ».

Nous ajouterons que le défoncement maintient les terres légères fraîches, assainit les terres compactes, les chauffe et, partant, provoque une végétation plus printanière : dans les deux cas, les excès de sécheresse et d'humidité sont combattus.

Nous allons plus loin, en disant qu'on peut, avec un défoncement exécuté à propos, améliorer la couche végétale, en mélangeant le sous-sol au sol. Le cas peut se présenter, par exemple, lorsqu'on a une terre argileuse reposant sur un sous-sol sableux. Le renversement donne un sol nouveau, siliceux, plus facile à cultiver et surtout plus chaud. D'autres exemples pourraient être pris, c'est au viticulteur à juger s'il a intérêt à opérer de la façon que nous venons d'exposer.

Principe du treuil à vapeur. — Equilibre dynamique. —

En principe, un treuil à vapeur (fig. 182) se compose d'un tambour à joues ou bobine E, mobile autour de l'axe M, sur

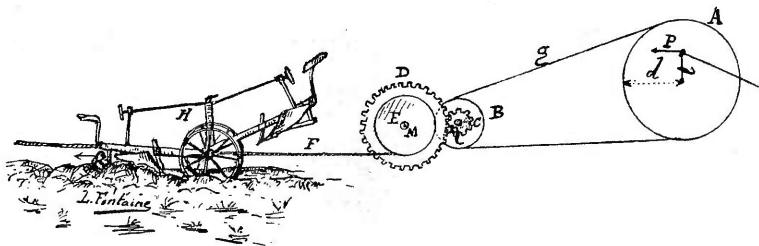


Fig. 182. — Principe du treuil à vapeur.

lequel vient s'enrouler un câble de traction en acier F, tirant la défonceuse H. Une roue dentée D fait corps avec le tambour et engrène avec un pignon C, calé sur l'axe n , muni à l'une de ses extrémités d'une poulie B, reliée par courroie à une machine à vapeur. Le mouvement se transmet de la façon suivante : la poulie A commande la poulie B, laquelle fait tourner l'axe n et par suite C D et E ; le tambour tire le câble F, et la charrue H ouvre sa raie. Quand elle est arrivée à l'extrémité de son rayage, on la ramène en arrière avec un animal ou en employant des dispositions mécaniques que nous étudierons plus loin.

Si, maintenant, nous posons que l est la longueur de la manivelle sur laquelle agit la puissance P, d le rayon de la poulie A, R celui de la poulie B, r celui du pignon C, R' celui de la couronne D, r' celui du tambour E sur lequel agit la résistance Q, appliquée à la charrue, l'équilibre sera le suivant :

$$\frac{P}{Q} = \frac{d \times r \times r'}{l \times R \times R'} ; \text{ d'où}$$

$$P = \frac{Q \times d \times r \times r'}{l \times R \times R'}$$

Détails de construction. — Le treuil est monté sur un bâti en fonte et en fer, de forme variable. Dans les treuils fixes, ce bâti est isolé de la locomobile ; dans les treuils mobiles, il est formé d'un long cadre, portant à l'avant le treuil, et à l'arrière la locomobile montée sur ses roues. Enfin, dans certains cas, comme dans les locomotives routières, le treuil est placé en dessous de la chaudière. Le tambour doit être en acier, souvent il est double, comme nous le verrons plus loin. Le câble en fil d'acier est formé de torons enroulés sur une âme en chanvre dont la résistance à la rupture varie entre 15.000 à 20.000 kil., quand il s'agit du brin destiné à tirer la défonceuse, et de 10.000 à 12.000 kil., pour le brin de retour. On emploie environ 300 mètres de câble de traction, et le double ou 600 mètres pour le retour à vide. Suivant le cas, on peut défoncer de 6 à 7 hectares sans déplacement. La défonceuse est à simple effet quand elle ne travaille que dans un

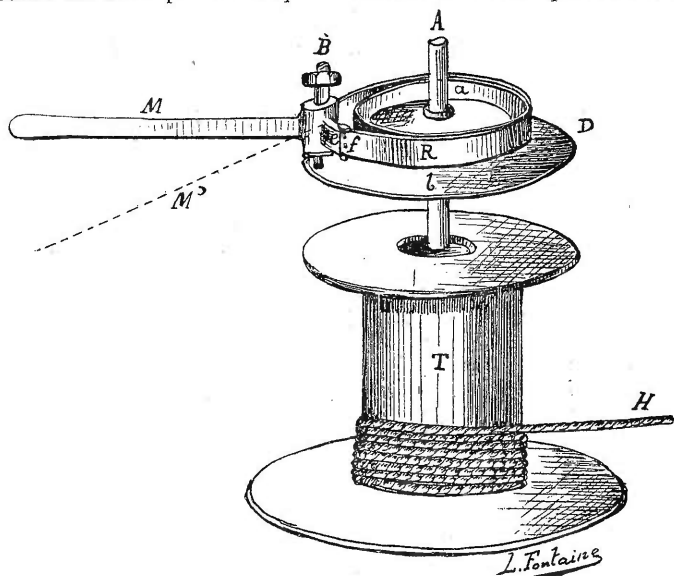


Fig. 183. — Principe d'un frein pour treuil à vapeur.

sens, ou à double effet quand elle travaille à l'aller et au retour.

N'importe quel type de locomobile peut servir pour mettre en marche un treuil. Sa force est proportionnelle au travail qu'on lui demande. On compte généralement sur des machi-

nes de 4, 5 à 6 chevaux pour des treuils à simple effet ; pendant que la défonceuse est ramenée à vide par des animaux, le mécanicien remonte la pression de sa chaudière. Pour des treuils à simple effet avec retour à vide, les forces employées sont de 8 à 9 chevaux. Les locomobiles supérieures peuvent traîner des défonceuses travaillant à l'aller et au retour ; leur force doit être d'au moins 12 chevaux.

De la force du moteur dépend la vitesse du câble de traction, et par suite, le travail effectué par jour. En pratique, on compte sur une vitesse de translation de 25 à 30 mètres par minute pour ce qui est du câble de traction, et de 50 à 80 mètres lorsqu'il s'agit du câble de retour. Dans les conditions ordinaires, on compte sur 40 à 45 arcs de surface défoncée dans une journée de 10 heures.

Pour obtenir un déroulement régulier du câble, les tambours sont munis de freins, la disposition la plus commune est représentée par la figure 183. Sur l'axe A du tambour T est calé un tourteau D, muni d'une base *b*, et d'une jante *a*. Autour de *a* est placé un frein formé d'un ruban d'acier R, réuni par ses extrémités à un levier coudé M, mobile autour de l'axe B.

Pour faire agir ce frein, on amène le levier M dans la position M', la partie *e* fait rapprocher l'extrémité *f* de la jante *a*, de sorte qu'il s'exerce une certaine pression qui absorbe de la vitesse, ralentissant le déroulement du câble.

Classification des treuils à vapeur

Au point de vue pratique, nous distinguerons les *treuils fixes* et les *treuils mobiles*, les *treuils à simple effet* et les *treuils à double effet*. Dans les treuils à simple effet, on a :

1° Ceux chez lesquels la charrue est ramenée à vide par les animaux ;

2° Ceux chez lesquels la charrue est ramenée par câble.

Les treuils à double effet font travailler la défonceuse à l'aller et au retour. En réunissant ces divisions nous obtenons e tableau synoptique suivant :

A	}	A simple effet	}	1° Défonceuse ramenée à vide par animaux.
		A double effet		2° Défonceuse ramenée à vide par câble.
B	}	A simple effet	}	1° La défonceuse trav. à l'aller et est ramenée à vide par les animaux
		A double effet		2° La défonceuse travaille à l'aller et est ramenée à vide par câble.
				La défonceuse travaille à l'aller et au retour.

A. — TREUILS FIXES

Ces treuils sont installés, avec leur locomobile à poste fixe, sur un point du champ à défoncer.

1° Treuils à simple effet. — La figure 184 représente le système Pelous. Dans un angle de la pièce à défoncer, sont installés solidement la locomobile et le treuil. Une courroie de commande croisée relie ces deux machines. Le treuil est combiné pour marcher à la vapeur ou au manège. Quand une avarie arrive à la locomobile, on la remplace par les animaux; il n'y a pas d'arrêt dans le travail, ce qui est un grand avantage. Des leviers d'embrayage sont disposés pour la marche à la vapeur ou au manège. La stabilité est assurée par deux caisses remplies de matériaux pesants, comme dans le treuil à manège ordinaire. Le câble de traction, après avoir passé sur une poulie de renvoi amarrée à la chaîne de deux piquets, vient s'enrouler sur le tambour. La transmission du mouvement est donnée à ce tambour par deux paires d'engrenages, dont l'un est conique et l'autre droit.

Quand la poulie a parcouru la longueur de la chaîne, on déplace en avant les piquets de celle-ci. Le treuil, avec 275 mètres de câble et ses accessoires, coûte 2.250 fr.; le même avec charrue est livré 3.200 fr.

Dans le système à simple effet de MM. Amouroux, de Toulouse, la défonceuse est ramenée à vide par un câble de retour. On emploie quatre ancres, dont deux se déplacent à chaque rayage sur des chaînes d'arrêt.

Comme treuil fixe à double effet, nous citerons le système Pineau, de Moulins (Allier), qui dérive du type Howard. Le champ est entouré par les câbles tracteurs, comme l'indique la figure 181. Aux deux extrémités du rayage, se trouve une ancre automobile, dont nous allons donner la description d'après la figure 185.

Elle se compose, en plan, d'un bâti rectangulaire E E E E, porté par deux essieux, dont celui d'avant M forme avant-train mobile autour d'un goujon C. Les roues sont formées par des disques tranchants D D D D, pénétrant dans le sol et donnant à l'appareil une grande stabilité, car la traction se fait perpendiculairement au plan des disques.

Deux croisillons F F soutiennent l'axe d'une poulie à gorge A, sur laquelle passe le câble *g d*. Un axe *i* porte un tambour claveté B, dont l'une des jantes est munie de saillies *p*, venant s'appuyer sur un arrêt *n* pendant l'ouverture de la raie. Sur



Fig. 183. — Treuil fixe Pelous, à retour à vide par animal ou par câble.

ce tambour s'enroule un câble *a*, attaché par son autre extrémité à un fort piquet L. Pour rouler ou dérouler ce câble, on emploie une paire d'engrenages R et *r*, mis en mouvement

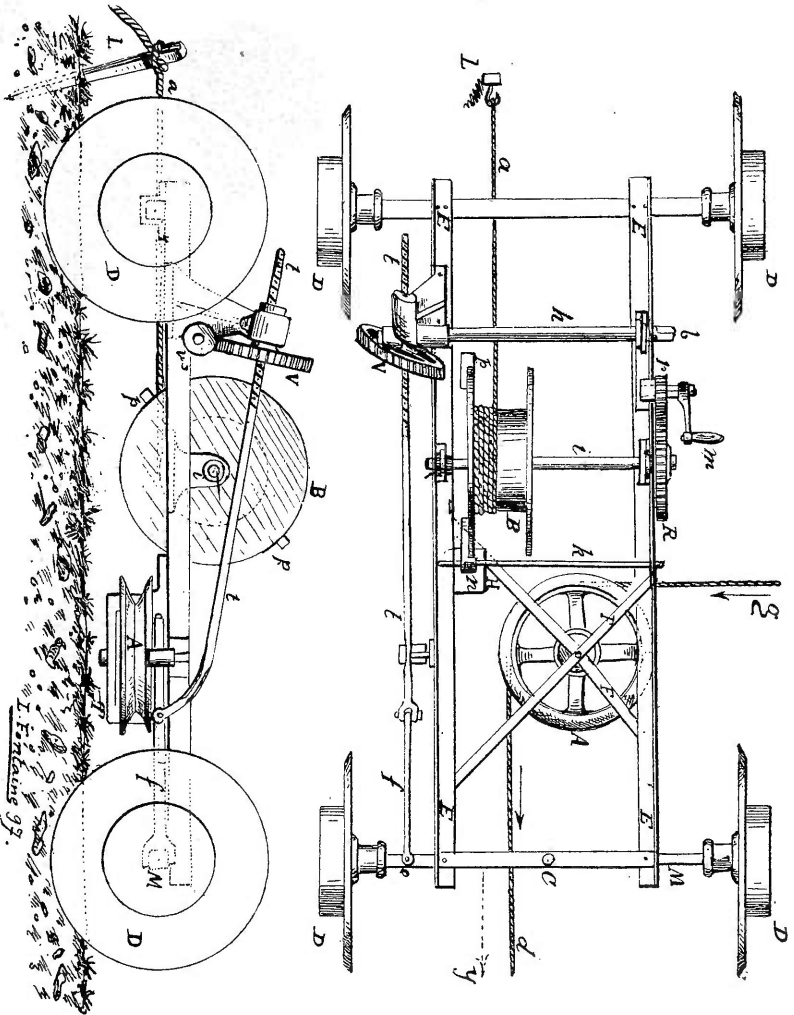


Fig. 185. — Plan et élévation de l'ancre automobile Pineau.

par une manivelle *m*. La direction de l'ancre s'obtient au moyen d'un axe *h*, terminé par une vis sans fin *v'* (élévation) engrenant avec une roue à denture hélicoïdale V Cette roue forme écrou sur l'extrémité d'une tige *l*, articulée à une

bielle f , dont la fourche o est boulonnée à l'avant-train M , l'obligeant à obliquer à droite ou à gauche. En adaptant une manivelle en b , on obtient la direction que l'on veut.

Il nous reste à expliquer comment l'ancre va avancer à chaque raie. *Le conducteur de la charrue, après avoir soulevé l'arrêt n , déroule une certaine quantité du câble a , puis il rabat l'arrêt n sur le taquet p . En remettant en marche, la traction du câble de la charrue tire l'ancre vers y , jusqu'à ce que le câble a soit tendu et offre assez de résistance pour l'immobiliser.* Dans les sols secs et rocailleux, pour faire pénétrer les disques de l'ancre, on charge celle-ci avec des matériaux pesants, que l'on place dans une caisse supérieure, non représentée dans notre dessin.

Le système de treuil Pineau a donné de bons résultats dans la propriété de M. C. Balsan, au Plessis (Allier) et au concours de Châtellerault (Vienne).

Dans ces différents cas, la profondeur du labour a atteint 0 m. 70. Le treuil coûte 2.000 fr.; 1.000 mètres de câble à 1 fr. 10 le mètre; la charrue, 1.950 fr.; deux ancres automobiles à 1.000 fr. l'une; deux poulies de renvoi à 130 fr. l'une.

B. — TREUILS MOBILES

Dans cette classe, on trouve des appareils chez lesquels le treuil et la machine à vapeur sont réunis ensemble sur un bâti se déplaçant sur deux rails parallèles, placés le long d'une fourrière, soit à main, soit automatiquement. Chez certains types, le treuil est monté sur une locomotive routière.

1^o Treuils à simple effet, avec retour à vide par animaux.

— Le treuil à simple effet ne tire la défonceuse que dans un sens; celle-ci est ramenée à vide au bout du rayage par un animal conduit ordinairement par un enfant. Cette disposition ne s'emploie guère que dans le cas où la locomobile a une faible force. Pendant le retour à vide, le mécanicien en profite pour remonter la pression de sa chaudière; ceci permet d'obtenir de profonds défoncements avec une faible force, mais le travail est peu élevé. M. Guyot, constructeur à Carcassonne, emploie encore ce dispositif.

2^o Treuils à simple effet, avec retour à vide par câble. —

Un treuil automobile se compose (fig. 186) d'un bâti rectangulaire $h h$, formé par des poutrelles et des étrésillons en fer, porté par quatre galets $g g g g$, roulant sur deux rails creux RR' . Sur un bout du bâti est monté le treuil soutenu par deux chai-

ses. Il est constitué par deux tambours T et T' enfilés sur un axe Z ; T sert à l'enroulement du câble de traction et est fou ; T' sert à l'enroulement du câble et est claveté sur l'axe Z. Chaque tambour est muni d'une roue dentée *b* et *b'* (denture à chevrons), de diamètres différents. Le mouvement est donné

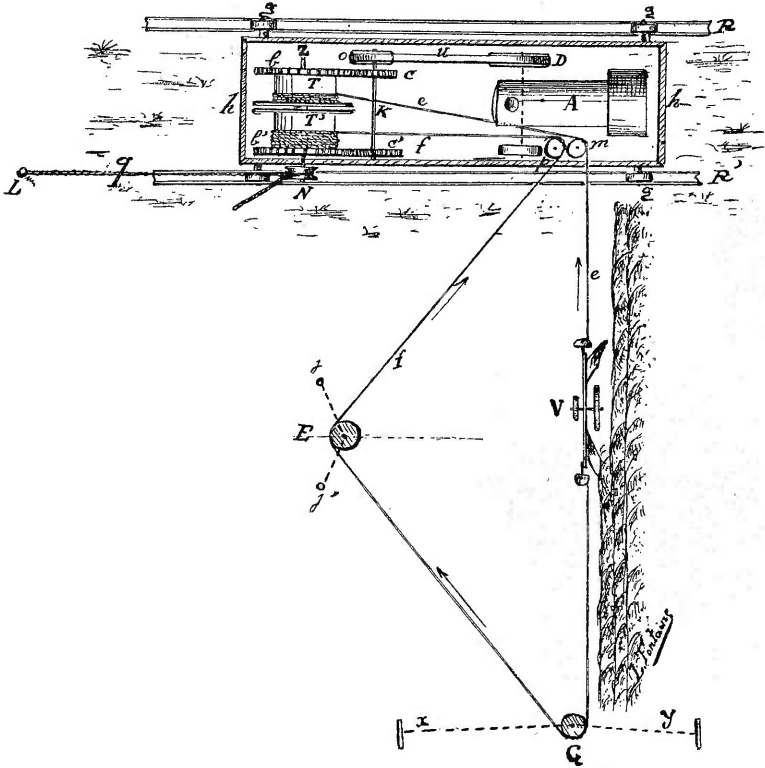


Fig. 186. — Disposition en plan du treuil automobile.

par un arbre intermédiaire K, muni de deux pignons *c* et *c'* et d'une roue *o*, réunie par une chaîne de Gall ou par une courroie au volant D de la machine. Celle-ci est du système tubulaire ordinairement à flamme directe, montée sur l'arrière du bâti ; les deux roues postérieures sont calées dans des boîtes surmontant les galets ; l'essieu d'avant repose sur deux chaises munies de paliers (fig. 187). Le poids de la locomobile donne une grande stabilité à l'ensemble et permet la suppression de tout ancrage. Pour le transport, on descend la machine, puis

on adapte deux roues et des brancards au bâti; le treuil devient indépendant. Du tambour T part le câble de traction e , qui, après avoir passé sur la poulie de renvoi m , vient s'attacher à l'avant de la défonceuse V; du tambour T' part le câble de retour $f f$, passant sur les poulies p, E, G , et vient s'attacher à l'arrière de la charrue. La poulie E est amarrée à la chaîne $j j'$, placée à 50 mètres en avant du labour; la poulie G se déplace à chaque raie sur une chaîne $x y$.

Voyons la marche. Le mécanicien embraye le tambour de traction T et débraye le tambour de retour T'. La défonceuse avance de 22 à 30 mètres par minute; arrivée au bout de la raie, par un déterrage automatique elle est basculée, son conducteur monte sur l'autre siège et le mécanicien remet en marche, en embrayant cette fois le tambour de retour T' et en débrayant T. La défonceuse revient en arrière à son point de départ, à raison de 70 à 80 mètres par minute. En dehors de ces manœuvres, on doit : 1° avancer la poulie G d'une certaine quantité de mailles sur $x y$; 2° déplacer d'une même quantité l'ensemble du treuil sur les rails. Pour cela, le mécanicien, au moyen d'un petit câble q attaché à un piquet L, enroule celui-ci sur une poupée N, calée à l'extrémité de l'axe Z. Il profite, pour faire cette manœuvre quand T' est embrayé, pour ramener en arrière la défonceuse; l'axe Z fait tourner N sur lequel se roule une partie du câble q , et par suite, le tout se hale vers L. Quand le mécanicien juge que l'avancement est suffisant, il enlève le câble de la poupée, et le mouvement est arrêté.

Dans ce genre de treuil, nous trouvons celui de MM. Pelous, de Toulouse, dont la figure 187 donne une vue d'ensemble de l'installation sur champ. La maison Pelous construit deux numéros de treuils. Le premier coûte 4.200 fr., il est accompagné de 300 mètres de câble de traction, résistant à une traction de 14.000 kil.; de 600 mètres de câble de retour, résistant à 6.500 kil.; de deux poulies à gorge; d'un câble de retenue de 25 mètres; d'un jeu de clés et de rails. Le N° 2 coûte 4.500 fr. et comporte les mêmes accessoires, avec cette différence que les câbles ont des résistances de 10.000 kil. et 20.000 kil.

Système Guyot. — Un très bon système de treuil à vapeur est celui de M. Guyot, constructeur à Carcassonne (Aude); il jouit d'une très haute réputation dans le Midi de la France. La figure 188 donne la vue d'ensemble de ce système. Le treuil est porté à l'avant d'un cadre sur un bâti spécial; la locomobile repose sur une plate-forme à l'arrière. Le tout est monté

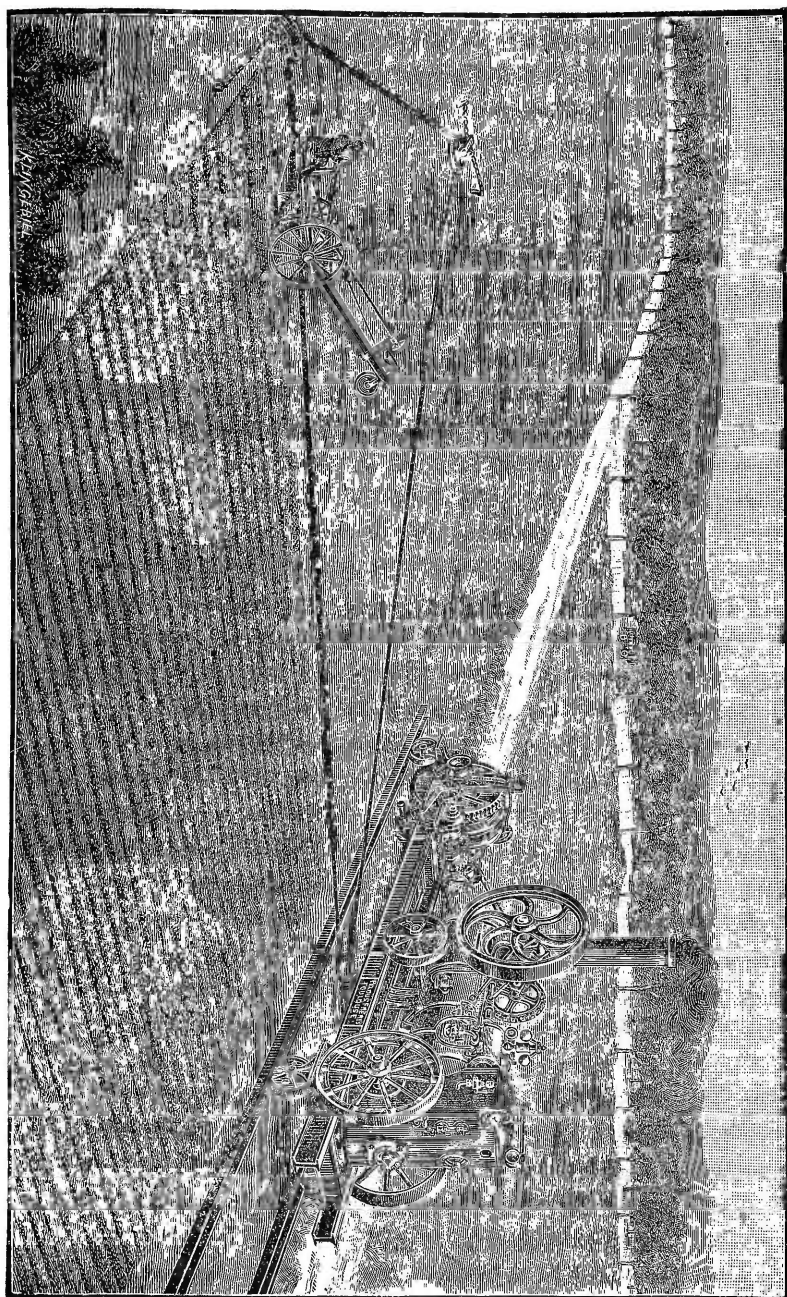


Fig. 187. — Vue d'ensemble d'un treuil Pelous en travail.

sur quatre galets et roule sur deux rails parallèles. Le treuil en lui-même porte trois axes; celui d'avant est muni d'une poulie de commande, reliée par courroie au volant de la machine; il porte un pignon engrenant avec la roue dentée du deuxième arbre (intermédiaire) tournant à 30 et 35 tours par minute, et ayant le tambour de retour et un pignon comman-

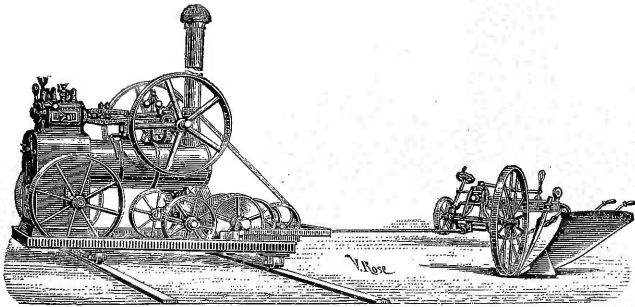


Fig. 188. — Vue d'ensemble du treuil Guyot avec sa défonceuse.

dant le troisième arbre, portant le tambour tracteur de 0m. 50 de diamètre et tournant à 15 ou 16 tours par minute. La locomobile employée varie entre 6 à 8 chevaux, et est du type locomotive à flamme directe; l'arbre de couche fait 120 tours par minute. Les engrenages sont calculés de façon à donner une vitesse de 24 à 25 mètres par minute au câble de traction, et 50 à 60 mètres au câble de retour à vide.

Pour faire l'installation au champ, on commence par monter la machine sur sa plate-forme, en employant le câble du treuil; le tout est roulé sur les deux rails de la fourrière. Les câbles s'installent comme nous l'avons indiqué dans le système Pelous, c'est-à-dire en formant un triangle.

La défonceuse étant portée au bout du rayage et bien en face du treuil, on met en marche en embrayant le tambour de traction et en débrayant celui de retour. La raie ouverte, le tambour de traction est débrayé et le tambour de retour embrayé; la charrue revient en arrière. Il faut en outre, à chaque rayage, avancer la locomobile et le treuil d'une largeur de rail au moyen d'une pince en fer, et à l'autre bout déplacer d'une certaine quantité de mailles la poulie de renvoi.

Pour conduire l'appareil, trois ouvriers suffisent; l'installation complète ne demande guère que deux heures. Voici les prix auxquels sont vendus les appareils Guyot :

1^o Treuil à vapeur monté sur son traineau, avec 250 mètres

de câble de traction, résistant à 15,000 kil. ; 500 mètres de câble de retour, résistant à 10.000 kil. ; une poulie de retour, une chaîne de retenue en fer de Suède, quatre rails en acier, une massue, un jeu de clefs en acier, etc., 4.200 fr. ; une charrue en acier très résistante, 950 fr. La simplicité et le bon fonctionnement du treuil Guyot le recommandent à ceux qui ont de grands défoncements à opérer.

Système Boulet. — Le système Boulet est adopté par M. Bajac, de Liancourt (Oise), pour actionner ses défonceuses. La disposition du treuil est représentée, en plan, par la figure 189. Le bâti est formé d'un cadre reposant par quatre petits

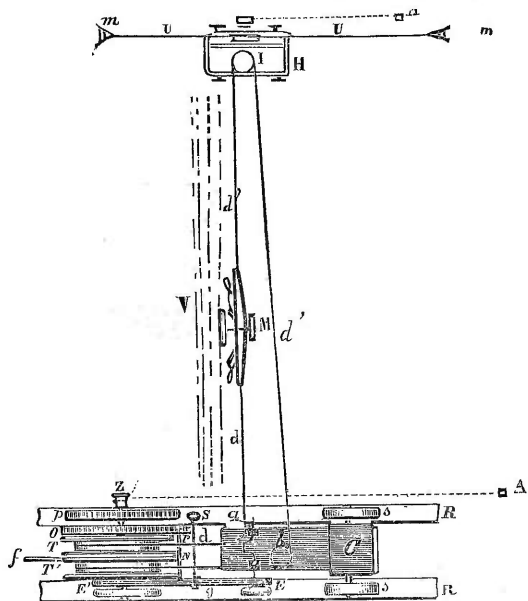


Fig. 189. — Vue en plan du treuil Boulet (Bajac).

galets, à l'avant de la locomobile, sur les rails R R. Le tambour tracteur T et le tambour de retour T' sont montés sur le même axe. On peut les commander alternativement au moyen d'un embrayage à griffe *f*, claveté sur l'axe des poulies.

La locomobile C, munie des roues *ss*, peut se déplacer avec le treuil vers un point fixe A, au moyen d'un câble que le mécanicien enroule sur la poupée Z. Le treuil est commandé par une courroie croisée *g*, passant sur la poulie E de la machine

et sur les poulies fixe et folle E'. Un débrayage à mâchoire s permet le déplacement de la courroie.

La commande de la défonceuse M se fait par le câble *d*, s'enroulant sur le tambour tracteur T et par le câble *d'*, relié au tambour de retour T'. Ces câbles passent d'abord sur deux poulies de renvoi *a* et *b*, situées sous la machine, puis sur I. Celle-ci est située sur la fourrière opposée et peut être fixée à une *chaîne-amarre* ou sur un chariot-ancre H. Son bâti porte des disques tranchants pénétrant en terre pour donner de la stabilité; au moyen d'un levier A', un manoeuvre peut faire avancer l'ancre sur le câble U U, relié aux deux points fixes *m m*. Le treuil N° 1 coûte 3.300 fr., et le treuil N° 2, 4.000 fr.

Système Pécard. — MM. Pécard, de Nevers, construisent un treuil dit *automatique*, dans lequel l'avancement de la locomobile et du treuil se fait mécaniquement. Le mouvement est donné à l'arbre des galets par des vis sans fin.

Locomotives routières à treuil. — Ces appareils, nous devons le convenir, sont un peu lourds, d'un prix élevé, mais ils ont l'immense avantage d'avoir des chaudières et des moteurs puissants, pouvant effectuer les plus grands défoncements d'une façon régulière.

Les constructeurs sont parvenus à créer des types pouvant passer dans les chemins difficiles et se déplaçant dans les champs à sol relativement peu solide. La locomotive routière trouvera donc sa place chez les propriétaires de grands vignobles et chez les entrepreneurs. Ces machines *auto-motrices* se transportent facilement d'un lieu à un autre et peuvent prendre place à la ferme comme moteur pour commander les appareils d'intérieur.

Comme système, on a ceux de Fowler, que nous avons déjà décrits. La locomotive, munie de 300 mètres de câble de traction et 500 mètres de câble de retour, coûte 21.500 fr. Signalons également les excellentes *locomotives laboureuses*, de MM. Pécard, de Nevers. Ces machines sont à Compound et à deux treuils; pour des forces de 25, 40 et 50 chevaux, elles coûtent 18.000, 20.550 et 23.500 fr. La chaudière est timbrée à 12 kil. et consomme environ 600 kil. de charbon par hectare défoncé.

Treuils mobiles à double effet. — Les treuils de ce groupe tirent la défonceuse dans les deux sens et lui font ouvrir une raie à l'aller et au retour. Ces machines demandent une force d'au moins 12 chevaux. Plusieurs dispositifs peuvent être employés :

1° La machine à vapeur est d'une force suffisante. Dans ce cas, on emploie une locomotive routière et une ancre automobile ;

2° Quand la machine n'est pas assez puissante, on est obligé d'employer deux locomotives routières ou deux locomobiles, commandant chacune un treuil. La figure 190 donne, en plan,

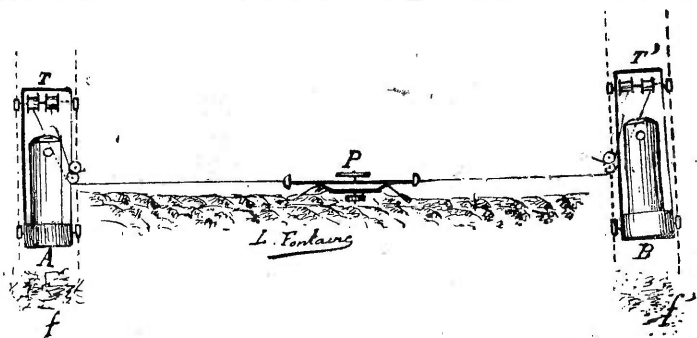


Fig. 190. — Principe d'une installation avec deux machines.

une installation de ce genre. Sur les fourrières f et f' sont placées deux machines A et B ; les treuils sont en T et T'. Les deux câbles de traction s'attachent à l'avant et à l'arrière de la défonceuse P. Pendant qu'une machine travaille, l'autre est avancée par son mécanicien. Ce dispositif n'est adopté que pour des défoncements importants.

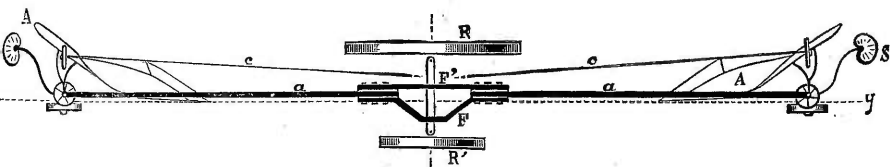


Fig. 191. — Plan de la défonceuse Bajac.

Les charrues employées pour les treuils à double effet sont à deux corps de charrue du type bascule. Un système excellent est celui de M. Bajac, constructeur à Liancourt (Oise).

Cette puissante défonceuse est entièrement en acier, elle se compose, en plan (fig. 191) et en élévation (fig. 192), d'un âge en deux pièces $a a$, à section rectangulaire, boulonnées à des entretoises F et F', supportées par un train K, à roues inégales R R'. Chaque corps de charrue comprend une ancre, un sep, un étançon et un grand versoir A. L'extrémité du

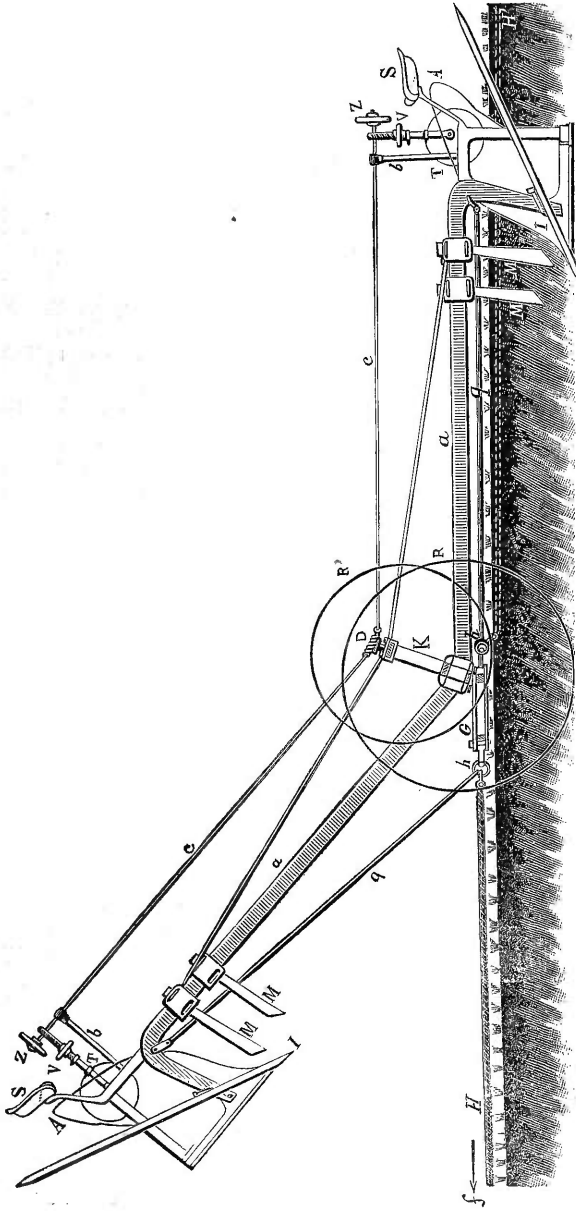


Fig. 192. — Elevation de la défonceuse Bajac:

soc est munie d'une barre mobile I, destinée surtout pour les terrains pierreux et durs. En avant, viennent les coutres M M, d'inégale longueur, chargés de découper verticalement

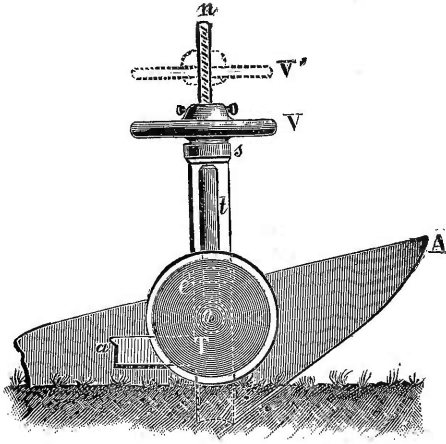


Fig. 193. — Réglage de la profondeur du labour.

la bande de terre suivant xy ; ils sont maintenus par de puissants étriers américains.

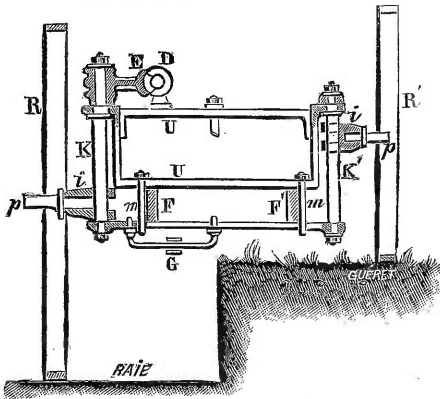


Fig. 194. — Coupe du train de la défonceuse.

Le réglage en profondeur se fait de l'arrière, au moyen d'une vis de terrage V, représentée avec plus de détails par la figure 193. A l'extrémité de l'âge a se trouve une pièce ver-

ticale *t*, munie de colliers *e* et *s*, dans lesquels coulisse une tige filetée *n*, avec volant de commande *V*. La partie *O* sert d'axe de rotation à un galet de terre *T*, qui roule sur le guéret. On comprend facilement qu'en agissant sur le volant *V*,

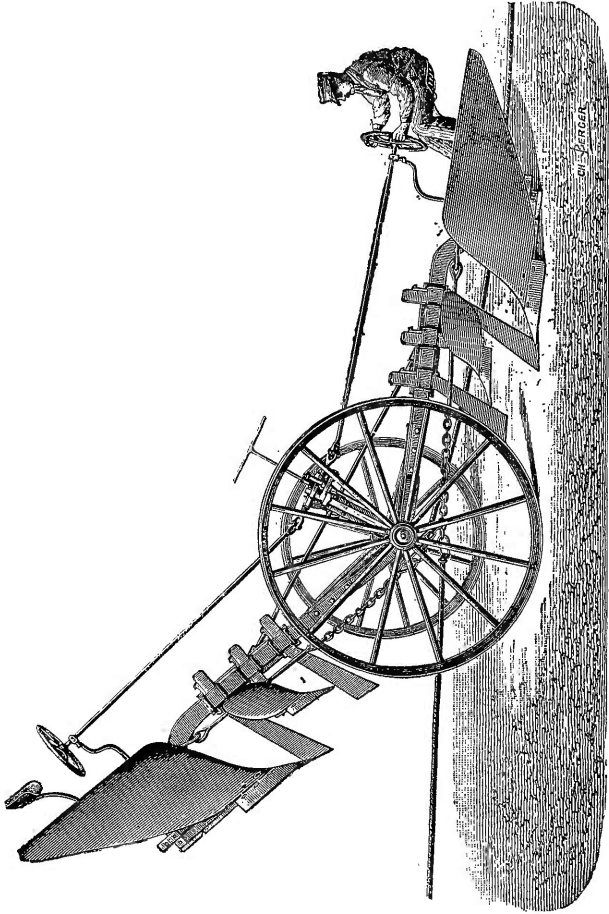


Fig 195. — Défonceuse Bajac en travail.

on fait monter ou descendre le galet *T*, ce qui fait abaisser ou soulever le corps de charrue *A*. Le point d'application de la traction est reporté très en arrière, de façon à faire talonner la défonceuse ; une tringle *q* est reliée, par des anneaux *h h*, à un collier glissant et suspendu *G*, auquel sont attachés les câbles *H* et *H'*. Comme la charrue est représentée (fig. 192),

le brin H tire la défonceuse suivant *f*, tandis que H' se déroule ; au bout du rayage, on fait basculer l'instrument et H' devient tracteur, tandis que H se déroule.

Le train sur lequel repose le bâti F F' est représenté par la figure 194 ; il se compose d'un support U U, porté par deux axes verticaux K et K', munis d'étriers *m m*. Sur K et K', se fixent, au moyen d'étriers *i i*, les fusées *p p* des roues R R', de diamètres inégaux. La roue R' roule sur le guéret, tandis que R est dans la raie. Sur K est claveté un secteur denté E, engrenant avec une vis sans fin D, et commandé par un arbre incliné *c*, à manivelle Z, soutenu en *b*. Ce mécanisme constitue l'appareil de direction, que le conducteur, assis sur le siège S, peut manœuvrer commodément. Le réglage des roues R et R' se fait pour un défoncement donné ; de l'arrière, le conducteur corrige les écarts au moyen de la vis de terrage V.

La figure 195 montre l'ensemble de la défonceuse en travail, elle peut exécuter des labours de 0 m. 60 à 0 m. 70 de profondeur ; son poids varie de 1.200 à 2.500 kil. et est vendue au prix de 1 fr. 20 le kil.

La traction exigée par décimètre carré de section de raie varie suivant les terres ; on estime que dans les sols légers, celle-ci est de 36 à 40 kil. ; dans les sols argileux, de 55 à 60 kil. Si donc, on admet une défonceuse ouvrant une raie de 0 m. 50 de large sur 0 m. 55 de profondeur, à la vitesse de 0 m. 45 par seconde, dans un sol argileux demandant un effort de 58 kil. par décimètre carré, on aura :

$$\text{Traction..} \dots\dots\dots 5 \times 5.5 \times 58 = 1.595 \text{ kil.}$$

$$\text{Travail par seconde} \quad 1.595 \times 0.45 = 717,75 \text{ kgm., soit}$$

$$\frac{717,75}{75} = 9,56 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Ceci ne représente que la force employée pour le labour, il faut ajouter le travail nécessaire à la translation de la défonceuse, le frottement des câbles, les pertes du mécanisme du treuil, etc., qui augmentent la puissance du moteur.

TABLE DES MATIÈRES

Machines à vapeur

	Pages
Historique de la machine à vapeur.....	1
Emploi de la vapeur en agriculture.....	3
Principe d'une machine à vapeur.....	5

Générateurs à vapeur

Appareils de chauffage d'une chaudière.....	5
Foyer.....	6
Carneaux.....	7
Cheminée.....	9
Combustibles.....	15

Chaudières

Chaudières à foyer extérieur.....	16
Chaudière de Watt.....	16
Chaudière de Woolf.....	16
Chaudières à bouilleurs.....	17
Chaudières à bouilleurs réchauffeurs.....	18
Chaudières à bouilleurs superposés.....	20
Chaudières verticales à bouilleurs.....	21

Chaudières à foyer intérieur

Chaudière de Cornouailles.....	23
Chaudières Fairbain et de Lancashire.....	24
Chaudière de Galloway.....	24

Chaudières tubulaires

Classification des chaudières tubulaires.....	26
Chaudières tubulaires à flamme directe.....	26
Chaudières tubulaires à retour de flamme.....	28
Chaudières semi-tubulaires.....	30

Chaudières à tubes bouilleurs

Chaudières Field.....	31
Chaudière Belleville.....	33
Chaudière Niclausse.....	37
Chaudière Babcock et Wilcox.....	42
Chaudière à vapeur instantanée.....	43
Puissance d'une chaudière.....	43
Dépôts et incrustations des chaudières.....	43
Explosions des chaudières.....	44
Calcul de l'épaisseur de l'enveloppe des chaudières.....	44
Épreuve des chaudières.....	45
Pompe d'épreuve.....	46

Appareils d'alimentation des chaudières

Classification des appareils d'alimentation.....	46
Bouteilles alimentaires.....	46
Pompe alimentaire à piston plongeur.....	47
Pompe à vapeur à action directe.....	48
Injecteurs.....	49
Injecteur Giffard.....	49
Classification des injecteurs : injecteurs aspirants et non aspirants.....	51
Clapet de retenue.....	52
Conduites de vapeur.....	53
Ballon de prise de vapeur.....	53
Robinets de vapeur.....	54
Détendeurs de vapeur.....	55

Appareils de sûreté et de contrôle des chaudières

Classification des appareils de sûreté et de contrôle des chaudières.....	57
Manomètres.....	58
Timbre des chaudières.....	59
Manomètre Bourdon.....	59
Manomètre Ducomet.....	60
Soupapes de sûreté : principe.....	61
Différentes soupapes ordinaires.....	62
Formule du diamètre d'une soupape.....	62
Soupapes à ressort.....	63
Soupapes à balance.....	63
Soupapes à échappement progressif.....	63
Clapet de retenue de vapeur.....	65
Indicateurs de niveau d'eau.....	66
Tube indicateur de niveau d'eau.....	66
Niveau à bouteille.....	68
Niveau à gaine.....	68
Niveaux à clapets de sécurité.....	68
Indicateurs de niveau d'eau à flotteurs.....	68
Indicateur magnétique de Lethuillier et Pinel.....	68

Robinets de jauge.....	69
Sifflets d'alarme.....	70
Bouchons fusibles.....	72
Sifflets.....	73

Législation concernant l'établissement des chaudières

Décret du 30 avril 1880.....	73
Décret du 29 juin 1886 (supplément au décret du 30 avril 1880)...	80
Déclaration à faire pour installer une machine à vapeur.....	82

Moteurs à vapeur

Principe d'un moteur à vapeur.....	83
Parties principales d'un moteur à vapeur.....	84
Bâti.....	85
Cylindre.....	85
Piston.....	87
Parties d'un piston.....	88
Cylindres spéciaux.....	90
Distributeur de vapeur.....	90
Distributeur à tiroir à coquille.....	91
Fonctionnement du piston et du tiroir.....	92
Espace nuisible.....	93
Distributions perfectionnées.....	93
Distribution Corliss.....	93
Distribution Farcot.....	96
Distributions Wheelock et Sulzer.....	96
De la détente.....	96
Détente fixe par le tiroir.....	97
Détente Meyer.....	99
Détente Farcot.....	100
Coulisse de Stephenson.....	102
Détentes variables par le régulateur.....	104
Régulateur de la détente Farcot.....	104
Détente Weyher et Richemond.....	105
Avantage économique de la détente.....	106
Moteurs à plusieurs cylindres.....	108
Machines de Woolf.....	108
Machines Compound.....	109
Moteurs jumelés, en tandem, en cascade.....	111

Appareils annexés au cylindre

Condenseurs.....	111
Condenseur horizontal à pompe à air à double effet.....	112
Condenseur vertical.....	114
Considérations générales sur les condenseurs.....	115

Travail de la vapeur

Principe du travail de la vapeur.....	116
Détermination du travail dans les moteurs sans détente et sans condensation.....	116
Travail dans les moteurs sans détente et à condensation.....	118
Travail dans les moteurs à détente et à condensation.....	118
Méthodes expérimentales employées pour déterminer la puissance d'un moteur à vapeur.....	122
Étude des distributions au moyen des diagrammes.....	123
Avantages de l'emploi de la vapeur à haute pression.....	124
Vapeur saturée et vapeur surchauffée.....	126

Organes de transformation du mouvement

Coulisseau, guides, bielle.....	127
Manivelle, arbre moteur, poulies.....	128

Appareils de régularisation du mouvement

Volants.....	129
Régulateurs.....	130
Régulateur de Watt.....	130
Régulateur Farcot.....	131
Régulateur Andrade.....	131
Régulateur Buss.....	132

Appareils de graissage du moteur

Graisseurs ordinaires.....	133
Graisseurs automatiques.....	134

Étude des différents moteurs à vapeur

Classification des moteurs à vapeur.....	134
Comparaison des moteurs au point de vue du travail fourni.....	135
Moteurs à vapeur horizontaux fixes.....	136
Moteur Brouhot.....	137
Moteurs Compound.....	137
Moteurs à bâti américain.....	138
Moteurs à vapeur verticaux fixes.....	139
Moteurs à pilon.....	139
Moteurs à pilon à grande vitesse.....	140
Conduite et entretien d'un moteur.....	143
Machines à vapeur semi-fixes.....	145
Machines verticales semi-fixes.....	146
Machines horizontales demi-fixes.....	147
Machines à vapeur locomobiles.....	149
Principe d'une locomobile.....	150
Locomobile Garrett.....	152
Locomobiles à chaudières à retour de flamme.....	156

Prix des machines à vapeur et prix de revient du travail.....	157
Locomotives routières.....	158
Machine Fowler.....	159
Calcul du poids trainé par une locomotive routière.....	161

Applications de la vapeur en agriculture

Choix d'une machine.....	162
Installations fixes.....	162
Dispositions avec machines semi-fixes.....	163
Voies Decauville et monorails pour le service intérieur.....	172
Wagonnets Decauville.....	174
Emploi des machines à vapeur pour l'irrigation et les dessèchements.....	175
Pompe centrifuge Schabaver.....	176
Élévateurs et éjecteurs.....	178
Pulsomètres.....	179
Battage à vapeur.....	180
Culture à vapeur.....	180
Locomotive routière Fowler employée pour la culture des champs.....	182
Applications des machines Fowler.....	188
Instruments aratoires Fowler.....	191
Système Howard.....	198
Système Fisker.....	199
Système Debains.....	200
Systèmes américains.....	200
Treuil de défoncement à vapeur.....	201
Principe du treuil à vapeur. Équilibre dynamique.....	202
Détails de construction d'un treuil.....	203
Classification des treuils à vapeur.....	204
Treuils fixes.....	205
Treuils à simple effet.....	205
Treuils mobiles.....	208
Treuils à simple effet, avec retour à vide par animaux.....	208
Treuils à simple effet, avec retour à vide par câble.....	208
Treuil Guyot.....	210
Treuil Boulet.....	213
Treuil Pécard.....	214
Locomotives routières à treuil.....	214
Treuils mobiles à double effet.....	214
Défonceuse Bajac.....	215
Calcul de la traction nécessaire au défoncement.....	219

FIN DE LA TABLE

LES

MOTEURS À GAZ

EMPLOYÉS EN AGRICULTURE

NOUVEAU TRAITÉ DE MÉCANIQUE AGRICOLE

III

LES
MOTEURS A GAZ

EMPLOYÉS EN AGRICULTURE

PAR

L. FONTAINE

PROFESSEUR A L'ÉCOLE PRATIQUE D'AGRICULTURE DE FAURELLES

AVEC 73 FIGURES DANS LE TEXTE

MONTPELLIER
COULET ET FILS, ÉDITEURS
5, Grand'Rue, 5

—
PARIS
MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
120, boulevard Saint-Germain

—
1900

MÉCANIQUE AGRICOLE

MOTEURS A GAZ

Les moteurs à gaz offrent aujourd'hui une très grande importance en industrie, l'agriculture, dans un temps peu éloigné, utilisera dans une très large mesure une certaine catégorie de ces machines : nous avons nommé les moteurs à pétrole.

Au point de vue des gaz employés, on divise ces moteurs en deux grandes catégories :

1^{re} catégorie. — Moteurs à gaz simples : moteurs à air chaud.

2^e catégorie. — Moteurs à gaz tonnants : *a.* Moteurs à gaz d'éclairage ; *b.* Moteurs à gaz pauvre ; *c.* Moteurs à pétrole.

I. — MOTEURS A AIR CHAUD

HISTORIQUE

L'invention du moteur à air chaud date de 1816, elle est due au révérend D^r Stirling ; sa machine fut perfectionnée par James Stirling. Le capitaine américain Ericsson peut être considéré comme l'inventeur ayant produit une machine industrielle réellement pratique. Il faut ensuite citer les noms de Siemens, Lemoine, Franchot, Belou, Van Rennes, Bénier, Genty, Rankine, Paul Giffard, Hock, etc., qui s'attachèrent à l'étude de cette question.

Aux États-Unis, on emploie beaucoup de ces moteurs pour de petites forces destinées à commander des pompes, des barattes, des malaxeurs, etc.

PRINCIPE DE LA PUISSANCE MOTRICE DE L'AIR CHAUD. — Dans ces moteurs, l'air est le véhicule de la chaleur devant actionner le piston de la machine. L'air chauffé se dilate, en même temps le mouvement vibratoire des molécules gazeuses s'accroît, la force vive qu'elles possèdent peut se transformer en travail par le déplacement d'une paroi mobile (piston) dans un cylindre fermé. Il y a par conséquent dépense de chaleur, et par suite diminution de vitesse moléculaire.

D'après les expériences de Regnault, le coefficient de dilatation de l'air à la pression atmosphérique est de 0,00376, soit $1/267$ de son volume primitif. Si donc on prend un volume d'air à 0° sous la pression atmosphérique, et qu'on le chauffe à 267°, il double de volume et sa tension s'élève à 2 atmosphères, soit une pression de :

$$1,033 \times 2 = 2 \text{ kil. } 066$$

par centimètre carré. Comme la pression atmosphérique contre-balance la précédente, on ne peut donc utiliser, en travail utile, que :

$$2,066 - 1,033 = 1 \text{ kil. } 033$$

par centimètre carré.

La chaleur spécifique de l'air sous pression constante est de 0 calorie 2375.

CYCLES DES MOTEURS A AIR CHAUD. — Dans la machine de Stirling, le cycle était fermé; elle comprenait un cylindre thermique contenant un piston très lourd, soulevé par la dilatation de l'air chauffé par un foyer à la température T_1 . Dans son ascension, le piston refoulait une certaine quantité d'air chaud dans un cylindre moteur, l'autre partie revenait sous le piston du cylindre thermique en passant dans les tubes d'un réfrigérant ou régénérateur, entourés d'eau, et leur cédait de la chaleur. Celle-ci était reprise au passage suivant. La chute de la température atteignait 300 à 350 degrés. Le volume d'air était constant.

Ericsson a réalisé un cycle en employant une compression à volume variable et en adaptant à sa machine un *régénérateur* en toiles métalliques très serrées, destinées à absorber la chaleur pour la restituer à l'air arrivant du dehors.

Joule créa un cycle sur un tout autre principe, dans lequel il supprima le régénérateur. Pour le réaliser, il employa une pompe de compression puisant l'air dans l'atmosphère et le refoulant dans un réservoir de chauffe placé sur le foyer. Cet air s'y réchauffait à pression constante et augmentait de vo-

lume, puis il était admis au cylindre moteur et rejeté ensuite dans l'atmosphère.

Le cycle de Joule fut employé dans les moteurs Laubereau, Ridder, Bénier, etc.

Les différents systèmes de moteurs à air chaud construits ont eu leur foyer à l'extérieur du cylindre ou à l'intérieur.

Moteur Bénier. — Le système Bénier est construit par M. Guillaume, 15, rue du Louvre (Paris); il est du type à foyer dans le cylindre. La figure 1 montre la coupe longitudinale

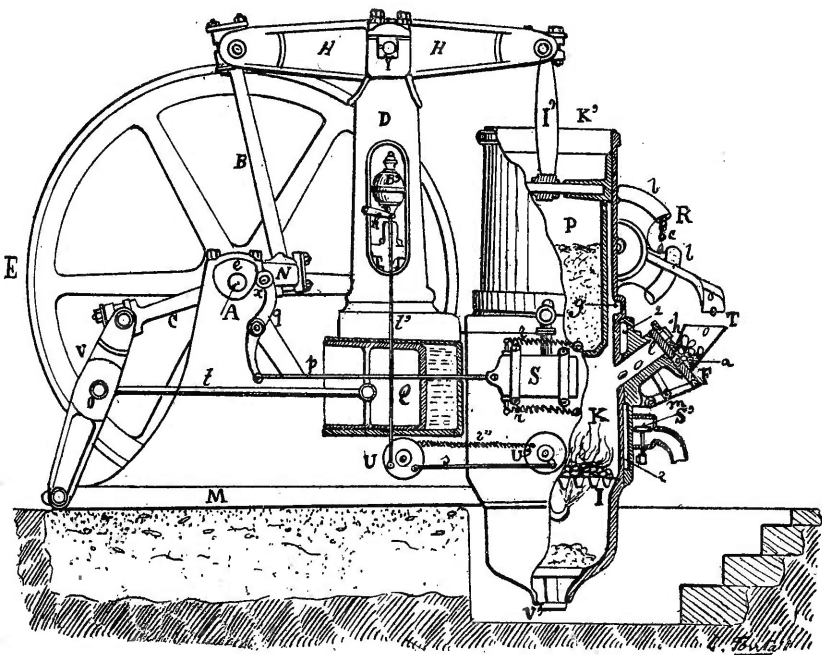


Fig. 1. — Principe du moteur à air chaud Bénier.

de la machine. Le cylindre K K' est fixé en porte-à-faux à l'extrémité du socle M; la partie inférieure K sert de foyer et porte une grille I, sur laquelle brûle le combustible. La partie supérieure K', parfaitement alésée, sert au déplacement du piston P. Celui-ci est creux et très long, il reçoit la poussée des gaz par sa partie inférieure; l'extrémité seule est frottante pour éviter les grippements qui pourraient se produire par suite des escarbilles entraînées dans l'ascension. Pour préve-

nir cet accident, une gouttière annulaire *g* est ménagée et reçoit un courant d'air comprimé qui nettoie le cylindre lors de la descente du piston. Le mouvement est transmis par une tige *l*, articulée à un balancier *H*, soutenu par une colonne creuse en fonte *D* et oscillant autour d'un axe *Y*. A l'autre extrémité, se trouve une bielle *B*, commandant la manivelle *N* de l'arbre de couche *A*, auquel est calée la poulie de commande *E*.

Alimentation du combustible. — Le combustible est formé par du coke concassé et trié, jeté dans une auge où tourne lentement une roue à augets *R*. Chaque auget *b* saisit un ou plusieurs morceaux de coke qu'il laisse tomber suivant *c* dans une trémie d'alimentation *T*. Au fond de celle-ci se meut, d'un mouvement alternatif, un tiroir *F*, au moyen d'une série de leviers *m*, commandés par l'arbre de couche. Le tiroir porte une lumière *a*, où s'introduisent des morceaux de coke entraînés vers une deuxième lumière *l*, où ils tombent dans un canal incliné, et de là sur le foyer. Dans ce mouvement, l'intérieur du cylindre n'est jamais en communication avec l'atmosphère. Une lumière vitrée *h* permet de voir ce qui se passe au foyer. Le cylindre est refroidi dans sa partie inférieure par un courant d'eau *z z*, circulant dans une double enveloppe.

Alimentation d'air comprimé. — Pour activer la combustion, on injecte sous la grille *I* un courant d'air comprimé au moyen d'une pompe *Q*. La tige du piston *t* est commandée par un balancier *V*, oscillant autour de *O*, et mise en mouvement par la bielle *C*, calée sur une manivelle de l'arbre de couche *A*.

L'aspiration, la compression et l'échappement se font au

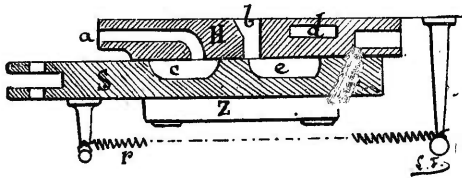


Fig. 2. — Tiroir de distribution du moteur à air chaud Bénier.

moyen d'un tiroir *S*, animé d'un mouvement de va-et-vient au moyen d'une tige *p*, actionnée par un bras oscillant *q*, muni d'un galet *x*, en contact avec une came *e*. Deux ressorts de rappel *rr* assurent le contact du galet contre la came.

Le tiroir est représenté en coupe (fig. 2). Il consiste en une plaque de fonte *S*, présentant deux évidements ou coquilles *c* et *e*, il coulisce entre une glace *H* et un plateau *Z*.

L'air est aspiré au cylindre compresseur Q quand la coquille *c* fait communiquer le tuyau *a*, prenant l'air à l'extérieur avec le tuyau *b*. Le tiroir, continuant sa marche, ferme l'aspiration et la compression se fait; en revenant en arrière, la coquille *e* met en communication *b* avec *d*, lequel envoie une partie de l'air comprimé sous le foyer, et l'autre dans la rainure du cylindre, pour faire tomber les poussières. Les ressorts *r* ramènent les tiroirs dans leur position primitive.

Régulateur de marche. — Un régulateur centrifuge B', actionné par l'arbre moteur à l'aide d'une petite courroie, porte un manchon qui entraîne une fourche *k*. Celle-ci est reliée par une tige verticale *l'*, articulée à un disque U, transmettant le mouvement par la tige *s* à un deuxième disque U', fixé à un papillon ouvrant plus ou moins la conduite de l'air comprimé. Un ressort antagoniste *r''* ramène tout l'ensemble à sa position primitive. Si la vitesse augmente, le régulateur B' entraîne la tige *l'*, *s* ferme la conduite d'air.

Marche. — L'air chaud, en se dilatant, soulève le piston P, qui met le balancier H en oscillation, la bielle B agit sur la manivelle N. A ce moment, une soupape d'échappement S' laisse échapper les gaz et le piston redescend. L'ensemble de ces deux mouvements donne une rotation continue. Le nettoyage du cendrier se fait par le fond V'

Dépense de combustible. — La consommation de coke par cheval-heure varie entre 1 kil. 500 à 1 kil. 800, suivant la force des moteurs, soit une dépense de 4 centimes à 4 centimes 1/2.

La conduite est simple, un enfant suffit pour alimenter la trémie de coke. Enfin, il n'y a pas de danger d'explosion. Une machine de 4 à 15 chevaux coûte de 4.500 à 11.800 fr.

II. — MOTEURS A GAZ TONNANTS

Dans ces moteurs, le combustible renfermant le carbone et l'hydrogène destinés à produire la chaleur se présente sous forme de gaz ou de liquide. L'inflammation détermine la combustion du produit au sein d'une masse d'air, donnant une grande quantité de gaz chaud qui, sous l'influence de cette augmentation de volume, chasse un piston dans un cylindre ouvert à une extrémité. Une série d'explosions successives donne un mouvement continu. La bonne utilisation du calorique dans ces moteurs réside à proportionner l'air avec le combustible, afin que l'oxygène soit en quantité suffisante

pour s'unir au carbone et à l'hydrogène. Les grands avantages des moteurs à gaz tonnants résident dans le faible prix de revient auquel ils fournissent la force motrice, leur permettant de rivaliser avec la machine à vapeur, et dans leur installation simple. De plus, leur marche nécessite peu de surveillance.

CYCLES EMPLOYÉS DANS LES MOTEURS A GAZ TONNANTS. —

1° *Moteurs fonctionnant sans compression préalable ; moteurs atmosphériques.* — Ces machines fonctionnent au gaz d'éclairage. L'idée de leur principe remonte à 1824, époque à laquelle Brown établit une machine atmosphérique employée à l'élévation de l'eau. En 1867, la maison Langen et Otto, de Deutz, près Cologne, présentait un moteur à gaz dit atmosphérique. En principe, cette machine consiste en un cylindre vertical ouvert en haut, dans lequel se meut un piston dont la tige se termine par une crémaillère. Celle-ci engrène avec un pignon rendu solidaire avec l'arbre du volant, au moyen d'un rochet quand le piston descend, il est au contraire fou à la montée. L'aspiration du mélange tonnant se fait dans la moitié de la course d'ascension, elle se termine par l'explosion. Le piston est violemment lancé vers le haut sans produire de mouvement ; l'évacuation des gaz brûlés se faisant, elle détermine sous le piston une diminution de pression. Pour rétablir l'équilibre, la pression atmosphérique appuie sur le piston et le fait descendre, mais le rochet entraîne l'arbre moteur ; les points morts sont vaincus par un volant. On emploie encore quelque peu, dans les petites industries, des moteurs à gaz sans compression, pour des forces variant depuis 3 à 75 kilogrammètres. Citons les machines Bisschop, de Lentz, de Bénier et de Forest.

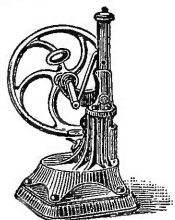


Fig 3.— Moteur à gaz Bisschop.

Le moteur Bisschop (fig. 3) est construit par M. Rouart, à Montluçon (Allier). Le cylindre est vertical, pourvu d'ailettes pour le refroidissement, dans son intérieur se déplace un piston à gorges annulaires, remplaçant les segments pour les fuites. La tige se déplace dans une colonne creusée et est reliée à la manivelle de l'arbre du volant par une bielle. L'alimentation du gaz se fait par un clapet automatique et l'inflammation par un bec allumé dont le jet pénètre par un opercule lorsque le piston est au milieu de sa course. L'explosion termine la chasse du piston vers le haut du cylindre ; au retour, une légère dépression se produit par le refroidissement, ce qui facilite la descente,

et les gaz sont évacués par le tiroir actionné au moyen d'un excentrique.

Le mélange tonnant est composé de 5 volumes de gaz d'éclairage et de 95 volumes d'air; à l'inflammation, il donne une pression de 5 kil. environ par centimètre carré. Le bec allumeur s'éteint à chaque explosion, il est rallumé aussitôt par un autre bec, dit *veilleur*. Ces petits moteurs peuvent commander des pompes, des barattes, des malaxeurs, etc.

2° Moteurs à deux temps. — Dans ces moteurs, il se produit une explosion par tour d'arbre de couche, de sorte que la marche est régulière, mais la consommation de gaz est plus grande; de plus, on n'a pu atteindre de grandes puissances.

Pour réaliser ce cycle à deux temps, on est obligé de comprimer le mélange gazeux avant de l'envoyer au cylindre moteur. Deux dispositions sont employées pour résoudre le problème. Dans les machines de Clerk, Benz, Campbell, Bénier, etc., on a deux cylindres accouplés en Compound; le premier est dit *compresseur*, et envoie le mélange comprimé dans le deuxième, dit *moteur*. Le compresseur joue le rôle de pompe à air.

Dans les moteurs de Ravel, Day, etc., le piston du cylindre agit par sa face inférieure comme compresseur sur le mélange gazeux qui s'accumule dans le socle hermétiquement clos; par sa face supérieure, il agit comme moteur. Ces dernières machines sont à grandes vitesses; ainsi un Ravel de 2 chevaux fait 480 tours par minute, ce qui correspond à 8 impulsions par seconde.

On a cherché à obtenir un moteur à deux temps au moyen d'un cylindre à double effet dans lequel se meut un piston; tel est le système Letombe. Cette machine est alimentée par deux tiroirs mus au moyen d'excentriques.

3° Cycle à quatre temps, cycle Beau de Rochas, cycle Otto. — Les moteurs qui emploient ce cycle donnent une course motrice tous les deux tours ou toutes les deux révolutions de l'arbre de couche. Ce cycle a été inventé en 1861, par Beau de Rochas, qui dans un remarquable mémoire: « *Nouvelles recherches sur les conditions pratiques de l'emploi de la chaleur* », en définit le principe.

Aujourd'hui, ce cycle est employé dans presque tous les moteurs à gaz et à pétrole. Il comprend 4 périodes :

- 1° *L'admission* ;
- 2° *La compression* ;
- 3° *L'explosion* ;
- 4° *L'expulsion*.

En prenant un cylindre C, ouvert à l'une de ses extrémités (fig. 4), dans lequel se meut un piston p, relié par sa bielle B à une manivelle m, nous pourrions expliquer le cycle à quatre temps.

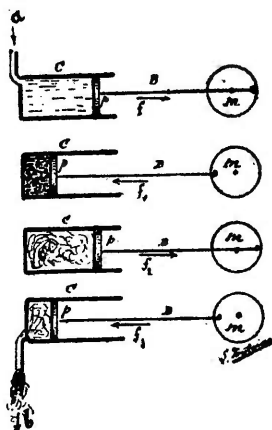


Fig. 4. — Schéma du cycle à 4 temps.

Supposons que le piston soit au fond de sa course et qu'il aspire le mélange carburé suivant la flèche f, il fait le vide et le gaz se précipite par une soupape a. Dans la deuxième période, le piston revient en arrière suivant f₁, la soupape se ferme et le mélange est comprimé dans la culasse du cylindre à 3 ou 4 kil. par centimètre carré; c'est la course retardatrice. A ce moment, l'inflammation a lieu et la force expansive des gaz chasse le piston suivant f₂, donnant une pression de 10, 12 à 18 kil. par centimètre carré; c'est la course motrice. Enfin, à la quatrième période, le piston est ramené en arrière suivant f₃, la soupape d'échappement b s'ouvre et les gaz brûlés sont rejetés au dehors.

a. — MOTEURS A GAZ D'ÉCLAIRAGE

HISTORIQUE. — Les moteurs à gaz d'éclairage sont très pratiques où se trouve une canalisation propice pour leur installation; ils peuvent être appliqués dans les grandes fermes pourvues d'une petite usine à gaz. L'industrie des villes les utilise de plus en plus, à cause de la simplification de l'installation motrice. L'invention du moteur au gaz d'éclairage vraiment pratique est due à M. Lenoir, qui, en 1860, produisit son célèbre *moteur à air dilaté par la combustion du gaz*.

La machine était horizontale, à cylindre à double effet, comme dans les machines à vapeur, et la distribution se faisait par tiroir. La consommation du gaz atteignait 2.500 à 3.000 litres par cheval-heure de travail effectif. En 1867, comme nous l'avons déjà dit, les maisons Langen et Otto présentèrent le moteur atmosphérique qui ne dépensait plus que 900 litres de gaz. L'idée de Beau de Rochas, avec compression préalable, fut reprise par différents ingénieurs, et le moteur à gaz Otto apparut, se répandant par milliers dans le monde

entier. Aujourd'hui, grâce à la distribution par soupapes, car le tiroir est complètement abandonné même dans le type Otto, ces moteurs ne consomment plus que 500 à 600 litres par cheval-heure de travail.

Gaz d'éclairage. — Le gaz d'éclairage est un produit de la distillation de la houille, dû à l'invention de l'ingénieur français Philippe Lebon (1786). Murdoch l'appliqua, le premier, vers 1802, à l'éclairage des ateliers de Watt.

La composition de ce gaz est assez complexe; on y trouve de l'hydrogène, du gaz des marais (C^2H^4), de l'éthylène (C^2H^4), de l'acétylène (C^2H^2) et de la benzine ($C^{12}H^6$). Avec ces éléments combustibles, on rencontre de l'azote, de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique, des traces d'acide sulfhydrique, du sulfure de carbone et du sulfhydrate d'ammoniaque, qui lui communiquent une odeur désagréable. L'épuration enlève les goudrons et les gaz ammoniacaux.

La puissance calorifique du gaz d'éclairage est estimée en moyenne à 5.250 calories par mètre cube. On compte qu'un kilo de houille à flamme longue fournit 300 litres de gaz, à la température de 0 et à la pression de 760. Un moteur à gaz, consommant 600 litres de gaz par cheval-heure, dépenserait de ce fait 2 kil. de houille. En comptant celle-ci à 30 fr. les 1.000 kil., le cheval-heure reviendrait à 0 fr. 06.

Moteurs Otto. — Le moteur à gaz Otto, fabriqué par la Compagnie française des Moteurs à gaz, 155, rue Croix-Nivert (Paris), est une de nos plus anciennes machines, sa renommée est universelle. Depuis quelques années, on lui a fait subir de nombreux perfectionnements; la tige du piston, au lieu d'être commandée par une bielle, s'articule directement à l'arbre de couche des volants, la distribution, à tiroir qui présentait au bout d'un certain temps de l'usure, a été remplacée par une distribution à soupapes.

La figure 5 montre dans son ensemble la disposition d'un type Otto horizontal. Pour expliquer la distribution, nous nous servons du schéma (fig. 6). Sur un socle creux M, fixé au massif D, est boulonné le moteur dont on voit le cylindre en C. La conduite de gaz K alimente, par une poche en caoutchouc Z et un tube *m*, la soupape d'admission S. Elle est soulevée au moment de l'aspiration par un levier *d*, et est rappelée à la fermeture sur son siège par le ressort *r*.

L'air servant au mélange explosif est admis, en même temps que le gaz, par une soupape S', munie d'un ressort de rappel *r'*, qui est poussé par une vis de réglage *a*, calée à

l'extrémité d'un levier coudé C, muni d'un galet *b*. L'air est aspiré d'un pot N, garni d'une ligne de trous, puis il monte par un tuyau à la chambre E de la soupape.

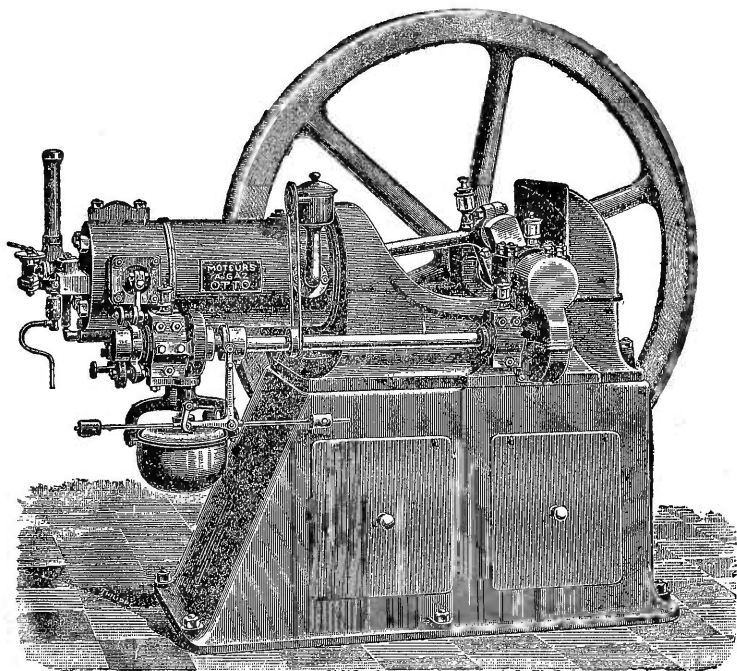


Fig. 5.— Vue d'ensemble du moteur à gaz Otto.

A la compression, le mélange est refoulé dans la culasse, où se trouve une bougie d'allumage en porcelaine *i*, logée dans une lanterne où vient aboutir un bec *t*, avec régulateur d'air *n*. La lanterne est surmontée par une cheminée Y; le brûleur est alimenté par un tuyau *t*, sur le trajet duquel est interposée une petite poche en caoutchouc *z*.

La bougie d'allumage est représentée plus en grand par la figure 7. Elle est fixée au fond de la culasse du cylindre par sa base F F. les gaz s'engagent par *b* dans la cavité *a*; la région H étant portée au rouge, elle détermine l'explosion. A l'échappement, les gaz sont évacués par la soupape S", dont la tige *x* est soulevée par l'extrémité U du levier L, oscillant autour du point *p*. Les gaz s'engagent dans le tuyau P et

arrivent dans le pot d'échappement O, duquel ils s'échappent par le tuyau q.

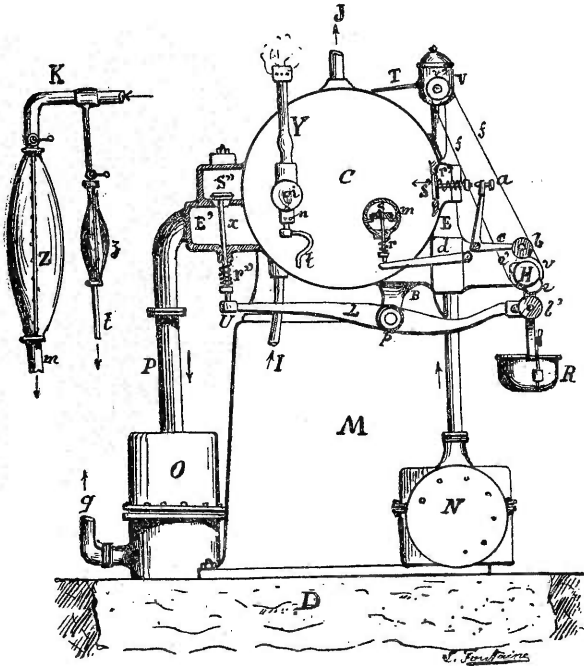


Fig. 6. — Principe de la distribution du moteur à gaz Otto.

Les soupapes sont commandées par l'arbre H, prenant son mouvement sur l'arbre de couche au moyen de deux engre-

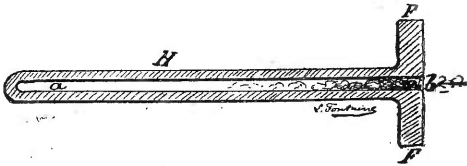


Fig. 7. — Bougie d'allumage du moteur Otto.

nages hélicoïdaux, dans le rapport de 2 à 1. Les soupapes d'admission d'air S et d'échappement S'' sont commandées par la même came e ; quant à la soupape à gaz S, elle est actionnée par une came à surface gauche d (fig. 8), faisant os-

ciller le taquet *t* et le levier *K*, dont l'extrémité *p* soulève la tige de *S*.

Un régulateur agit sur cette distribution. Dans une petite cuvette en fonte *N*, contenant un peu d'huile, tournent deux boules centrifuges *B B*, dont les leviers sont fixés à un couvercle pesant *C C*; la partie supérieure *b b* ferme la cuvette.

L'ensemble du régulateur est suspendu à un étrier *A A*, et le couvercle est animé d'un mouvement de rotation par l'intermédiaire de l'arbre *f*, commandé par une paire d'engrenages coniques *r R*; *R* est claveté sur l'arbre des cames *E E*. Sous l'action de la force centrifuge, le couvercle *C C* et sa

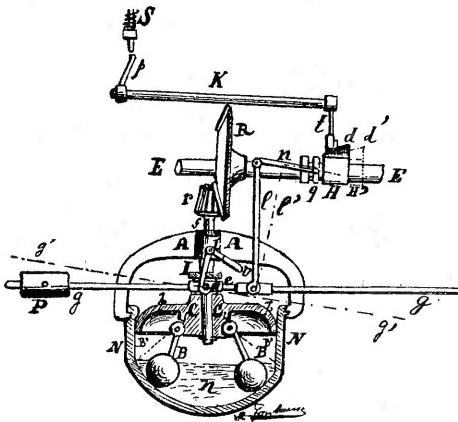


Fig. 8. — Régulateur de distribution Otto.

mâchoire *I* peuvent être soulevés, les boules passent de la position *B B* en *B' B'*. Ces oscillations peuvent être transmises à la came de commande *H*, qui est mobile sur *E E*. Pour cela, un levier *g g*, muni d'un collier *e* embrassant la mâchoire et portant en *P* un contre-poids, fait soulever une tige *l*, commandant *n*. Ce levier pousse ou tire la mâchoire *q* de la came *H*. Si la vitesse vient à augmenter, le régulateur s'élève et le levier *g g* prend une position *g' g'*; la tige *l* repousse la came *H* en *H'*, et la saillie *d* devenant moins accentuée, la came d'admission restera moins ouverte et le gaz introduit sera moins grand. La puissance de l'explosion diminuant, la vitesse décroîtra; grâce à la surface gauche de la came, les variations se font insensiblement sans qu'elles aient d'influence sur la marche des dynamos. La consommation du gaz est proportionnelle au travail demandé. On voit

que la position de P sur le levier *g g* est à déterminer pour la bonne marche du moteur. Un levier U, muni d'un bec *a*, sert à soutenir le régulateur dans les arrêts, il se déclanche de lui-même en marche.

La mise en train deviendrait difficile sans un dispositif très simple (fig. 9). Le galet *p*, calé à l'extrémité du levier d'échappement L, peut être déplacé par une tige creuse à bouton B. Le galet *p* est emprisonné dans une gorge *a*; en poussant le bouton B, le tout coulisse sur l'arbre *h* et *p* vient en *p'*. Une lame de ressort R maintient le tout en position fixe au moyen d'un arrêt *g*. Sur l'arbre H, sont les deux cames *e e'*, calées à 180° ; au début de la marche, *e'* donne un certain échappement à la compression et diminue la résistance, puis le véritable échappement est donné par la came *e*. Après quelques explosions, on pousse *p* en *p'* et la came *e*, seule, commande l'échappement.

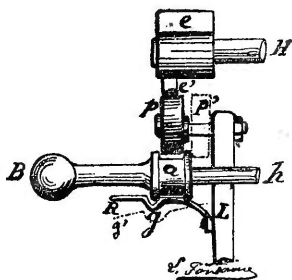


Fig. 9. — Dispositif de mise en marche Otto.

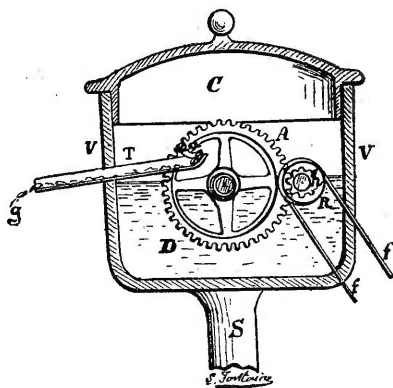


Fig. 10. — Graisseur rotatif du cylindre Otto.

Pour lubrifier le cylindre, on se sert d'un graisseur rotatif, représenté en coupe par la figure 10. Dans un vase V, en forme de coupe et supporté par une tige S, boulonnée sur le côté du cylindre, se trouve une couche d'huile D. Dans celle-ci tourne une roue dentée A, commandée par un pignon *h*, dont l'axe porte à l'extérieur une poulie à gorge R. Sur celle-ci passe une corde *f f*, prenant son mouvement sur l'arbre des cames. Sur l'un des côtés de la jante A, se trouve fixé un bout de gros fil de fer *a*, qui, en plongeant dans D, élève quelques gouttes d'huile qu'il dépose dans la gorge inclinée T et viennent tomber en *g* dans une ouverture pratiquée à la partie supérieure du cylindre. Le graisseur est fermé par un

bouchon C. Le refroidissement se fait par un courant d'eau arrivant en dessous du cylindre par le tuyau I, et sortant en dessus par J; le thermosiphon est à préférer.

Le moteur Otto se construit pour des forces variant de 1 à 70 chevaux et au-dessus, coûtant 1.700 à 15.000 fr. La consommation par cheval-heure oscille entre 500 et 700 litres, suivant la richesse du gaz. En résumé, le moteur Otto est une machine finie.

Moteur Charon. — Le moteur Charon est construit par la Société générale des Industries économiques, 40, rue Laffitte (Paris). La figure 11 représente cette machine dans sa vue d'en-

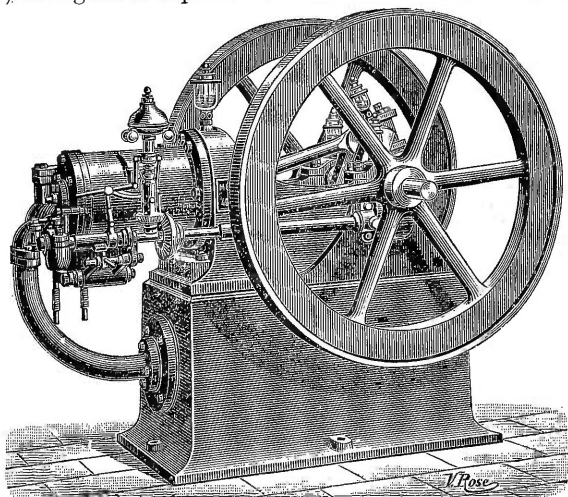


Fig. 11.— Vue d'ensemble du moteur à gaz Charon.

semble, et la figure 12 dans son principe. La caractéristique du moteur Charon réside dans l'augmentation de la détente des gaz produits par l'explosion, détente soumise à l'action automatique du régulateur et variable suivant les besoins de la puissance à développer.

Pour augmenter cette détente, le mélange d'air et de gaz qui remplit le cylindre à la fin de l'aspiration n'est pas entièrement soumis à la compression et à l'explosion. Au retour du piston, la soupape d'admission, qui à l'ordinaire se ferme, reste plus ou moins longtemps ouverte, suivant la position du régulateur; une partie de la cylindrée explosive est dirigée par refoulement dans un récipient convenable qui l'emma-

gazine et permet de la reprendre à l'aspiration du cycle suivant. Ce qui reste dans le cylindre à la fermeture de la soupape d'admission subit alors la compression et sert seul à la production de la force motrice ; il en résulte que la détente

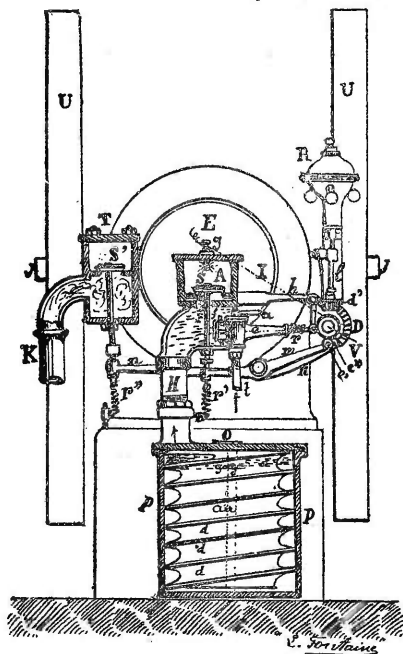


Fig. 12. — Principe du moteur Charon.

des gaz est augmentée de *tout le volume qu'occupait, dans le cylindre, le mélange restué*. On tire ainsi un excellent parti de la force expansive des gaz, celle-ci également augmente ou diminue suivant l'action du régulateur, sans qu'on doive supprimer des explosions par des ratés à l'allumage.

Voici maintenant la description du moteur. Sur le socle en fonte, est boulonné le bâti muni à l'arrière d'un cylindre E, placé en porte-à-faux ; la bielle du piston est articulée à l'arbre de couche JJ, muni de deux lourds volants UU. Les organes de distribution sont commandés par un arbre longitudinal V, entraînés par deux engrenages hélicoïdaux, dans le rapport de 2 à 1, il accomplit ainsi une révolution pendant les quatre temps du cycle complet.

On a trois leviers de distribution :

- 1° *e*, servant à l'admission du gaz venant du tuyau *l* ;
- 2° *m*, servant à l'introduction du mélange explosible dans la boîte d'explosion A ;
- 3° *n*, servant à l'échappement des gaz brûlés venant de la boîte T.

Les leviers *e* et *m* sont commandés par deux cames Z et Z' (fig. 13), fixées sur un manchon se déplaçant le long de l'ar-

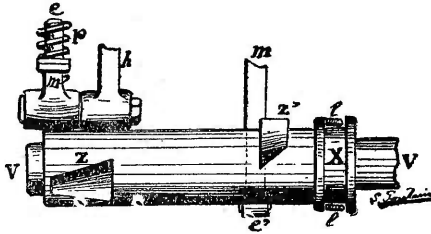


Fig. 13. — Manchon des cames d'admission du gaz et de la détente.

bre V, sous l'action d'un régulateur à quatre boules R (fig. 12), mis en mouvement par les engrenages coniques D *d'* et dont le levier à mâchoires *l* est fixé dans la rainure X. Voyons séparément l'action de chaque came.

Le levier *e* articulé à *h* est terminé par une soupape *f*, admettant le gaz venant du robinet *a* dans une chambre de mélange. Elle est rappelée sur son siège par le ressort *r*. En même temps que *f* s'ouvre, la soupape S est soulevée par l'action de Z' *e'* et du levier *m*, le piston est à sa période d'aspiration et provoque l'arrivée de l'air par le tuyau H. Celui-ci est greffé sur un pot d'aspiration PP, contenant à l'intérieur un cylindre garni d'une hélice *d, d, d*, que l'air suit, venant d'une ouverture O, garnie d'une toile métallique, afin d'éviter les poussières. Le mélange explosible passe dans la chambre A, en communication avec la culasse du cylindre E.

En revenant en arrière, le piston comprime la masse et fait fermer immédiatement la soupape d'admission du gaz *f*, rappelée par le ressort *r* sur son siège. Quant à la soupape S, elle reste plus ou moins longtemps ouverte, suivant la position du manchon des cames ; une partie variable du mélange détonant est refoulée par le tuyau H dans le serpentin PP.

Expliquons ces variations. Quand la vitesse s'accroît, provoquée par une diminution de la puissance demandée au moteur, le régulateur se soulève, et la tige *l* (fig. 13) fait glisser de gauche à droite le manchon à cames. La came Z présente une partie plus étroite en contact avec le levier *e*, et la sou-

pape d'admission du gaz reste moins longtemps ouverte. Au contraire, la came Z' augmente le contact du levier m de la

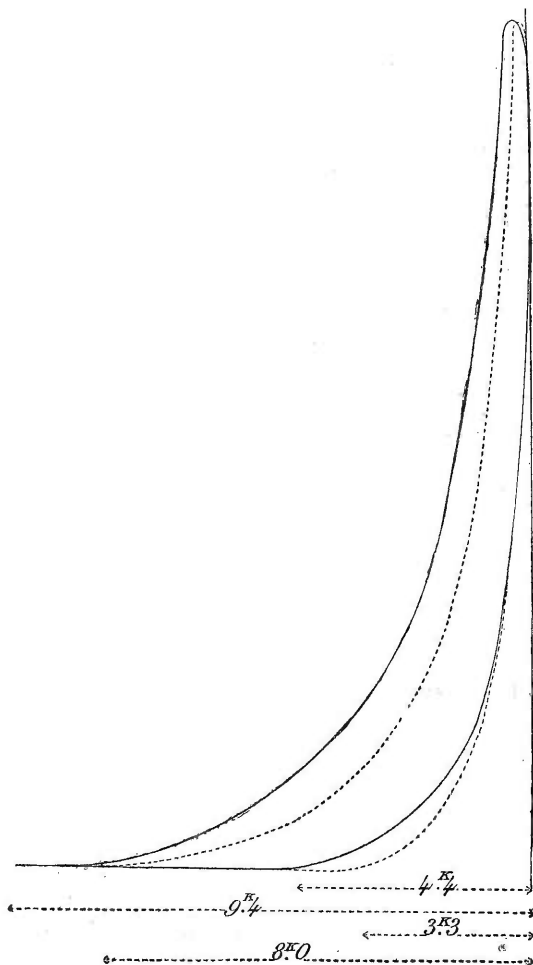


Fig. 14. — Diagrammes relevés sur un moteur Charon.

soupape S ; celle-ci restant plus longtemps ouverte, une plus grande quantité de mélange explosible est refoulée au serpentin P. Au ralentissement, des effets inverses se manifestent ; dans les deux cas, la détente variable des gaz est bien assurée.

La soupape d'échappement S' est soulevée régulièrement

par un levier *n*, commandé par une came calée à demeure sur l'arbre V; elle est rappelée sur son siège par le ressort *r*". Les gaz brûlés sortent par le tuyau K. Nous n'insistons pas sur le cycle qui est à quatre temps, la caractéristique réside dans la compression.

L'allumage se fait par étincelle électrique, le courant est produit par deux piles Delaurier au bichromate, alimentant une bobine. Le courant se ferme au moyen d'un contact obtenu par une came et par une tige I, reliée à la borne *g* d'une bougie; l'explosion est complète à l'instant où le piston part en avant. Le refroidissement du cylindre est obtenu par circulation d'eau dans une double enveloppe.

La détente dans le moteur Charon varie, comme nous l'avons dit, avec la compression. Les deux diagrammes superposés dans la figure 14 indiquent clairement ce fait. Le premier, en pointillé, donne une compression du mélange de 3 kil. 3 par centimètre carré, et une pression à l'explosion de 8 kil. Dans le deuxième diagramme, la compression s'élève à 4 kil. 4, et l'explosion à 9 kil. 4. Ceci indique que le moteur a varié de puissance; celle-ci est plus élevée dans le deuxième diagramme que dans le premier.

Quant à la consommation de gaz faite par le moteur Charon, il résulte des nombreux essais auxquels il a été soumis, que celle-ci est comprise entre 460 à 500 litres par cheval-heure, suivant les forces.

Applications du moteur à gaz d'éclairage

C'est l'industrie, comme nous l'avons déjà dit, qui est appelée à employer le moteur à gaz d'éclairage. Non seulement il peut rivaliser dans la production du travail avec la machine à vapeur, car son rendement thermique s'élève à plus de 20 o/o, mais encore il peut servir à l'éclairage électrique des maisons particulières.

Dans ce siècle de lumière et de progrès, l'éclairage électrique prend de jour en jour un développement plus considérable. Le consommateur dans les villes est à la merci du monopole des secteurs d'électricité. Beaucoup d'industriels auront tout intérêt à remplacer leur éclairage au gaz par l'électricité. Ce phénomène, qui peut surprendre *a priori*, s'explique facilement par ce fait scientifique, à savoir que la puissance explosive d'un mélange gazeux est très considérable relativement au faible pouvoir éclairant du gaz qui entre dans ce mélange.

Avec les becs à gaz papillon ordinaire, qui consomment au

moins 140 litres à l'heure, 1 mètre cube de gaz ne peut alimenter plus de 7 becs pendant une heure.

Or, ce même mètre cube de gaz donne, avec le moteur à gaz, 2 chevaux de force motrice, qui, actionnant une dynamo, peut alimenter 30 lampes électriques de 10 bougies, dont chacune a une intensité lumineuse comparable à celle d'un bec de gaz à papillon.

b. — MOTEURS A GAZ PAUVRE

HISTORIQUE.— Les moteurs à gaz pauvre, ou moteurs au gaz à l'eau, sont semblables à ceux fonctionnant au gaz d'éclairage. Ils sont caractérisés par des gazogènes spéciaux, dont l'installation ne peut convenir, en général, que pour les grandes fermes auxquelles est annexée une industrie importante.

Les gazogènes employés sont beaucoup plus simples que ceux des installations du gaz d'éclairage. Les appareils à signaler dans leur ordre d'apparition sont ceux de Siemens, Dowson, Taylor, Gardie, Buire-Lencauchez, Fichet et Heurtey, Bénier, etc. Actuellement on fabrique aussi du gaz au bois, tel est le système Riché.

PRINCIPE DE LA FABRICATION DU GAZ PAUVRE. — Le gaz pauvre provient de la décomposition de la vapeur d'eau en ses éléments (oxygène et hydrogène), en l'envoyant sur du charbon incandescent, porté à la température de 1000 degrés C. L'oxygène se combine au carbone pour former de l'oxyde de carbone, l'hydrogène reste en liberté.

La réaction chimique est la suivante :



En supposant que l'on opère sur 9 kil. d'eau, contenant par conséquent 1 kil. d'hydrogène, on consomme pour la réduction 6 kil. de carbone et l'on obtient :

1 kil. d'hydrogène, occupant à 0° un volume de 11 mètres cubes 20 et pouvant produire 34.462 calories ;

14 kil. d'oxyde de carbone, occupant à 0° un volume de 11 mètres cubes 20 et pouvant produire 78.948 calories.

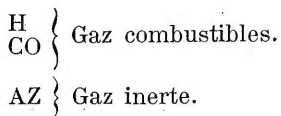
Mais l'opération exige une consommation de chaleur égale à la différence entre 34.462 calories absorbées par la décomposition de l'eau, et 14.831 calories produites par l'oxydation partielle de 6 kil. de carbone, soit un déficit de 19.631 calories.

Les réactions chimiques que nous avons indiquées mon-

trent parfaitement l'origine du mot « gaz à l'eau », que l'on donne encore au produit qui nous occupe.

Nous avons supposé les volumes théoriques, mais il se produit généralement de l'acide carbonique (CO^2), des carbures d'hydrogène (C^2H^4 et C^4H^4), de l'hydrogène sulfhydrique et de l'azote toujours mélangé à l'ensemble.

En définitive, on opère sur un gaz dont les éléments principaux sont :



Ce gaz contient, à volume égal, beaucoup moins d'éléments combustibles que celui produit par la distillation de la houille, c'est de là, du reste, que lui est venu également son nom de « gaz pauvre ». Il faut environ 4 mètres cubes $1/2$ de gaz pauvre pour faire l'équivalent calorifique d'un mètre cube de gaz de houille. On estime cette puissance calorifique à 1.200 ou 1.400 calories. Avec 1 kil. de combustible, on peut fabriquer environ 4 mètres cubes de gaz, revenant à 2 centimes $1/2$ par mètre cube.

Dans la combustion, l'oxyde de carbone et l'hydrogène, en présence de l'oxygène, donnent de l'acide carbonique et de l'eau. Le seul inconvénient du gaz pauvre est qu'il ne peut servir à l'éclairage, mais on tourne la difficulté en employant les dynamos.

Au sortir du gazogène, le gaz doit être refroidi dans des scrubbers et passer dans des épurateurs, pour enlever les gaz impropres à la combustion, puis il est admis dans un gazomètre.

Combustibles. — Les combustibles qui conviennent le mieux pour la fabrication du gaz pauvre sont l'anhracite et le coke. Les charbons gras, bitumeux, sont impropres, à cause des goudrons qu'ils donnent en abondance. Il faut compter sur des prix de 32 à 35 fr. pour l'anhracite, et de 25 à 28 fr. pour le coke, les 1.000 kil.

GAZOGÈNES ET MOTEURS A GAZ PAUVRE

Gazogène Pierson. — Ce gazogène date de 1878, il a été modifié en 1883 et est exploité en France par M. O.-G. Pierson, 54, faubourg Montmartre (Paris). La figure 15 montre dans son ensemble une installation à gaz pauvre de ce genre.

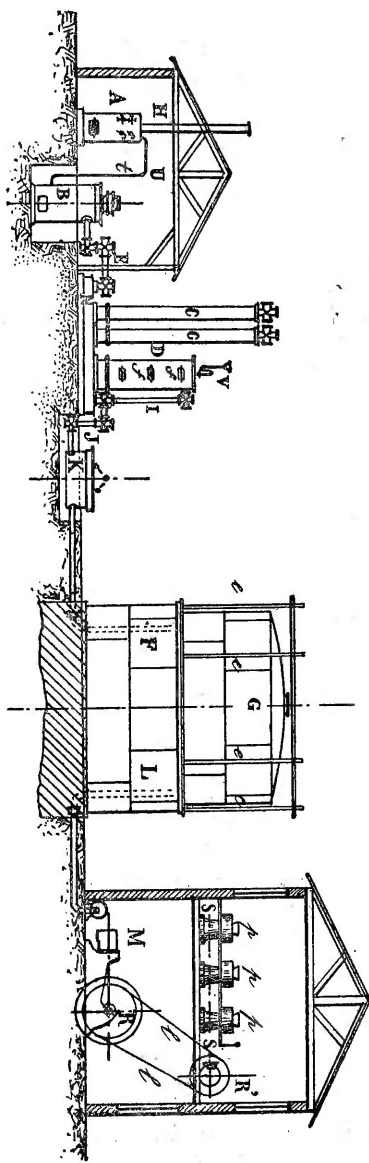


Fig. 15. — Vue d'ensemble d'un gazogène Pierson (Paris).

Dans un bâtiment spécial U, se trouvent logés une petite chaudière à vapeur A, munie d'une cheminée H, et un gazogène B, fixé en contre-bas, de façon à en permettre la charge de plain-pied. Il est constitué par une cuve métallique close, munie à l'intérieur d'un revêtement réfractaire et inférieurement d'une grille sur laquelle on place le combustible. Latéralement se trouve une porte et des auto-claves permettant les nettoyages; à la partie supérieure est placée une trémie automatique pour la charge du combustible. Un surchauffeur est adjoint au gazogène, il permet de récupérer les pertes de chaleur dues au gaz qui s'échappe et d'envoyer sous la grille un air chaud.

En admettant que le combustible soit porté à l'incandescence, le générateur A envoie par le tuyau *t* de la vapeur à un compresseur, où elle se mélange à une certaine quantité d'air venant du surchauffeur; le jet arrive sous la grille. La vapeur d'eau, au contact du charbon incan-

descent, se décompose en oxygène et en hydrogène. L'oxygène se combine au carbone pour former de l'oxyde de carbone (CO), et l'hydrogène reste en liberté. Il se produit aussi des carbures d'hydrogène (C^2H^4 et C^4H^4) ; enfin il reste l'azote. L'ammoniaque (AzH^3), l'acide carbonique (CO^2) et l'acide sulfhydrique (HS) sont absorbés par épuration.

Suivons notre gaz brut, il arrive par le tuyau E dans un barillet à eau N, où se déposent les goudrons, puis il s'engage dans des condenseurs C C, constitués par de hautes colonnes, où il se refroidit. A sa sortie, le gaz passe dans une *colonne à coke* D, qui reçoit un courant d'eau à la partie supérieure par le tube V. Il abandonne dans cette colonne les poussières et les gaz nuisibles dissous par l'eau. Plusieurs autoclaves *fff* permettent les nettoyages.

Le gaz épuré passe par I J et arrive dans un épurateur K, où sont absorbés les gaz sulfurés, etc., puis il se rend à un gazomètre G par le tuyau F. Ce gazomètre est à grand volume, permettant une longue période de marche. La cloche se soulève et se meut par des galets sur des supports *eee*.

Du gazomètre part la conduite de distribution de gaz L, sur laquelle on vient brancher un tuyau d'alimentation avec poche se rendant au moteur M. Celui-ci met en mouvement les machines de l'usine ; dans notre exemple, nous avons pris un moulin. La poulie du moteur R est reliée à R' par une courroie *ll* ; un engrenage d'angle commande un arbre de couche S S, sur lequel les meules *ppp* prennent leur mouvement.

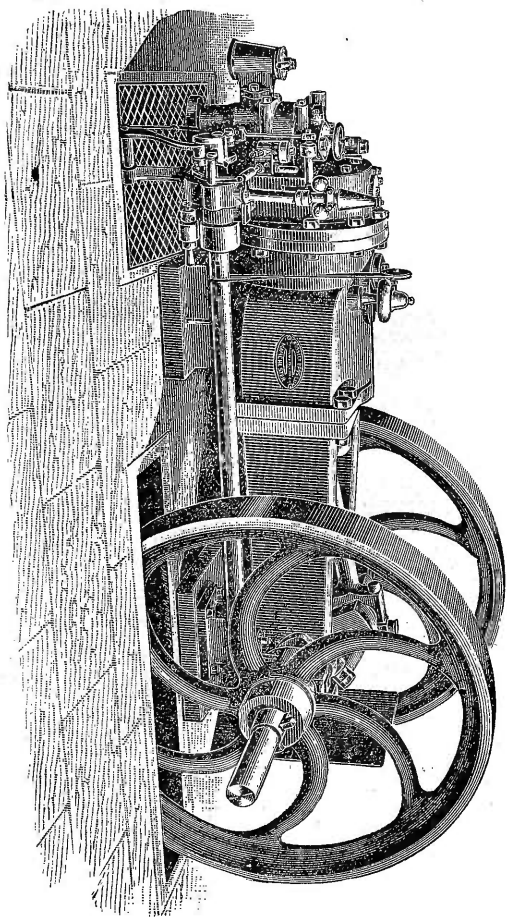
La conduite de l'appareil est des plus simples, le gazogène se charge sans aucun arrêt de la marche ; la grille se nettoie toutes les 12 heures, l'épurateur tous les 3 ou 4 jours et l'ensemble de l'appareil tous les 3 ou 4 mois. Il faut employer, comme combustible, du coke ou de l'anhracite ; les charbons gras ou bitumeux sont impropres à cause des dépôts abondants qu'ils donnent.

D'après les installations faites en France par la maison Pierson, les gazomètres employés ont un volume variant entre 30 à 50 mètres cubes ; les gazogènes sont établis pour produire 50, 100, 150 à 200 mètres cubes de gaz à l'heure.

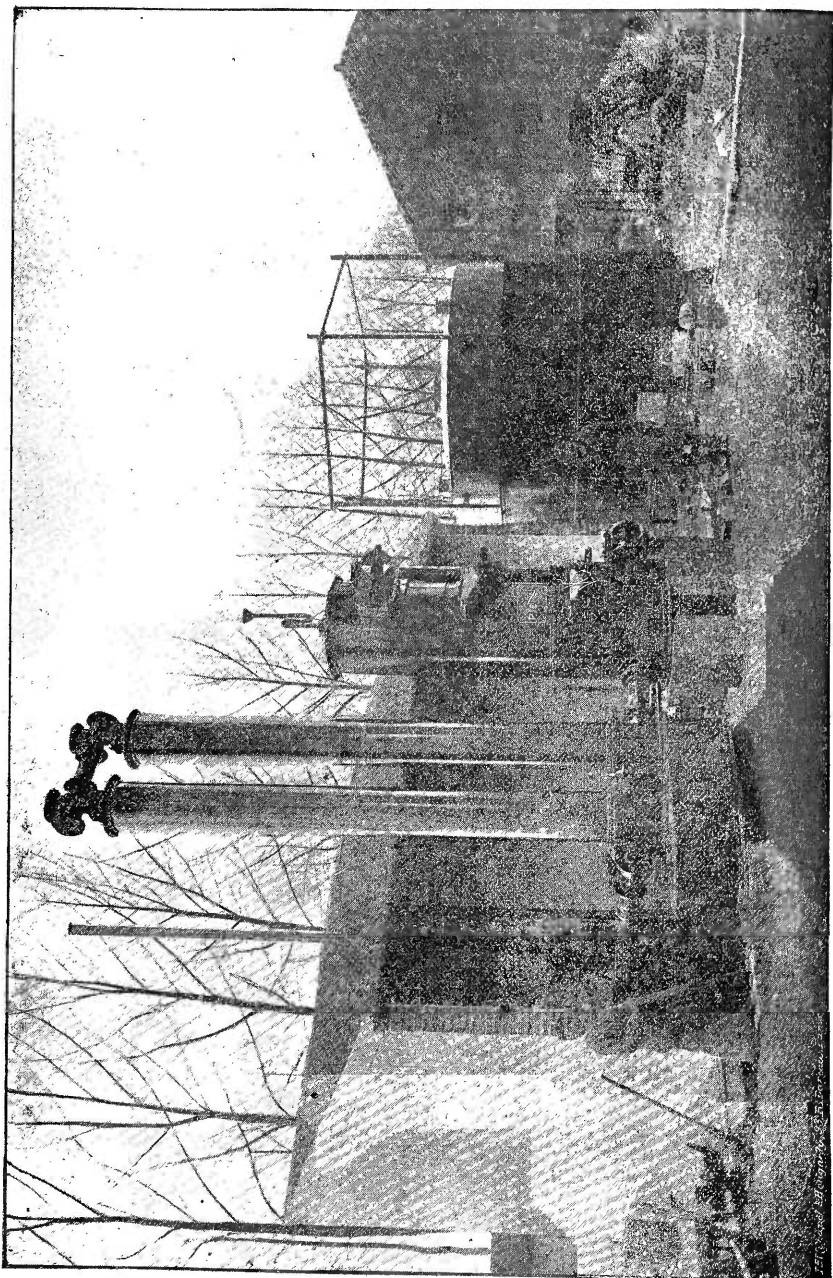
Les moteurs à gaz Crossley sont alimentés par le gazogène que nous venons de décrire. Le type représenté dans la figure 16 se construit pour des puissances au-dessus de 30 chevaux. L'ensemble est des mieux étudiés ; la vitesse de marche est lente, elle varie entre 250 à 260 tours suivant les types. A partir de 17 chevaux, le moteur est muni d'un appareil de mise en marche, sans avoir à agir sur les volants.

La figure 17 montre une vue photographique d'une installation Pierson, faite chez M. Decauville aîné, à Petit-Bourg (S.-et-O.). L'appareil fonctionne à des allures variant de 50 à

Fig. 16. — Moteur à gaz Crossley (Pierson, Paris).



150 mètres cubes à l'heure, sans que la valeur calorifique du gaz subisse la moindre variation. Le gaz pauvre a remplacé, à l'usine de Petit-Bourg, le gaz d'éclairage au brasage des pièces de vélocipèdes. Le mètre cube de gaz revenait autrefois à 0 fr. 25 ; 1 kil. d'antracite du bassin du Nord produit la même quantité de calories et ne coûte que 0 fr. 03, en comptant le combustible à 25 fr. les 1.000 kil.



Gazogène Fichet et Heurtey (système Taylor). — Le gazogène employé par MM. Fichet et Heurtey dans leurs installations est dû à M. Taylor. Cet appareil présente plusieurs particularités :

1° Il utilise la chaleur des gaz produits par le gazogène au réchauffement de l'air qui y est introduit ;

2° Le décrassage de l'appareil est très facile.

La récupération de la chaleur, qui serait perdue par le refroidissement du gaz dans les scrubbers, élève la richesse des éléments gazeux produits, les réactions se faisant à une plus haute température.

En coupe (fig. 18), ce gazogène se compose d'un cylindre vertical en tôle, portant à l'intérieur une enveloppe en briques réfractaires, un peu conique pour faciliter la descente du combustible ; elle est séparée de la tôle par une couche de sable destinée à diminuer les déperditions de chaleur. La cuve est terminée, à sa base, par un tronc de cône métallique destiné à recevoir les cendres ; la température doit être maintenue peu élevée dans cette région. En dessous du cône d'éboulement se trouve un plateau ou sole tournante, portant inférieurement une couronne dentée engrenant avec un pignon, commandé de l'extérieur par une manivelle P. En faisant tourner le plateau, les mâchefers s'éboulent sur le pourtour et tombent dans le cendrier F, duquel on peut les retirer par un regard.

La partie supérieure de la cuve est munie d'une voûte sur laquelle est boulonné un plateau de fonte refroidi par une nappe d'eau. En N se trouve un trémie de charge, à double fermeture permettant l'introduction du combustible, sans que l'intérieur soit en communication avec l'atmosphère. Le charbon remplit toute la partie supérieure de l'appareil, le regard *r* permet de limiter la zone d'incandescence, pour que le cône métallique soit toujours rempli de cendres.

A côté du gazogène se trouve une colonne T, munie d'une enveloppe calorifuge et contenant à l'intérieur un faisceau tubulaire dans lequel circule le gaz. A la partie supérieure se trouve une série de tubes V, dans lesquels passe de la vapeur venant du générateur par le tuyau *a*, celle-ci est surchauffée. Cette vapeur est envoyée à un injecteur I qui aspire de l'air, le tout est lancé dans l'espace laissé par le faisceau tubulaire et revient par le tuyau *d*, pour déboucher par une tuyère au centre de la masse incandescente. Les réactions se produisent et le gaz formé s'élève pour s'engager dans le conduit

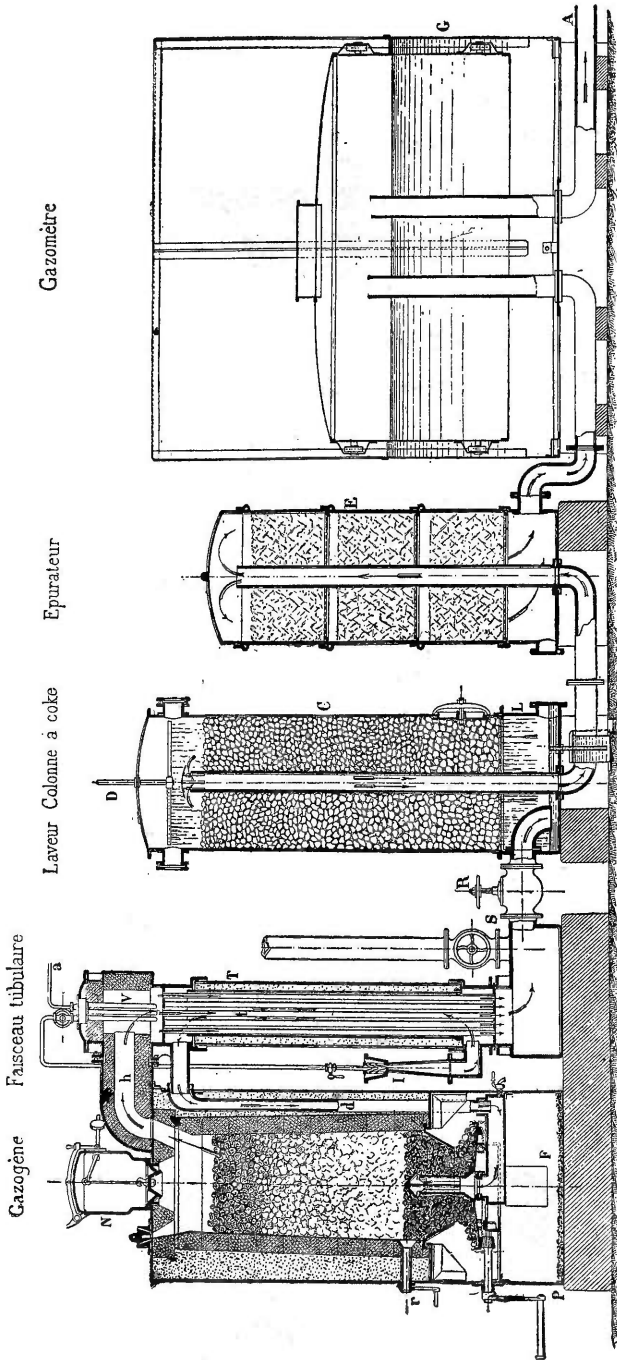


Fig. 18. — Coupe verticale de l'ensemble du gazogène Fichet et Heurtey.

h, puis il traverse le faisceau tubulaire en abandonnant de la chaleur et les cendres qu'il a pu entraîner dans un récipient S.

Le gaz traverse la valve R et vient dans le barboteur L, placé à la partie inférieure d'une colonne à coke C. Les goudrons se déposent dans l'eau, de laquelle on peut les extraire. En s'élevant, le gaz traverse une couche de coke où il abandonne ses poussières ; il est en même temps refroidi par un courant d'eau continu distribué par un tourniquet hydraulique D. Le gaz redescend au centre de la colonne et passe dans l'épurateur E, où il abandonne les gaz impurs, puis il arrive dans le gazomètre G.

Pour l'alimentation des machines et des appareils, le gaz est amené par la conduite A.

La figure 19 montre, dans son ensemble, une installation

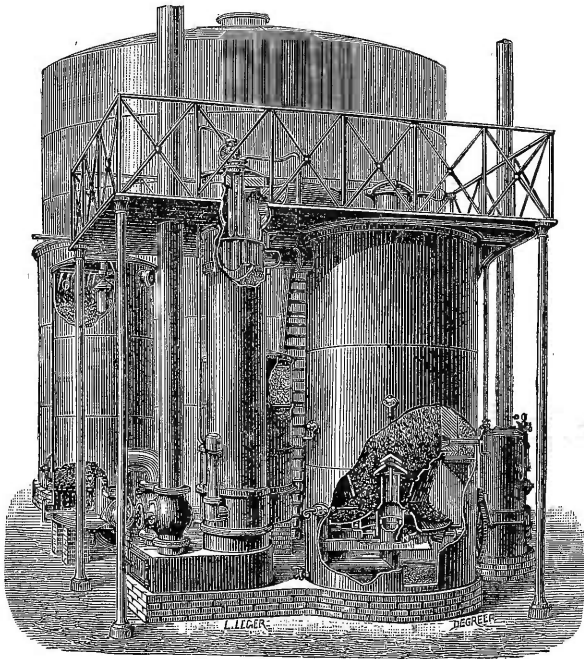


Fig. 19. — Vue d'ensemble de l'installation du gazogène Fichet et Heurtey.

Fichet et Heurtey, ramassée sur un espace restreint. Le fonctionnement se fait sans surveillance spéciale et peut être confié à un simple manœuvre. Le gazogène se construit

pour des diamètres de 1 m. 75 à 2 m. 78, consommant de 1 à 3 tonnes de combustible ; ces doses peuvent être doublées.

Gazogène Buire-Lencauchez. — Ce gazogène a été inventé par M. Lencauchez et est construit par M. Matter, de Rouen. La caractéristique de cet appareil réside dans la suppression du générateur de vapeur. La grille de la cuve est à barreaux creux, dans lesquels circule un courant d'eau continu qui, au contact du combustible incandescent, donne de la vapeur s'élevant dans la masse d'antracite. Pour activer le tirage et amener l'air nécessaire à la combustion, un ventilateur souffle en dessous de la grille. L'appareil est complété par un épurateur et un gazomètre.

Gazogène Bénier. — Le gazogène Bénier est des plus simples, il fonctionne par aspiration lorsque le moteur est en marche. Les scrubbers et le gazomètre sont supprimés ; c'est, au point de vue pratique, un progrès très important.

En coupe (fig. 20), ce gazogène comprend un cylindre métallique U U, doublé, dans la région du foyer, par une enveloppe en briques réfractaires M M. Sur un rebord *l* repose, par une saillie *b b*, une cuve métallique F F, munie à l'intérieur d'une couche de sable *d d* et d'une enveloppe de briques réfractaires H H ; le vide constitue le foyer rempli de combustible K. La partie inférieure est rétrécie et fermée par une grille circulaire dont les barreaux *a a a* sont en saillie sur un cylindre G, contenant l'eau alimentaire J J. Cette grille peut tourner pour extraire les cendres qui tombent dans le cendrier D, les barreaux sont nettoyés par un peigne fixe.

La trémie alimentaire est en N ; pour introduire le combustible, on enlève le couvercle *g*, puis on remplit la capacité N d'antracite ou de coke. On ferme, puis on appuie sur le levier *t* qui fait fléchir le ressort ; la tige *o* et le tiroir L, guidés par *p*, descendent, laissant passer le combustible dans le foyer. L'ensemble se referme sous l'action du ressort. Cette double fermeture prévient l'échappement des gaz toxiques à l'extérieur.

Voyons maintenant l'alimentation du gazogène, au point de vue de la vapeur d'eau et de l'air.

Pour cela, nous devons prendre le moteur en période d'aspiration ; par le tuyau Q, le piston produit un courant d'appel qui traverse entièrement le gazogène. De la grille G, part la vapeur à une pression de quelques centimètres d'eau, elle monte par le tuyau P dans la chambre R, de laquelle sort un tuyau courbe *s*.

La vapeur est admise par le robinet *x* dans une chambre de détente *u*, ouverte inférieurement, où elle prend la tension atmosphérique. Elle passe par une série d'ouvertures 1, 2, et

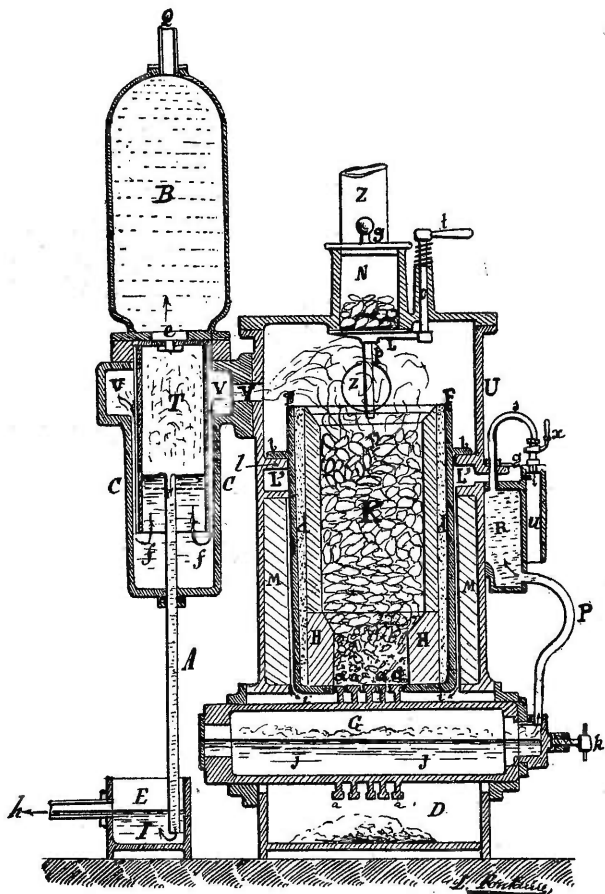


Fig. 20.— Coupe verticale du gazogène Bénéier.

se mélange à l'air atmosphérique entrant librement par l'ouverture *g*. Le tout arrive dans un espace annulaire L' L' et descend tout autour de la cuve F pour venir sortir en *ii*; de là les gaz entrent dans la masse incandescente K. Les réactions se produisent et le gaz sort par l'ouverture Y pour se rendre au laveur C C, dans lequel se trouve un tube T, muni de

lames minces destinées à arrêter les poussières. Un courant d'eau continu ne cesse de circuler dans le barillet, il lave le gaz circulant de V V en f f, puis emporte les poussières et les goudrons par le tube A. Celui-ci se déverse en I dans le bac E formant joint hydraulique ; de celui-ci part un tuyau de décharge h. Le gaz refroidi et épuré passe par l'ouverture e dans une cloche B, puis de là au moteur par le tuyau Q.

D'après ce qui précède, on voit que la grille creuse, dans laquelle circule un courant d'eau, remplace le générateur des grandes installations que nous avons vu précédemment. Il n'y a pas à craindre les fuites d'oxyde de carbone, car le gaz contenu dans l'appareil se trouve à une pression inférieure à celle de l'atmosphère.

Pour l'allumage, on se sert de la cheminée Z ; au bout de 7 à 8 minutes, le gazogène peut fonctionner, alors on ferme la cheminée. Le pouvoir calorifique du gaz obtenu avec de l'antracite serait, d'après M. Witz, voisin de 1.149 calories par mètre cube.

Le moteur accouplé au gazogène Bénier est représenté dans

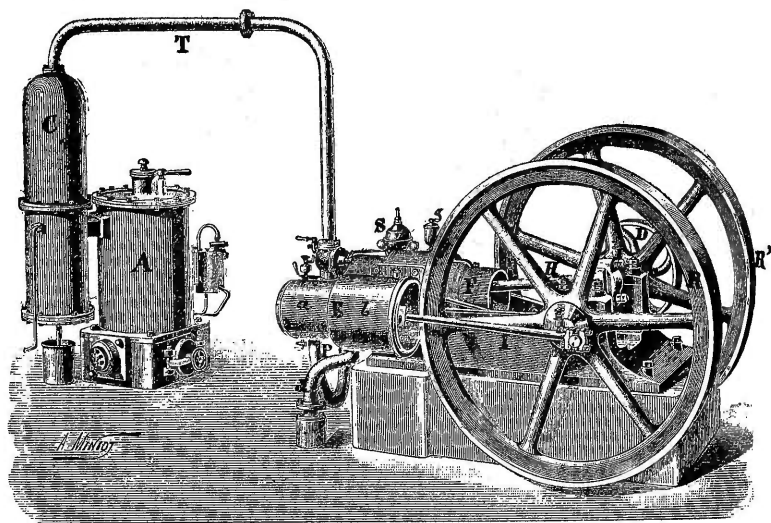


Fig. 21. — Vue d'ensemble du moteur gazogène Bénier.

son ensemble par la figure 21 ; il est à deux temps, c'est-à-dire qu'une explosion se produit par tour. Il comprend deux cylindres disposés sur le même bâti, l'un de compression E, l'autre

moteur ; leurs manivelles sont calées à 90 degrés et commandent les bielles I et H. La pompe de compression est double et comprend deux cylindres *a* et *b*, disposés en tandem, de diamètres différents, dans lesquels se déplacent deux pistons sur le prolongement l'un de l'autre. Le grand cylindre *b* aspire et comprime de l'air pur, le petit cylindre *a* aspire et comprime du gaz pauvre. Ces deux gaz se mélangent dans une boîte, avant d'être admis au cylindre moteur F. par une soupape de fond. L'arbre de couche est muni à ses extrémités de deux lourds volants R et R', destinés à régulariser le mouvement de rotation ; une poulie D reçoit la courroie de commande. L'admission du gaz est réglée par un régulateur pendulaire S.

Le gazogène A, muni de son épurateur C, est établi à une faible distance du moteur ; ces deux appareils sont réunis par le tuyau d'aspiration T. Le mélange gazeux passe du cylindre compresseur E au cylindre F par le tuyau P ; l'évacuation des gaz brûlés se fait par le pot d'échappement *d*. En supposant que le piston moteur soit chassé par l'explosion, il est conduit par détente ; mais arrivé aux 5/6 de sa course, il débouche des lumières, par lesquelles s'échappent les gaz brûlés. Elles restent ouvertes pendant le dernier sixième de la course en avant et le premier sixième de la course en arrière. Dès le début de la course en arrière, les pompes envoient du mélange comprimé qui aide au refoulement des gaz brûlés. Quand le piston a passé les lumières, il comprime le mélange ; arrivé à l'extrémité de sa course, l'explosion le chasse en avant. Donc, quand il y a compression dans le cylindre moteur, il y a aspiration par les pompes, et réciproquement. La vitesse moyenne est de 150 tours par minute.

D'après les essais de MM. Bénier et A. Witz, un moteur gazogène consomme 800 gr. de charbon maigre par cheval-heure effectif ; pour une puissance de 10 chevaux, la consommation n'est plus que 650 gr. ; au-dessus, la dépense descend à 600 gr. Le prix de revient du combustible par cheval-heure est d'environ 2 centimes 1/2 quand on emploie l'anhracite. Un moteur de 15 chevaux et son gazogène n'occupent qu'une surface de 8 mètres carrés.

Appareils de mise en marche ou Self-Starter

Lorsque les moteurs atteignent une puissance supérieure à 8 à 10 chevaux, il devient difficile de les mettre en marche à la main. Le démarrage demande, de la part du mécanicien, une grande fatigue, car il faut quelques tours de l'arbre de couche pour qu'une explosion se produise. Pour ces machines

on leur adjoint des appareils de mise en train appelés *self-starter*. Beaucoup de systèmes sont employés, citons ceux de Atkinson, Clerk, Niel, Crossley, etc.

Système Crossley. — L'appareil Crossley est adapté aux moteurs que nous avons décrits précédemment. Il se compose (fig. 22) d'une pompe de compression N, à laquelle aboutit une conduite de gaz H, le piston est en P. Elle est reliée par un tuyau *t* à deux tubes horizontaux *x x'* fixés au raccord R; de *x* part le tuyau V, se rendant au cylindre D. La commu-

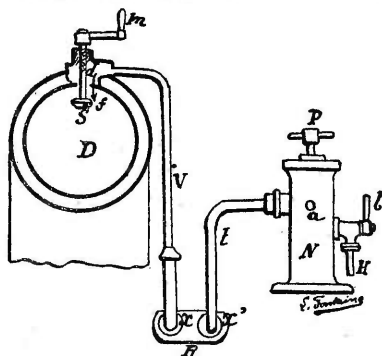


Fig. 22. — Self-starter Crossley (Pierson).

nication est donnée par une soupape S, que l'on peut monter ou descendre par la partie filetée de sa tige *d*, munie d'une manivelle *m*.

Pour faire fonctionner l'appareil, on amène le piston du cylindre dans la période d'explosion, puis on descend la soupape S. Le robinet à gaz *b* étant ouvert, on donne environ 30 coups de pompe pour comprimer le gaz dans les tubes *t, x' x* et à l'arrière du cylindre. On obtient un mélange détonant, car le cylindre et les tuyaux contiennent de l'air. Ceci fait, on approche une flamme de l'orifice *a* pratiqué dans le corps de pompe; l'explosion se propage jusqu'en *f*, chassant le piston. La poussée se fait doucement, sans choc. Un seul self-starter est nécessaire pour deux moteurs.

ANTIFLUCTUATEURS

Les moteurs à gaz étant des machines alimentées par des canalisations, il se produit dans celles-ci, lors de l'aspiration du gaz, une dépression qui peut avoir une répercussion sensible sur le fonctionnement des appareils greffés sur les canalisations intéressées.

Ces fluctuations pourraient être évitées par l'emploi de larges canalisations et de grandes poches à gaz. Mais ordinairement, les gaziers obtient à ces inconvénients, en plaçant près du moteur et sur la conduite des *antifluctuateurs*. Ce sont des appareils très simples, basés presque tous, sur l'em-

ploi d'une soupape qui est appelée par le cylindre à l'aspiration du gaz. Elle ferme momentanément l'arrivée de celui-ci au réservoir alimentaire.

MOTEURS A PÉTROLE

HISTORIQUE

L'idée d'employer comme combustibles les hydrocarbures liquides a fait naître le moteur à pétrole. La première machine de ce genre fut présentée en 1870 à l'Exposition de Philadelphie, par Brayton. En 1873, J. Hock, de Vienne (Autriche), inventa un moteur utilisant les hydrocarbures légers donnant des vapeurs à la température ordinaire.

Dans ces dernières années, le moteur à pétrole a reçu de nombreux perfectionnements, qui en font aujourd'hui une machine très pratique. L'agriculture, plus que toute autre industrie, est appelée à l'utiliser ; on est parvenu, en construisant des types à plusieurs cylindres, à obtenir de puissantes machines. Au début de la construction, on s'est attaché à produire le type fixe, destiné à des installations à demeure. Aujourd'hui, pour répondre aux besoins agricoles, les constructeurs ont établi des machines locomobiles pouvant se transporter comme de simples voitures. Ces moteurs présentent l'avantage, sur les machines à vapeur, de supprimer les transports lourds du charbon et de l'eau.

Au point de vue économique, le moteur à pétrole fournit la force motrice à 12 et 15 centimes par cheval et par heure. C'est, comme on le voit, un prix peu élevé, qu'il est bon de considérer quand, dans une installation, on a à choisir entre le pétrole et la vapeur.

Le moteur à pétrole a encore ce grand avantage sur la machine à vapeur, de ne demander en marche que peu de surveillance ; bien réglé, son conducteur peut être affecté à un service quelconque. La conduite de ces moteurs demande encore moins d'expérience que celle des machines à vapeur, c'est dire que tout ouvrier agricole intelligent peut être chargé de ce travail. Au point de vue de son installation, le moteur à pétrole n'est soumis à *aucun règlement*.

Dans le moteur à pétrole on utilise la force expansive développée par la combustion de gaz carburés. Pour leur production, on utilise le pétrole ordinaire, l'essence de pétrole et la gazoline. Voyons, en quelques mots, l'origine de ces produits.

Pétroles. — Le pétrole est un hydrocarbure liquide, d'aspect huileux, que l'on rencontre dans certains schistes bitumeux des *Terrains primaires* et sur différents points du globe. Ce produit, suivant les auteurs, a été attribué tantôt à l'origine végétale, tantôt à l'origine animale. D'après l'Allemand Enger, cet hydrocarbure proviendrait de la distillation sous pression de la graisse des animaux marins vivant dans les mers siluriennes et dévoniennes.

Le pétrole est connu de la plus haute antiquité; Hérodote signale son emploi chez les habitants de l'île de Zante. Le culte de Zoroastre, fondé sur l'adoration du feu, prit naissance chez les riverains de la mer Caspienne, où se trouvent de nombreuses salzes. Les temples de Bakou (Perse) sont renommés par leurs feux brûlant depuis des siècles.

En France, les gisements de pétrole liquide sont rares, on en trouve dans l'Hérault, aux environs de Pézenas.

1° *Naphtes.* — La première variété sous laquelle se présente le pétrole est le naphte ou *huile de pétrole*, contenant 86 à 88 o/o de carbone et 12 à 14 d'hydrogène. Leur point d'ébullition est élevé. On en rencontre en Suède, en Hongrie, en Bavière, dans la vallée de l'Orbe en Suisse, en Sicile, en Calabre, dans le bassin du Pô, sur les rivages de la mer Caspienne, en Turquie, en Palestine, en Perse, en Birmanie, en Chine, etc. La Russie détient le haut commerce des naphtes.

2° *Huiles minérales américaines.* — Ces huiles contiennent une certaine proportion de paraffine. Les premières découvertes du pétrole américain eurent lieu vers 1830 dans le Kentucky. En creusant un puits, on découvrit, à 60 mètres de profondeur, une nappe de pétrole qui jaillit à plus de 4 mètres au-dessus du sol. Mais c'est après le forage d'un puits en 1859, par M. Drake, fermier à Titusville, que l'exploitation des pétroles prit une grande extension. Dès 1860, de nombreux puits se creusèrent, transformant complètement la vallée de la rivière l'Œil-Creek, jusqu'alors tranquille. Une partie du sol de l'Amérique du Nord paraît reposer sur de vastes nappes de pétrole.

3° *Huiles de schiste.* — L'huile de schiste est extraite par la distillation des schistes bitumeux en vase clos. Les gisements sont nombreux en Europe. Pour ce qui est de la France, le bassin le plus important est celui d'Autun (Saône-et-Loire). Le schiste est noir, assez pesant, se présentant en plaques minces dans lesquelles on remarque beaucoup d'empreintes de poissons. A Igornay et à Mure on ne peut briser un morceau de schiste sans rencontrer une empreinte ani-

male. La formation de ces dépôts date de la période houillère. Les gisements sont exploités superficiellement, et ont une épaisseur quelquefois de 25 à 50 mètres. C'est en 1827 qu'une distillation industrielle s'établit à Igornay, près d'Autun. En 1832, MM. Blum et Moneuse, dans cet établissement, commencèrent à opérer la séparation des divers produits oléagineux. M. Selligie parvint à faire brûler les huiles obtenues.

Raffinage du pétrole brut. — Le pétrole tel qu'il sort des gisements est un liquide brun-verdâtre, de nature visqueuse, d'une odeur pénétrante, insoluble dans l'eau, au toucher gras, et d'une densité comprise entre 700 à 900. Un raffinage par distillation est utile pour extraire certaines substances du pétrole ; les produits combustibles retirés sont de différentes natures.

Les trois catégories importantes sont :

- 1^o Gazoline ;
- 2^o Essence ;
- 3^o Pétrole lampant.

Voici quelques chiffres relatifs à la température de distillation, à la densité, etc., des liquides précédents..

TEMPÉRATURE de la distillation (degrés C.)	NATURE des produits distillés	QUANTITÉ distillée o/o	DENSITÉ	TEMPÉRATURE d'inflammation (degrés C.)	TEMPÉRATURE d'ébullition (degrés C.)
60 à 90°	Gazoline	2 à 10	636 à 690	— 10	50 à 90°
120 à 170	Essence	2 1/2 à 4	710 à 750	0	120 à 150
150 à 270	Pétrole lampant	30 à 50	Américain 790 à 810 Russe 805 à 850	43 à 65	»

Les premiers produits de distillation de 0° à 30° sont des essences très inflammables (*cymogènes* et *rhigolènes*). Vient ensuite les *éthers de pétrole*, les *gazolines*, les *canadots*, les *essences minérales*, que l'on range sous la dénomination de gazolines. Les *essences lourdes de pétrole*, les *tigroines*, les *benzines*, constituent le groupe des benzines. En continuant la distillation, on obtient les *kérosènes* ou *huiles lampantes* du commerce.

Ces produits extraits, il reste des *huiles lourdes*, d'une den-

sité de 790 à 890, des huiles lubrifiantes, d'une densité de 865 à 920, des paraffines, des vaselines, des goudrons et du coke.

Le pétrole brut est donc un corps complexe qui donne, par distillation, une foule de produits. Au point de vue de l'alimentation des moteurs à pétrole, il faut compter sur une densité de 635 à 690 pour ce qui est de la *gazoline*, de 710 à 750 pour l'*essence*, et de 800 à 850 pour le *pétrole lampant*.

A son entrée en France, le pétrole est frappé d'un droit de douane qui était autrefois de 18 fr. les 100 kil. pour les produits bruts, et de 25 fr. pour les produits raffinés. En juillet 1893, ces droits ont été abaissés à 9 fr. les 100 kil. pour le pétrole brut, et à 12 fr. 50 pour le pétrole raffiné. L'obstacle au développement du moteur à pétrole a donc disparu. En Belgique, en Allemagne, en Suisse, cette machine a pris rapidement son essor, en raison du faible prix de vente du pétrole.

Il faut compter, en moyenne, sur un prix de 0 fr. 30 le litre, pour le pétrole lampant.

Flashing point et Burning point.— On entend par *flashing point* ou *point d'éclair*, le degré de chaleur nécessaire pour que le pétrole en présence de l'air produise une explosion accompagnée d'une flamme qui s'éteint aussitôt. Le *burning point* est le degré de chaleur nécessaire au pétrole ayant pris feu pour continuer à brûler.

Le point d'éclair est très important à connaître, au point de vue de la sécurité du liquide employé. On se sert pour sa détermination, en France, de l'appareil Granier. Le point d'éclair minimum pour le pétrole est de 35 degrés C.

Les moteurs à essence de pétrole ont donc, au point de vue pratique, une sécurité moindre que celle des moteurs à pétrole lourd, puisque l'essence s'enflamme à la température de 0, tandis que le pétrole lampant demande à être chauffé à 30 ou 40 degrés.

Pouvoir calorifique du pétrole et quantité d'air nécessaire à sa combustion. — La combinaison de l'oxygène avec le carbone et l'hydrogène que renferme le pétrole dégage une certaine quantité de calories. D'après les expériences qui ont été faites, on estime le pouvoir calorifique du pétrole lampant à 11.000 calories, soit 1,5 de celui de la houille. On se sert, pour la détermination, d'appareils appelés obus calorimétriques. Quant au volume d'air nécessaire à la combustion complète, on doit se baser sur la quantité de carbone et d'hydrogène que renferme le pétrole. La combustion a pour but de trans-

former le carbone en acide carbonique et l'hydrogène en eau. Sachant que 12 gr. de carbone demandent 32 gr. d'oxygène pour brûler (CO^2), et que 1 gr. d'hydrogène nécessite 8 gr. d'oxygène pour se transformer en eau (HO), on peut facilement déterminer le cube d'air nécessaire à la combustion. Supposons, pour fixer les idées, que le pétrole renferme 860 gr. de carbone et 140 gr. d'hydrogène pour 1000, on aura les quantités d'oxygène suivantes :

$$1^\circ \text{ Pour le carbone } \frac{32 \times 860}{12} = 2300 \text{ gr.}$$

$$2^\circ \text{ Pour l'hydrogène } 140 \times 8 = 1120 \text{ gr.}$$

$$\text{Total..... } 3420 \text{ gr.}$$

L'air renfermant en poids 23 o/o d'oxygène, la quantité nécessaire pour fournir les 3.420 gr. d'oxygène sera de 14.869 grammes.

La densité de l'air est de 1 gr. 293, le volume total d'air employé sera de :

$$14.869 : 1.293 = 11.499 \text{ litres ou } 11^{\text{m}^3} 499.$$

Air carburé.— Le pétrole, pour être utilisé par les moteurs, doit être réduit à l'état de vapeurs. Pour cela, on se sert de l'air qui se charge de ces vapeurs, formant ainsi un gaz carburé pouvant faire explosion. La carburation se fait de deux manières suivant les systèmes de moteurs :

1° *Par un courant d'air traversant la masse de l'hydrocarbure contenu dans un appareil appelé carburateur;*

2° *Par réduction en vapeur au moyen d'un appareil chauffé appelé gazificateur*

1° Carburateurs à gazoline, à essence de pétrole et à pétrole lourd. — La gazoline et l'essence de pétrole sont très volatiles ; il suffit pour obtenir la carburation que le liquide soit traversé par un courant d'air.

Pour la carburation du pétrole ordinaire, il faut le chauffer au préalable pour qu'il puisse se réduire en vapeur. Ordinairement le carburateur se place sur le cylindre de la machine, la chaleur qui se dégage sert à échauffer l'hydrocarbure.

En principe, un carburateur se compose d'un vase métallique (fig. 23), de forme circulaire, dans lequel pénètre un tube d'aspiration d'air T, terminé inférieurement par un flotteur F F. L'ensemble du tube et du flotteur est soutenu par deux chaînes c c, passant sur des poulies R R, et terminées par des contre-poids Q Q. De cette façon, le flotteur baigne

toujours d'une certaine quantité dans l'hydrocarbure. Un tube d'alimentation A relie le cylindre I au carburateur. Voyons ce qui va se passer en marche.

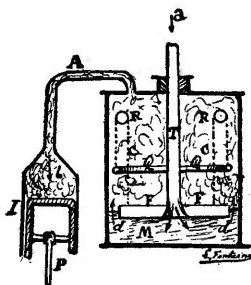


Fig. 23. — Principe du carburateur.

Lorsque le piston P descend dans le cylindre I, il aspire l'air carburé par le tuyau A; celui-ci est remplacé dans le carburateur D par de l'air extérieur. Il entre par le tuyau T, suivant la flèche *a* et descend dans l'essence M qu'il traverse; il sort chargé de vapeurs en *d d*. Au fur et à mesure que l'hydrocarbure M diminue, le flotteur F F s'abaisse.

Le carburateur doit toujours être surélevé au-dessus du cylindre du moteur, car il résulte des expériences de M. Lenoir, que le mélange d'air et de vapeurs d'hydrocarbure ne peut se déplacer dans un tube ascendant, sans que les éléments de différentes densités dont il se compose ne se séparent avant leur arrivée dans le cylindre.

2° Gazificateurs ou vaporisateurs à pétroles lampants. — Le deuxième moyen pour obtenir des vapeurs d'hydrocarbure est d'injecter du pétrole, sous forme d'une pluie fine, dans un récipient appelé gazificateur, ou simplement vaporisateur.

Dans la figure 24, nous donnons, en coupe, le vaporisateur du moteur Merlin. Il est formé d'un tube C, garni d'ailettes, chauffé en dessous par une lampe à chalumeau D, alimentée par du pétrole sous pression.

Le pétrole arrive dans le vaporisateur au moment de l'aspiration, par l'abaissement d'une soupape *c*, dont la tige B est soulevée, en temps ordinaire, par un ressort *r*, calé en *n*. Il entre en même temps une certaine quantité d'air par les ouvertures *dd*.

Le pétrole, en arrivant en contact de la partie chaude du tube C, se réduit en vapeur qui, en se mélangeant avec l'air, forme un gaz carburé se rendant dans la chambre de combustion G. L'ensemble du vaporisateur est enfermé dans une lanterne métallique, surmontée d'une cheminée *e*, destinée à évacuer au dehors les gaz provenant de la lampe de chauffage D. Tels sont, en principe, les deux modes de carburation de l'air employés dans les moteurs à pétrole actuels.

CYCLE DES MOTEURS A PÉTRÔLE. — L'air carburé tel qu'il est préparé par le carburateur ou le vaporisateur brûlerait

en faible partie s'il n'était mélangé à un certain volume d'air, introduit par une soupapè spéciale au moment de son arrivée dans la culasse du cylindre. Enfin, l'explosion du mélange détonant ne peut avoir lieu que s'il est comprimé.

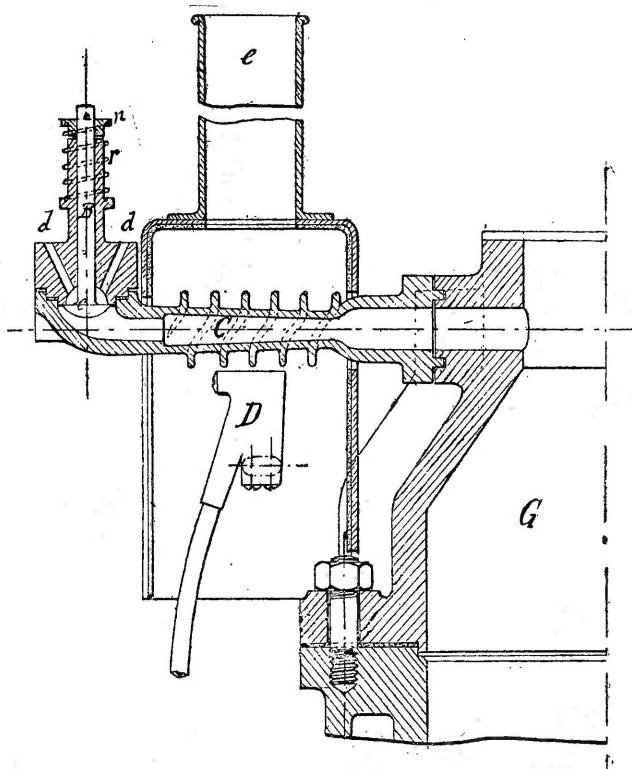


Fig. 24. — Coupe du vaporisateur Merlin.

On s'est arrêté au *cycle à quatre temps* de Beau de Rochas. Ce cycle peut se décomposer de la façon suivante, en prenant le piston à fond de course et à son point mort arrière :

1^{re} période (aspiration). — Le piston descendant, il fait un vide qui appelle les vapeurs de pétrole et l'air ;

2^e période (compression). — Le piston remonte et comprime le mélange détonant ; c'est la course retardatrice ;

3^e période (explosion). — Le mélange s'enflamme et chasse le piston à nouveau ; c'est la course motrice ;

4^e période (échappement). — Les hydrocarbures étant brûlés sont expulsés au dehors par une soupape.

Les quatre temps peuvent donc se représenter par deux coups de piston, comme l'indique le tableau ci-dessous :

1 ^{er} coup de piston.	{	<p>1^{er} temps (descente) : Aspiration du mélange détonant.</p> <p>2^e temps (montée) : Compression du mélange, air et pétrole volatilisé.</p>
2 ^e coup de piston..	{	<p>3^e temps (descente) : Inflammation du mélange, dilatation et action motrice sur le piston.</p> <p>4^e temps (montée) : Évacuation des produits gazeux brûlés.</p>

Force motrice. — Nous venons de voir que les vapeurs d'hydrocarbure s'enflamment à la troisième course; une détonation violente se produit par suite des combinaisons du carbone et de l'hydrogène avec l'oxygène. Une quantité énorme de gaz se produit, chassant le piston par détente jusqu'au fond du cylindre. La pression atteint 14 à 15 atmosphères. Comme la machine est à simple effet, le piston ne reçoit sur sa face supérieure l'impulsion des gaz que pendant une course sur quatre ou, mieux, une fois sur deux tours de volant. Si on analyse les phénomènes mécaniques qui se passent durant le cycle, on voit qu'à la période d'aspiration le travail est faible; qu'il est très élevé à la deuxième période pendant la compression; qu'il est maximum à la troisième période pendant l'explosion, et qu'il est faible à la quatrième période pendant l'évacuation. Le travail moteur développé à la troisième période de course doit donc être supérieur à quatre fois le travail moyen, puisque les trois autres absorbent du travail résistant

En admettant un rendement organique de 65 o/o pour un moteur devant développer 6 chevaux effectifs, l'explosion devra donner pour les quatre périodes du cycle :

$$\frac{100 \times 6 \times 4}{65} = 36 \text{ chevaux } 92.$$

Pour que la machine conserve son régime, il faut lui donner une vitesse assez grande et la munir de lourds volants qui emmagasinent, pendant trois périodes non motrices, une certaine quantité de puissance vive $\left(\frac{M V^2}{2}\right)$ qu'ils restituent ensuite. On a adopté pour les forces supérieures les machines à deux cylindres; les manivelles sont calées de façon qu'il

se produise alternativement, dans chacun d'eux, une explosion par tour d'arbre de couche. La marche est très régulière.

Principe du moteur à pétrole. — En principe, le moteur à pétrole se compose (fig. 25) d'un cylindre fermé à sa partie

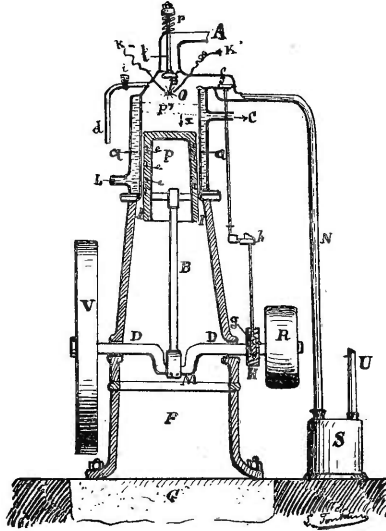


Fig. 25.— Principe du moteur à pétrole.

supérieure par une chambre de combustion O, et ouvert à sa partie inférieure. Dans ce cylindre se meut un piston à fourreau P, muni de 4 segments *eee*, pour donner une fermeture hermétique. Il s'articule directement en I, avec la bielle B, commandant la manivelle M de l'arbre de couche DD, sur lequel sont fixés le volant V et la poulie de commande R. Le cylindre est boulonné sur un socle creux en fonte F, fixé au massif en maçonnerie G.

Le mélange gazeux arrive par le tuyau A en faisant abaisser la *soupape d'admission* p, maintenue par une tige t et un ressort de rappel r. Une autre soupape f, appelée *soupape d'échappement*, jouant le rôle de distributeur, se soulève pour laisser sortir les gaz brûlés par le tuyau N, se rendant dans un pot d'échappement S qui amortit le bruit, puis de là dans l'atmosphère par le tuyau U. La commande de cette soupape se fait au moyen d'un mécanisme comprenant une roue hélicoï-

dale H, calée sur l'arbre de couche qui engrène avec une vis g clavetée à l'extrémité d'un arbre portant une came h . Les engrenages sont dans le rapport de 2 à 1, g tourne deux fois moins vite que H, de sorte que la came h commande la soupape f tous les deux tours.

Enfin, le corps du cylindre est entouré d'une double enveloppe laissant un espace vide $a a$, dans lequel circule de l'eau froide. Celle-ci arrive par la base du cylindre dans le tuyau L et sort en haut par le tuyau C. Cette eau sert à refroidir le corps du cylindre qui acquiert pendant la marche une température très élevée.

En supposant que le piston soit en haut de sa course en P', et qu'il descende suivant la flèche x , il fait le vide. La soupape p s'abaisse et les gaz carburés du tuyau A pénètrent. Arrivé à la fin de sa course en P, le piston remonte en comprimant les gaz dans la chambre O. Pendant cette ascension, la soupape e s'est refermée sous l'effet du ressort r et de la pression des gaz. A ce moment, une étincelle jaillit entre les pôles des fils K et K', reliés à des piles. Cette étincelle enflamme la masse comprimée qui fait explosion, chassant le piston en arrière et le conduit par détente jusqu'au bas de sa course.

Enfin, avec la vitesse acquise, le piston remonte en refoulant en haut les gaz brûlés qui s'échappent du cylindre par la soupape f , soulevée à ce moment précis par la came h .

Pour mettre en marche le moteur à pétrole, on est obligé d'imprimer au volant V quelques tours, en ayant soin d'ouvrir le robinet i du tube d ; une certaine quantité de gaz s'échappe. Sans cela, la compression demanderait le travail de deux hommes pour un moteur de quatre chevaux. Ordinairement, le conducteur s'aide d'un pied et de ses mains pour entraîner le mécanisme; dans certaines machines, une manivelle à déclie sert à cet effet (Merlin, Daimler).

INFLAMMATEURS

Nous avons vu dans le cycle du moteur à pétrole, que c'est à la troisième période que l'explosion de la masse gazeuse se produit par un moyen quelconque. On emploie deux systèmes :

- 1° L'étincelle électrique;
- 2° Le tube incandescent et la conductibilité.

1° *Inflammation par l'étincelle électrique.* — L'étincelle électrique se rencontre chez un certain nombre de moteurs, elle

est produite par des piles ou par une petite machine magnéto-électrique (système Durand).

L'inflamateur par piles, employé par MM. Brouhot dans leurs moteurs à pétrole, est représenté en schéma par la figure 26. Deux piles humides, dites piles Dulaurier, au sel

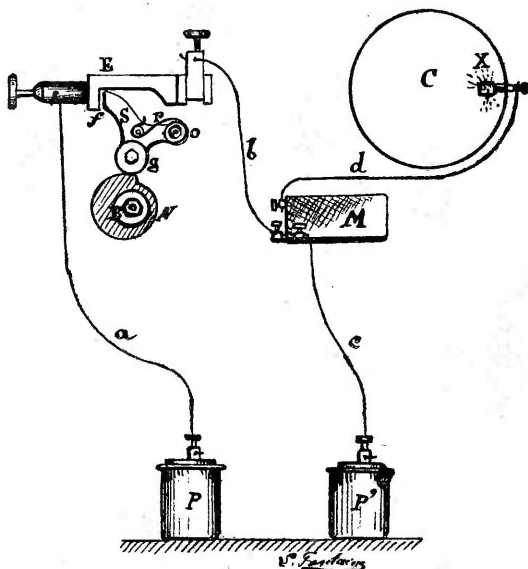


Fig. 26. — Inflamateur électrique par piles (système Brouhot).

ferro-chromique, produisent le courant électrique. Le conducteur *a* de la pile *P* se rend à une pièce métallique *E*, isolée du bâti par de la fibre; le conducteur *c* de la pile *P'* est relié à une bobine de Ruhmkorff *M*, de laquelle part un fil *b*, relié par une vis de serrage au bâti.

Le circuit dans lequel se déplace le courant primaire est donc *P, a, E, b, c, P'*; mais il est ouvert pendant trois périodes du cycle du moteur (aspiration, compression, échappement). Ce n'est qu'à la troisième période (explosion) qu'il doit être fermé. Pour cela, sur l'arbre de distribution *B*, est calée une came *N*, qui commande un levier d'allumage *S*, oscillant autour du point *O*, et retenu en arrière par un ressort *r*. En tournant, la came *N* vient appuyer sur le galet *g* et amène *S* en contact au point *f* avec la pièce *E*. A ce moment, le circuit est fermé, le courant du conducteur *a* passe en *b* en empruntant le bâti, circule dans la bobine et revient en *c*. Le cou-

rant induit par M est d'un voltage très élevé, il se rend à une bougie X, placée dans le cylindre C, par le conducteur *d* et en empruntant également le bâti qui sert de deuxième conducteur.

L'excellente bougie Brouhot est représentée par la figure 27. Le conducteur positif *f* est fixé par une vis *p* à une tige

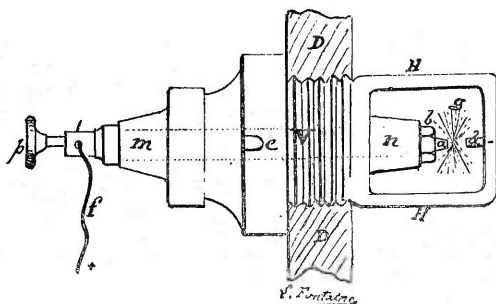


Fig. 27. — Bougie d'allumage Brouhot.

de cuivre *m*, isolée dans une enveloppe en porcelaine *n*, terminée par une pointe en platine *a*, réglable de longueur par un écrou *b*. Le pôle négatif est constitué par une autre pointe *a'*, située à 1 millimètre de distance de *a*. Cette pointe est fixée à un cadre en acier H H, terminé par une partie filetée V qui vient se visser dans la paroi D D du cylindre. Pour visiter la bougie, on la dévisse en se servant des encoches *e*. Le courant + arrive en *a*, et le courant - par le bâti D H et *a'*; l'étincelle *g* jaillit au milieu même de la masse comprimée, produisant une température de 11 à 1200 degrés. La dépense d'entretien des piles est d'environ 2 fr. 50 à 3 fr. par mois. En résumé, le système d'allumage Brouhot est excellent pour plusieurs raisons : l'étincelle se produisant au centre du mélange et à une haute température, provoque une déflagration rapide, le mélange détonant est mieux brûlé.

2° *Inflammation par tube incandescent*. — Dans ce système, une pièce rougie, située au fond de la chambre de compression, enflamme le mélange détonant à la troisième période du cycle.

Pour les moteurs sans carburateur, le vaporisateur fait en même temps fonction d'inflammeur (Merlin, Hornsby, etc.). Chez les moteurs à carburateur, l'inflammation est produite par un tube faisant saillie à l'extérieur du cylindre et chauffé au rouge par une lampe spéciale ; la flamme doit être bleue et non jaune, celle-ci indiquerait une trop grande

quantité de pétrole. Dans les deux cas, l'explosion du mélange carburé se produit lorsque les gaz en contact avec la partie chauffée ont une température et une densité suffisantes leur permettant de s'enflammer. Ce dernier point est obtenu, comme nous le savons, par compression, dans le deuxième temps du cycle.

Ratés. — Régulateurs. — Refroidissement du cylindre. —

Il peut arriver, dans la marche du moteur, que certaines explosions ne se produisent pas, ces coups constituent les *ratés*. Ils proviennent de plusieurs causes qu'il faut bien connaître pour apporter remède à la marche de la machine. En premier lieu, ce défaut vient du mélange détonant qui est trop pauvre en gaz carburé. L'air à la compression est en disproportion avec le carbure : il faut diminuer l'arrivée de ce gaz au carburateur ou au vaporisateur. La plupart de conducteurs de moteurs à pétrole ont soin, après un certain temps de pratique, de faire un trait indiquant le point d'ouverture de la prise d'air. Le réglage est fait une fois pour toutes.

En second lieu, les ratés peuvent provenir d'un défaut d'allumage, il faut alors voir si les piles sont en bon état ou si le tube d'inflammation est suffisamment chauffé et non obstrué.

Au début de la marche, le cylindre froid donne toujours quelques ratés ; en pleine marche, il ne faut le refroidir que dans des conditions déterminées, pour éviter les non explosions et obtenir une bonne combustion.

Les moteurs à pétrole, suivant leur force, marchent à une vitesse déterminée ; comme les efforts demandés par les machines qu'ils commandent sont très variables, il faut les munir d'un régulateur de vitesse. Celui-ci, ordinairement à boules centrifuges, n'agit que lorsque la marche normale est dépassée. L'action du régulateur se porte toujours sur la soupape d'échappement ; il la maintient fermée, alors le moteur marche avec les mêmes gaz ; ou il la tient soulevée, alors le moteur aspire et refoule de l'air pur. Dès que la vitesse de régime est rétablie, les phases du cycle reprennent leur cours normal. Bien réglé, un moteur à pétrole ne doit pas donner des écarts de vitesse de plus de 3 o/o. Donc, en principe, le régulateur détermine le nombre d'explosions dans le cylindre, en raison du travail à produire.

Le cylindre, comme nous venons de l'établir, doit avoir une certaine température pour que l'explosion et la combustion du mélange gazeux se fassent dans de bonnes conditions, mais il ne faudrait pas que cette température devienne trop

grande, sans quoi la dissociation ou le *craking* des huiles se produit, donnant des grippements dans le cylindre. Donc, un cylindre trop refroidi bloque une machine en faible charge; trop chauffé, l'usure du piston s'en ressent. Il faut, en marche normale, pouvoir maintenir la main sur le cylindre sans brûlure.

On a cherché à obtenir le refroidissement du cylindre par rayonnement, en le garnissant d'ailettes; mais ce système est abandonné, car un moteur de ce genre ne peut marcher plus de deux heures sans arrêt. La circulation d'eau autour du cylindre est la seule disposition pratique admise aujourd'hui pour le maintenir à température normale. L'eau arrive par la base à une température de 14° à 15° centigrades et sort par le haut à une température de 65 à 70°.

Graissage du cylindre. — Pour maintenir le cylindre en parfait état d'alésage et pour éviter les grippements qui ne tarderaient pas à se produire par la haute température qui règne à l'intérieur, il faut un excellent graissage. Le liquide à employer ne doit pas donner d'encrassement; on se sert de préférence de l'huile minérale russe (naphte), de la valvoline etc., contenue dans un graisseur compte-gouttes, dont on règle le débit suivant la force du moteur.

Nettoyages et entretien. — Comme toutes les machines thermiques, le moteur à pétrole demande un entretien pour assurer son bon fonctionnement. Outre les soins de propreté extérieure, la visite des boulons, le réglage des ressorts, etc., il faut entretenir la soupape d'échappement bien propre et parfaitement ajustée sur son siège. Tous les 3 ou 4 jours, il faut la démonter pour voir si aucun dépôt ne s'est produit. Si la fermeture n'est pas hermétique, on rode la soupape avec du papier de verre en la plaçant sur son siège et en lui imprimant un mouvement de rotation.

Classification des moteurs à pétrole

On doit faire deux grandes catégories de moteurs à pétrole :

1° *Moteurs à carburateur* ;

2° *Moteurs sans carburateur ou à vaporisateur.*

Dans les premiers, l'inflammation des gaz se fait de trois manières :

1° Par étincelle électrique ;

2° Par conductibilité ;

3° Par tube d'ignition.

Dans les moteurs sans carburateur, le pétrole est réduit en vapeur par le vaporisateur, il sert en même temps d'inflammeur.

Les moteurs que renferment ces deux catégories peuvent être fixes ou locomobiles, horizontaux ou verticaux. Nous réunissons dans un tableau synoptique l'ensemble de la classification précédente :

<p>1^{re} Catégorie.— Moteurs à pétrole à carburateur, <i>fixes</i> ou <i>locomobiles</i>, <i>horizontaux</i> ou <i>verticaux</i>.</p>	<p>L'inflammation se fait</p>	<p>} 1^o Par étincelle électrique; 2^o Par conductibilité; 3^o Par tube d'ignition.</p>
<p>2^e Catégorie.— Moteurs à pétrole sans carburateur, pourvus d'un vaporisateur, <i>fixes</i> ou <i>locomobiles</i>, <i>horizontaux</i> ou <i>verticaux</i>.</p>	<p>Le vaporisateur produit et enflamme les vapeurs.</p>	

On trouve les moteurs à un cylindre ou *monocylindriques*, à deux cylindres ou à quatre cylindres. Lorsque le cylindre est vertical et fixé au-dessus du bâti, le moteur est dit à pilon.

MOTEURS A CARBURATEUR

1^o MOTEURS A ESSENCE DE PÉTROLE

Dans ces moteurs, le gaz carburé est obtenu par un mélange d'air et de vapeurs d'essence, se produisant à la température ordinaire. Nous décrirons, en premier lieu, les excellentes machines Brouhot, constructeur à Vierzon (Cher).

Moteurs Brouhot. — M. Brouhot fabrique deux types fixes. Le premier est de forme verticale, représenté dans son ensemble par la figure 28. Le bâti est constitué par une colonne creuse en fonte, portant à la base un empatement permettant de le boulonner sur une assise. L'intérieur de la colonne forme cylindre, dans lequel se meut un piston commandant l'arbre de couche, muni d'un lourd volant et d'une poulie de commande. En avant, se trouve la boîte d'admission et d'échappement contenant les deux soupapes. Un petit arbre vertical, prenant son mouvement sur l'arbre de couche par un engrenage hélicoïdal, porte un régulateur de vitesse et les deux cames; l'une commande la soupape d'échappement et l'autre sert de contact pour établir le courant électrique à la borne d'allumage. L'ensemble est très ramassé, ce moteur convient pour les faibles emplacements. L'alimentation se fait

au gaz ou à l'essence de pétrole; dans ce cas on adjoint un carburateur spécial que nous décrirons dans l'autre modèle. Pour des force de 1/4 à 3 chevaux, les prix sont de 920 à 2.800 fr., piles comprises.

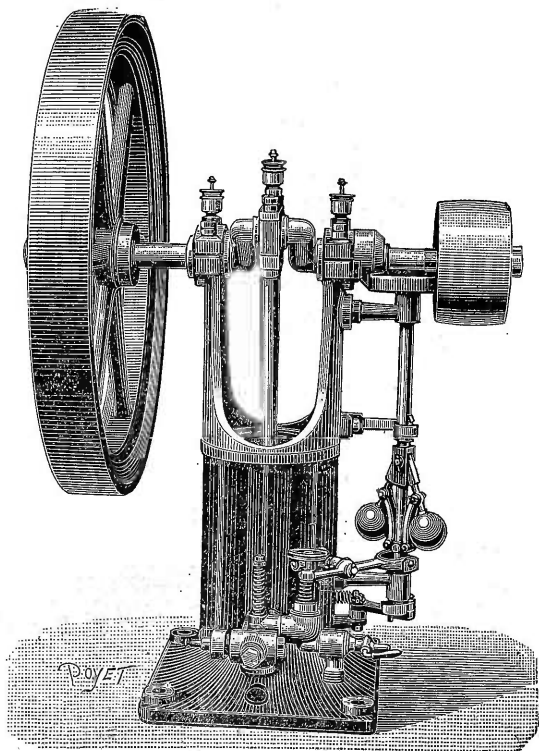


Fig. 28. — Moteur vertical à essence ou à gaz Brouhot.

Le deuxième type de moteur à essence mi-fixe Brouhot est horizontal, représenté dans son ensemble par la figure 29.

La machine se compose (fig. 30) d'un socle prismatique creux, en fonte M, se boulonnant sur l'assise en maçonnerie D. Un bâti robuste S se fixe au socle M et porte en avant les paliers de l'arbre de couche A. A l'arrière se trouve placé en porte-à-faux le cylindre C. L'arbre de couche A est muni de deux lourds volants R, et la manivelle *n* met en mouvement la bielle *b* du piston. Un graisseur compte-gouttes *f* est vissé à l'arrière.

L'alimentation se fait avec de l'essence d'une densité de 700 à 710 grammes, contenue dans un réservoir T boulonné sur le cylindre, d'une contenance de plusieurs litres et qu'on

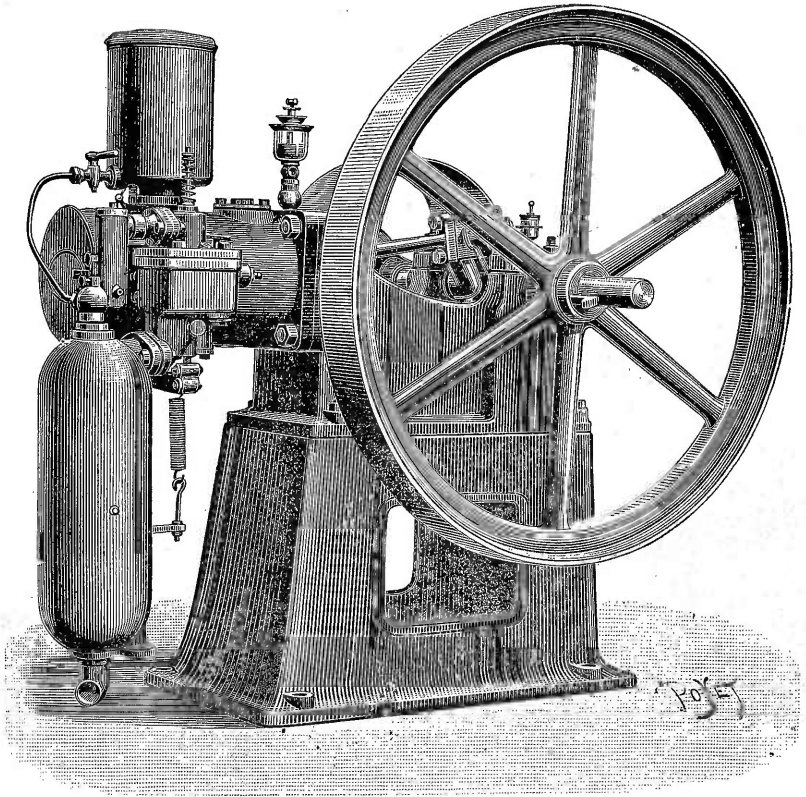


Fig. 29.— Vue d'ensemble du moteur à essence Brouhot.

remplit par une ouverture munie d'un clapet à charnière *p*. L'essence se rend par un tube *u*, muni d'un robinet *r* à un réservoir à flotteur, puis de là au carburateur *m*. Les vapeurs de pétrole se mélangent avec de l'air aspiré par le tuyau *J*, traversant la bouteille d'échappement *F*; son arrivée est réglée en *d*. A l'aspiration, le mélange détonant entre dans le cylindre par l'abaissement de la soupape d'admission dont le ressort de rappel est en *a*. Dans la seconde période du cycle, le mélange est comprimé dans la boîte à soupapes *H* et en-

flammé par une étincelle électrique produite par un courant venant des piles I, reliées par le conducteur x' à la bobine K et par le fil x avec la bougie d'allumage V que nous avons

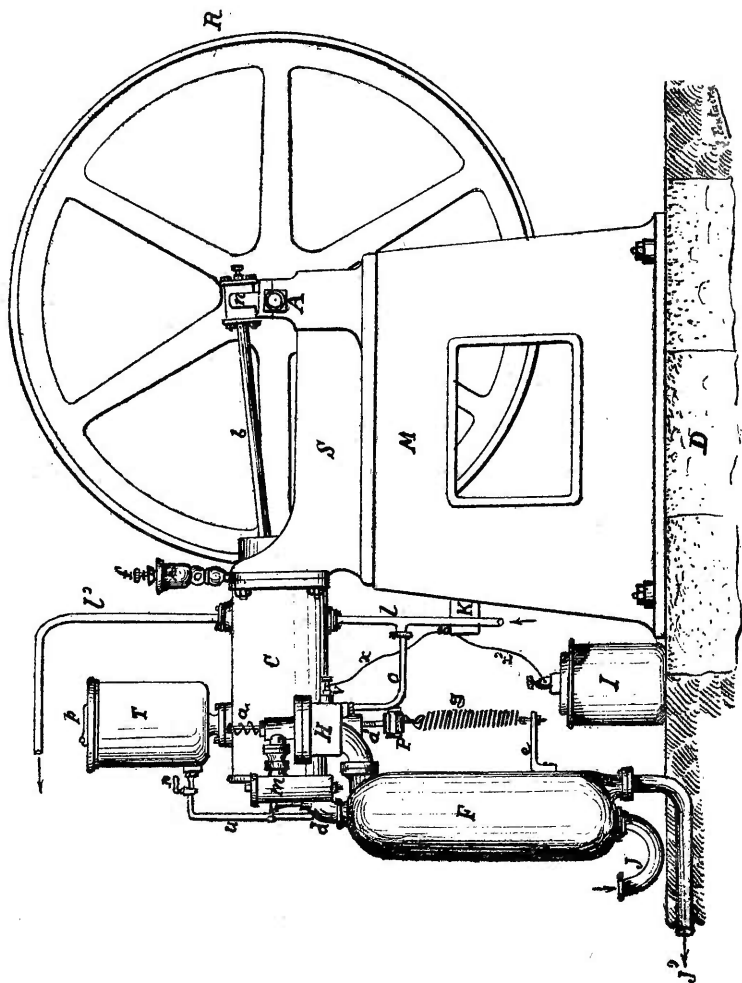


Fig. 30. — Moteur à essence Brouhot.

décrite précédemment. A la quatrième période du cycle, la soupape d'échappement se soulève par l'entremise d'un levier P, actionnant celui de la soupape d . Les gaz brûlés s'échappent dans l'atmosphère par la bouteille F, à laquelle est boulonné un tuyau d'évacuation J'. La soupape est ramenée sur son siège par un ressort de rappel g , ayant un point fixe en e .

La commande de la soupape d'échappement se fait par une came que nous décrirons également plus loin. Celle-ci est fixée sur l'arbre B (fig. 31), placé à gauche du moteur, mis en mouvement par un engrenage hélicoïdal S, tournant sous l'action d'une vis sans fin V, calée à l'extrémité de l'arbre de couche A. Ces deux engrenages sont dans le rapport de 2 à 1, de sorte que la came n'agit que tous les deux tours sur la soupape d'échappement, c'est-à-dire à la fin du cycle.

Le refroidissement du cylindre est obtenu par une circulation d'eau froide arrivant par le tuyau *l*, une dérivation *o* se rend à la boîte à soupape; l'eau chaude s'échappe par le tuyau *l'*. Il est évident qu'on peut avoir une circulation continue ou par thermosiphon, dont nous parlons dans les installations à la suite de ce chapitre.

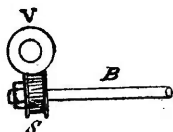


Fig. 31. — Commande de l'arbre à cames.

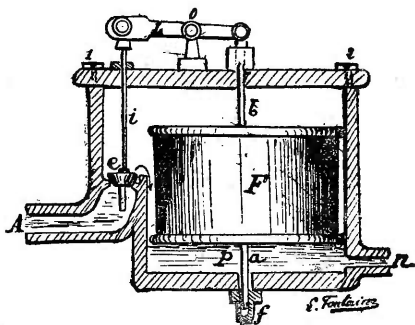


Fig. 32. — Réservoir alimentaire du carburateur (Brouhot).

Voyons maintenant les détails de la machine. L'essence de pétrole doit toujours arriver au carburateur en quantité égale, pour produire un mélange détonant homogène. Pour cela, un réservoir alimentaire automatique est interposé entre le bac à essence et le carburateur.

Il consiste (fig. 32) en un récipient cylindre en cuivre, dans lequel se meut un flotteur F, guidé inférieurement par une tige *a*, pénétrant dans la cavité d'un bouchon *f*; il est muni en haut d'une autre tige *b*, venant s'attacher à un levier L, oscillant autour du point *o*. Ce levier est muni d'une tige *i* portant un bouchon *e*, qui vient fermer le tube d'arrivée A. Quand le liquide P est en quantité suffisante, il soulève le flotteur F, lequel fait descendre le bouchon *e* sur son siège; il y a arrêt dans l'alimentation. Le couvercle se fixe au moyen des vis 1 et 2; le nettoyage se fait en démontant le bouchon *f*.

Au moment de l'aspiration par le piston, l'essence est ap-

pelée au carburateur par le tube *n* qui vient déboucher en *A'* (fig. 33). A ce point, arrive en même temps par le tuyau *Q'*, et suivant la flèche *a*, une certaine quantité d'air chaud dont la proportion est réglée par la vanne *n*, munie d'une tige *z* et d'un bouton *J*; l'ouverture nécessaire étant obtenue, on fixe le

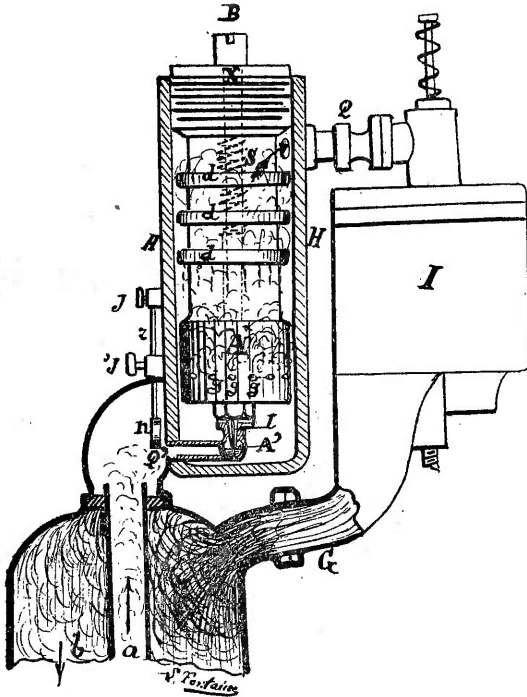


Fig. 33.— Coupe du carburateur (Brouhot).

tout au moyen d'une vis *J* Air et essence passent dans le tube carburateur *A* par l'ouverture *l*, réglée par une tige triangulaire *B*, maintenue soulevée par le ressort *S*. La partie inférieure *A* est creuse et porte des ouvertures *g g g*, par lesquelles sort le mélange gazeux. Dans son ascension, il rencontre des saillies *ddd*, qui font retomber les gouttelettes d'essence non vaporisées. Un bouchon à vis *X* permet de visiter l'appareil et de le régler; quand on veut arrêter le moteur, il suffit d'appuyer sur la tige *B* pour fermer l'orifice *l*, alors il n'arrive plus de mélange carburé au cylindre. Les gaz continuant à monter s'engagent dans le tube *Q* et se rendent à la boîte de distribution et d'échappement *I*. L'évacuation se fait

par le tuyau G, débouchant dans la bouteille et descendant suivant *b*.

La commande de l'échappement se fait, comme nous l'avons dit, par came; celle-ci est en *c* (fig. 34), tous les deux tours elle vient appuyer sur le galet terminant un levier P, oscillant dans son milieu. Il fait soulever la tige *a'* et par suite la soupape U', les gaz sortent par l'évacuation *h'*; puis lorsque la came est passée, la soupape redescend sur son siège sous l'action du ressort *g*, sur lequel la came faisait traction. L'aspiration suit l'échappement et, par suite du vide que produit

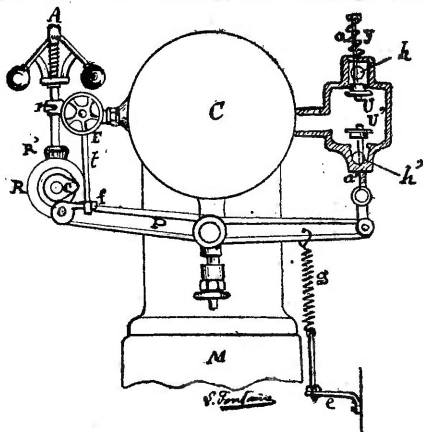


Fig. 34. — Détails de l'échappement et de l'admission.

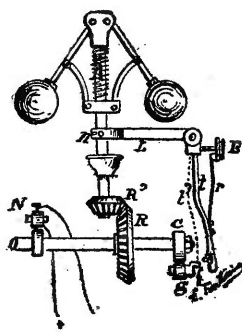


Fig. 35. — Régulateur du moteur Brouhot.

le piston dans le cylindre C, le mélange d'hydrocarbures débouche par l'orifice *h*, car la soupape U s'est abaissée. A la compression, le ressort de rappel *y* la ramène sur son siège.

Quant au régulateur de vitesse, il est des plus sensibles. Il consiste en un régulateur centrifuge A (fig. 35), dont la commande se fait par engrenage conique R, calé sur l'arbre des cames, commandant l'axe du régulateur au moyen du pignon R'. A la mâchoire *n* est fixée l'extrémité d'un levier mobile L, muni d'une tige *t*, appuyée sur un ressort *r*, dont on règle la tension au moyen d'un volant E. La partie inférieure du levier *t* est munie d'une encoche *a*, qui vient appuyer sur une saillie *f* du levier de la soupape U', la maintenant ainsi ouverte. Le déplacement du levier de *t* en *t'* ne s'opère que lorsque les boules du régulateur ont dépassé le point de réglage de la vitesse, car elles entraînent la mâchoire *n* et par suite tout le système. La machine aspire et refoule de l'air, et sa vitesse

ne tarde pas à diminuer, ramenant en arrière le levier *t*, alors le cycle recommence. C'est donc en agissant sur la vis *E* qu'on règle l'action du régulateur.

La consommation d'essence dans ces moteurs est d'environ 1/2 litre par cheval-heure, soit 12 à 15 centimes de dépense. Les modèles se construisent pour les forces de 1/2 cheval à 10 chevaux à un cylindre, coûtant 1.040 à 6.450 fr. La même maison construit des moteurs à deux cylindres ou à *Compound*, depuis 4 à 20 chevaux et au-dessus, du prix de 3.800 à 10.200 fr.

Moteur Daimler. — Le moteur Daimler est construit par MM. Panhard et Levassor, 19, avenue d'Ivry (Paris). Il est représenté en principe par les figures 36 et 37. Le cylindre *F* est boulonné sur un bâti cylindrique *BB*, au centre duquel

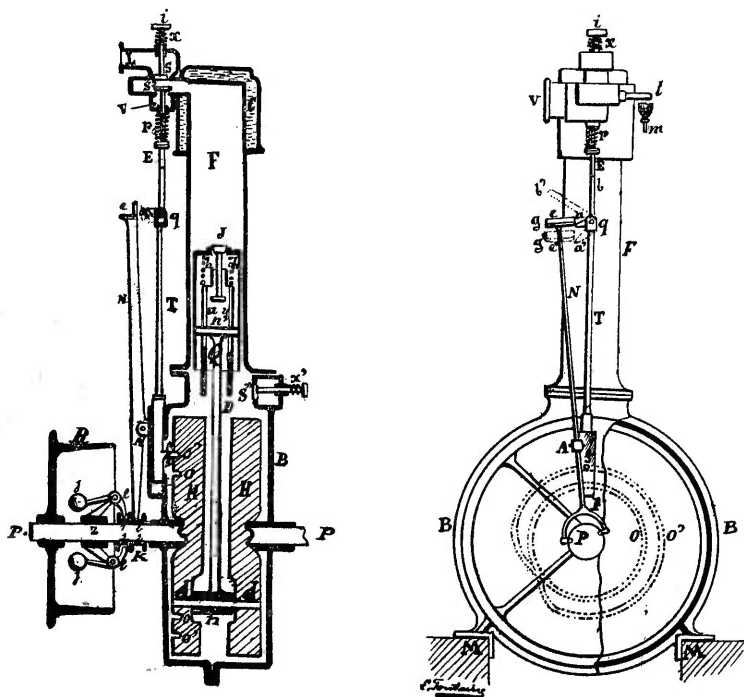


Fig. 36 et 37.— Principe du moteur Daimler.

est logé un arbre de couche *PP*, tournant dans les presse-étoupes des fonds. L'ensemble est boulonné à un socle par

des patins MM. Le bâti et le cylindre forment un tout fermé hermétiquement.

Les deux parties de l'arbre PP portent deux lourds plateaux-manivelles HH, munis d'un tourillon *dd*, auquel vient s'attacher la tête *n* de la bielle D commandant le piston Q. Ces deux masses entraînent par leur poids le mécanisme au passage des points morts.

L'air carburé arrive par le tuyau L et passe dans le cylindre au moment de l'aspiration qui fait abaisser la soupape d'admission S. Le piston Q, en descendant, comprime l'air contenu dans le bâti BB, mais arrivé à un certain point, la soupape centrale J qu'il porte se soulève, parce qu'elle rencontre une fourchette *uu*. Une charge d'air comprimé s'élanche dans le cylindre, rendant le mélange aspiré explosif. Le piston, en remontant, fait fermer les soupapes J et S, rappelées sur leurs sièges par des ressorts *hh* et *x*. En même temps il fait le vide dans le bâti BB, mais à ce moment la pression atmosphérique fait ouvrir la soupape S'', et une certaine quantité d'air pénètre. A la fin de la compression, le mélange explosif s'enflamme pneumatiquement dans le tube chauffé *t* par un bec *m*. La chasse du piston en arrière vient comprimer la nouvelle quantité d'air admise dans le bâti et oblige la soupape S'' à se fermer, elle est rappelée par le ressort *x'*. A la fin de la troisième course, la soupape d'échappement S se soulève, mais en même temps la soupape J s'ouvre aussi, laissant passer le courant d'air comprimé qui chasse violemment les gaz brûlés hors du cylindre, puis de là dans le tuyau d'échappement V. Les mêmes phases du cycle recommencent.

Il nous reste à voir la commande de la soupape d'échappement et le régulateur de vitesse.

Sur l'un des plateaux-manivelles H, sont creusées deux rainures *oo'*, en came, dans lesquelles circule un petit galet *f* porté par une tige de distribution T, muni en *q* d'un taquet à deux branches. La partie *b* vient pousser, au moment de la montée du levier T, la tige de la soupape d'échappement S'.

Le régulateur à boules centrifuges est logé dans l'intérieur de la poulie motrice R; une base *z* est clavetée sur l'arbre P et participe à son mouvement. Les branches des boules *jj* sont terminées par un doigt *l*, venant s'engager dans l'une des rainures 1 d'un manchon mobile K; dans la rainure 2, 2 vient se loger une mâchoire I d'un levier N, oscillant autour de A, et terminé par un taquet *e*. Quand le moteur marche à sa vitesse normale, le levier N reste dans une position telle qu'il ne peut agir sur la soupape d'échappement. Mais si elle vient

à être dépassée, les boules *jj* rapprochent le manchon *K* de la poulie; le levier *N* prend la position inclinée et le taquet *e* vient appuyer sur la saillie *a*, faisant basculer le levier *b* et l'amène en *b'*. Le levier d'échappement *T* n'a plus d'action sur la soupape *S'*, car sa tige *E* n'est plus attrapée par *b*. Le moteur marche avec les gaz qu'il renferme et sa vitesse ne tarde pas à se ralentir.

Le refroidissement du cylindre ne se fait que dans la culasse, par un courant d'eau circulant en *C*.

Le carburateur où l'air se charge de vapeurs d'essence est excellent; le liquide arrive, au fur et à mesure de l'évaporation, dans une coupe traversée par un courant d'air chaud pris dans la lanterne de la lampe. Le mélange envoyé au moteur est toujours homogène.

Depuis 1885, époque de l'apparition du moteur Daimler, des améliorations ont été apportées; on a fait d'abord des machines à deux cylindres, puis à quatre.

Les figures 38 et 39 montrent dans son ensemble le Daim-

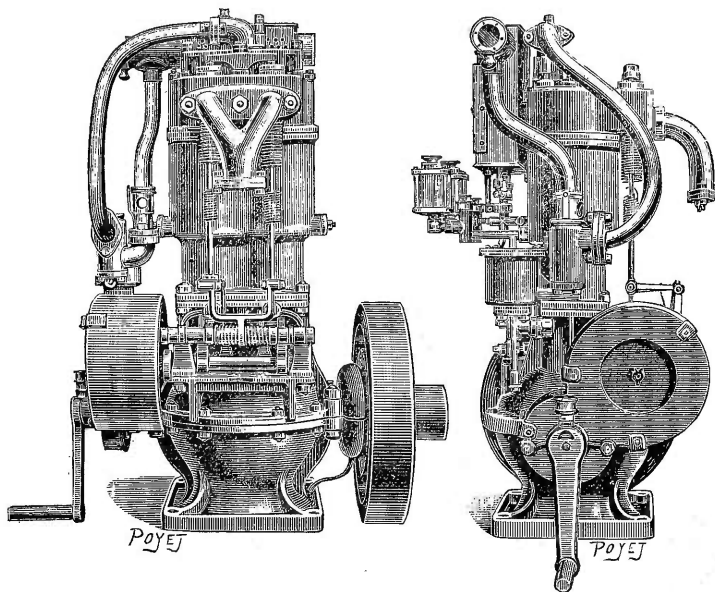


Fig. 38 et 39. — Moteur Daimler-Phénix.

ler-Phénix à deux cylindres. La mise en marche se fait par une manivelle à rochet, qui se débraye dès que la première

explosion a eu lieu. Un moteur de 4 à 10 chevaux coûte 3.200 à 6.000 fr. ; la vitesse de rotation est 750 à 600 tours, le poids oscille entre 100 à 330 kil. ; les dimensions sont de 0 m. 32 à 0 m. 55 de largeur sur 0 m. 20 à 0 m. 75 de longueur. Les types à quatre cylindres peuvent fournir des forces depuis 8 à 20 chevaux.

Les moteurs Daimler sont très employés dans la commande des pompes, des dynamos, etc., et surtout dans la traction des automobiles sur route, dans les tramways et les bateaux. L'essence de pétrole employée a une densité de 700 à 705; la consommation par cheval-heure est inférieure à 1/2 kil.

2° MOTEURS A PÉTROLE LAMPANT

Ces moteurs utilisent le pétrole lourd ordinaire du commerce, d'une densité variant entre 800 à 850. Pour que le mélange des vapeurs et de l'air se fasse dans de bonnes conditions, il faut que le pétrole soit chauffé dans le carburateur.

Moteurs Brouhot. — Le moteur à pétrole Brouhot ne diffère du système à essence du même constructeur, que nous avons décrit précédemment, que par l'adjonction d'un vaporisateur chauffé.

Nous nous arrêterons plus spécialement sur le type Compound ou à deux cylindres, représenté par la figure 40. Sur le socle creux, se boulonne un solide bâti, portant à l'arrière les deux cylindres D, dont les bielles *mm'* des pistons s'attachent aux manivelles de l'arbre de couche.

Deux lourds volants NN' donnent l'impulsion pour passer les points morts. Le réservoir de pétrole H est en communication par le tube *b* muni d'un robinet *r*, avec un récipient à flotteur R, maintenant le niveau du pétrole constant au carburateur. Il s'ensuit que la richesse du gaz carburé ne varie pas. L'aspiration de l'air se fait par une prise C, munie d'un robinet spécial. Le gaz produit par le carburateur arrive aux cylindres par les tubes *t* et *t'*, il est admis au moment où les soupapes S et S' s'abaissent. L'explosion du mélange se fait par étincelle électrique; on voit en *y* et *y'* les conducteurs.

L'échappement s'opère par la commande avec came; les leviers P soulèvent les soupapes d'échappement placées dans les boîtes L, ils sont rappelés par les ressorts *ff*. De là, les gaz brûlés descendent par les tubes II dans un pot d'échappement commun A, duquel partent deux tuyaux s'élevant dans l'atmosphère.

Le régulateur de vitesse V agit de la même manière que celui que nous avons décrit déjà.

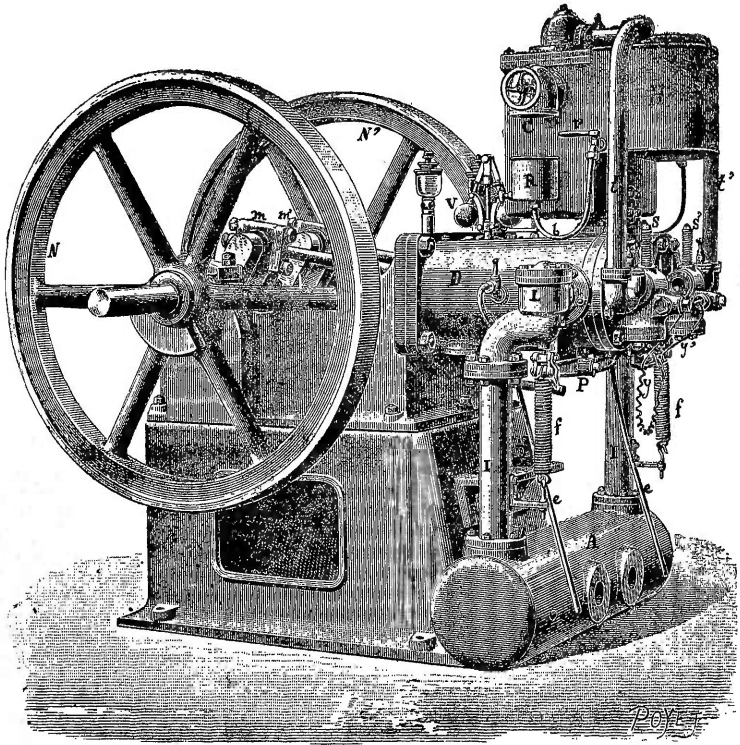


Fig. 40. — Moteur à pétrole à deux cylindres (Brouhot).

Pour faciliter la mise en marche, des petits purgeurs *ee*, adaptés à chaque cylindre, laissent échapper une certaine quantité de gaz. Sans cela, le démarrage deviendrait très dur ; dans la période compression, le travail à développer est énorme. Par l'artifice que nous venons de signaler, le départ se fait facilement ; dès que la mise en train est régulière, on ferme les purgeurs.

Ce modèle de moteur se construit pour des forces de 4 à 25 chevaux, coûtant 4.350 à 11.800 fr.

MOTEURS SANS CARBURATEUR

Dans ces moteurs, le pétrole est envoyé, sous forme de pluie, par une pompe, dans un organe chauffé au rouge, appelé vaporisateur, qui le réduit en vapeur, se mélangeant à une certaine quantité d'air pur. On voit donc immédiatement, que le réglage dans ce genre de machines doit se porter spécialement sur la course à donner au piston de la pompe alimentaire, pour envoyer plus ou moins de pétrole suivant le travail demandé.

Moteurs Grob. — La Société des moteurs Grob, 56, rue Lafayette (Paris), construit différents modèles de machines. Nous prendrons pour notre description le type semi-fixe vertical dit à pilon; le cylindre est calé au-dessus de l'arbre de couche. En coupe, il se compose (fig. 41) d'un bâti en fonte X, en forme de colonne tronconique, muni de deux paliers PP et se boulonnant à un solide massif en maçonnerie Z.

Au-dessus du bâti est fixé le cylindre Y, terminé en haut par une chambre de compression *y*; tout autour circule un courant d'eau de refroidissement, dans une double enveloppe. Elle arrive par le tuyau D, et sort en haut par D'. Le piston P ferme la partie inférieure du cylindre, sa tige *g* est articulée à un coulisseau I, se déplaçant dans une glissière J. Une bielle O relie le coulisseau à la manivelle N de l'arbre de couche EE, sur lequel sont clavetés un volant R muni d'un chapeau *f'* et une poulie de commande R', recevant la courroie motrice. Des graisseurs à piston G lubrifient les portées de l'arbre de couche.

Le vaporisateur ou gazificateur est formé d'une pièce *i* solidement fixée à la culasse du cylindre et percée d'un canal BC, muni en *h* d'un étranglement conique, garni de trous de façon à pulvériser, sous forme de pluie fine, le pétrole arrivant par l'ouverture *f*. Ce gazificateur est chauffé au rouge par un bec M alimenté de pétrole par un tube *d*, le recevant d'un bac en surélévation que l'on met en communication au moyen d'un robinet à 3 voies *r*. Un réservoir V', dit accumulateur, régularise l'arrivée du liquide et de l'air. L'ensemble est renfermé dans une lanterne en tôle, fixée par une vis *t* et terminée en haut par une cheminée d'appel H, servant à l'évacuation des gaz du brûleur.

En supposant le vaporisateur porté au rouge et le piston P descendant, il aspire de l'air par le tuyau A ; la soupape S,

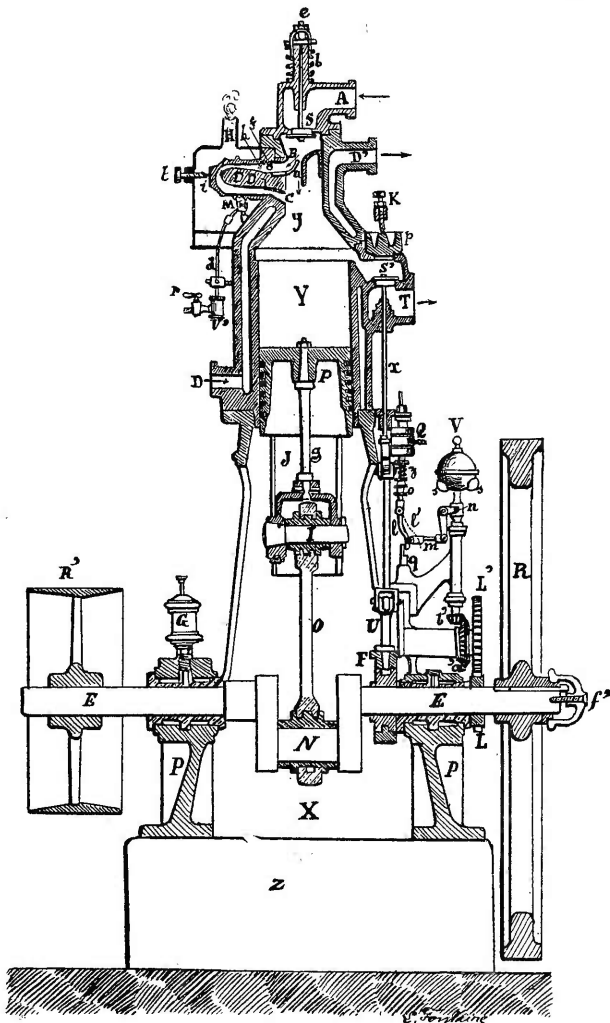


Fig. 41. — Coupe du moteur Grob.

par différence de pression, s'abaisse pour laisser pénétrer cet air. Une partie de celui-ci passe directement dans la culasse du cylindre suivant la flèche *a*, l'autre partie s'engage dans

le tube BC, où elle rencontre le pétrole pulvérisé par *h*. Continuant leur chemin dans le tube, l'air et le pétrole étant fortement chauffés se réduisent en gaz carburé, qui arrive en C pour venir s'unir à l'air précédemment introduit. A ce moment, le piston P remonte en comprimant la masse dans la culasse *y* et fait fermer la soupape S, rappelée par son ressort *b*. Les gaz en contact avec la surface rouge s'enflamment, communiquent à toute la masse une explosion qui chasse en arrière le piston et le conduit par détente jusqu'au bas de sa course. Il remonte sous l'influence du volant R, et à ce moment la tige U d'une excentrique F commande le levier *x* qui fait soulever la soupape d'échappement S'. Les gaz brûlés sont rejetés au dehors par le tuyau T. La visite de la soupape se fait facilement en démontant le chapeau *p*, maintenu par une vis de pression K.

Le pétrole alimentaire du vaporisateur est contenu dans un bac en surélévation d'une contenance de 10 à 20 litres, et envoyé par une pompe Q, dont le piston est muni d'un ressort de rappel *z*. La course est réglée par un écrou *o*, de sorte que la quantité de pétrole injectée est très variable; le nombre de coups de piston que doit donner la pompe pour absorber 10 centimètres cubes de pétrole est de 130 pour un moteur de la force de 1 cheval, de 32 pour 4 chevaux, et de 15 seulement pour une puissance de 8 chevaux. La tige du piston se termine par un levier articulé *l*, dont la pointe vient s'emboîter avec l'extrémité d'une bielle *q*, animée d'un mouvement de haut en bas, par l'intermédiaire de la tige U de l'excentrique F. A chaque élévation il se produit un coup de piston qui envoie le pétrole au vaporisateur, le retour en arrière se fait par le ressort *z*. Le moteur est réglé pour marcher à une certaine vitesse, mais dès que celle-ci est dépassée, le régulateur V agit. Celui-ci est commandé par une paire d'engrenages droits L L', prenant leur mouvement sur l'arbre de couche E E, et par deux engrenages coniques *a' b'*. Dès que l'écartement des boules *ss* du régulateur devient trop grand, la mâchoire *n* monte et déplace le petit levier *m*, articulé à la pièce *l*. Il attire celle-ci en *l'*, et la bielle *q* ne peut plus le commander; la pompe n'envoie plus de pétrole au vaporisateur. La vitesse du moteur ne tarde pas à descendre, puisqu'il n'est plus alimenté, alors le régulateur ramène le levier *l'* dans sa position primitive pour que le cycle recommence.

La mise en train demande 4 à 5 minutes, c'est-à-dire le temps nécessaire pour porter au rouge le gazificateur. Il faut commencer par amorcer la lampe M. Pour cela, au moyen d'une lampe à main, on chauffe jusqu'au rouge la partie supérieure

du tube *d*, puis on ouvre le robinet à 3 voies *r*; le bec brûleur donne une belle flamme bleue très chaude. Il n'y a plus qu'à lancer le volant de la machine de quelques tours.

Ce type de moteur vertical se construit pour des forces de 1/2 à 8 chevaux, coûtant 1.650 à 5.200 fr.; la consommation de pétrole est d'environ 1/2 litre par cheval-heure.

Moteurs Merlin. — Ce moteur est construit par M. Merlin,

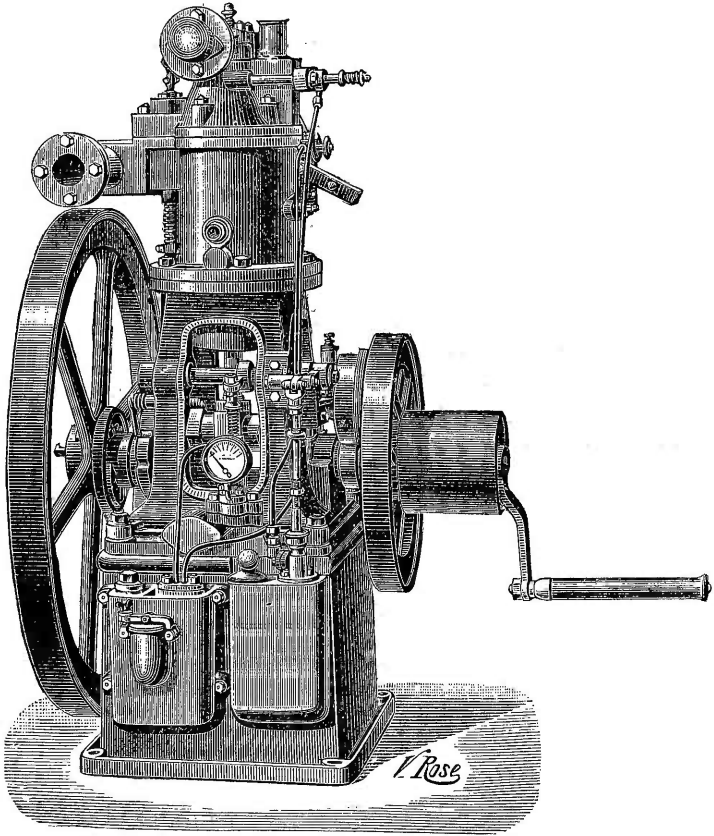


Fig. 42. — Vue d'ensemble du moteur Merlin.

à Vierzon (Cher). Nous décrirons d'abord le modèle vertical fixe, représenté dans son ensemble par la figure 42. Les coupes (figures 43 et 44) nous permettront d'expliquer le mécanisme de ce moteur. En S se trouve le socle réservoir de

pétrole Q, fixé au massif en maçonnerie L par un boulonnage K K. Au-dessus, vient un bâti creux J J, supportant le cylindre H, terminé par une chambre de compression et d'explosion G. Dans l'intérieur de ce cylindre se meut un piston à fourreau A, portant cinq segments; il est articulé en 1 avec une bielle

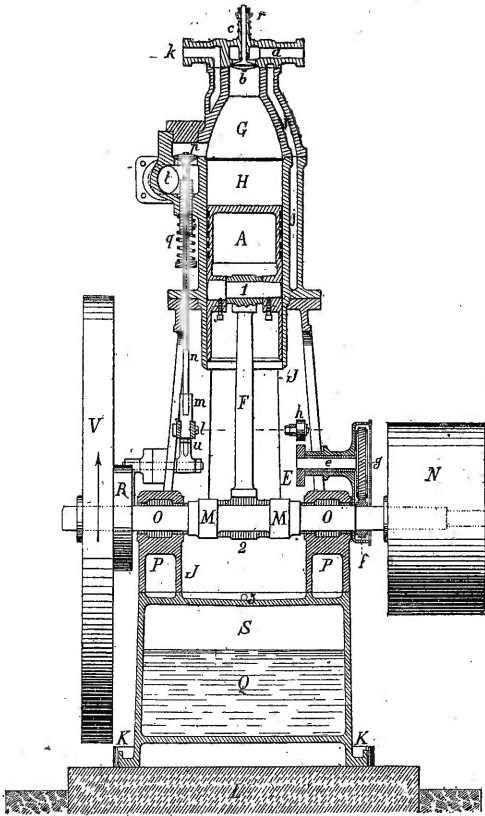


Fig. 43. — Coupe parallèle à l'arbre de couche.

F, commandant la manivelle M M de l'arbre de couche O O, supporté par deux paliers P P. Aux extrémités, se trouvent : 1° un volant claveté V, 2° une large poulie N, munie d'un embrayage à friction que nous décrirons plus loin.

L'alimentation des gaz carburés se fait au moyen d'un vaporisateur dont nous avons vu le fonctionnement (page 39), le pétrole est envoyé par une pompe à piston plongeur dont

on règle la course. Le mélange venant du tube *a* est admis dans la chambre *G* par la soupape *b*, qui s'abaisse à l'aspiration, elle est rappelée par le ressort *c*, prenant son point d'appui sur la rondelle de serrage *v*.

Le vaporisateur est chauffé par une lampe à chalumeau *D*,

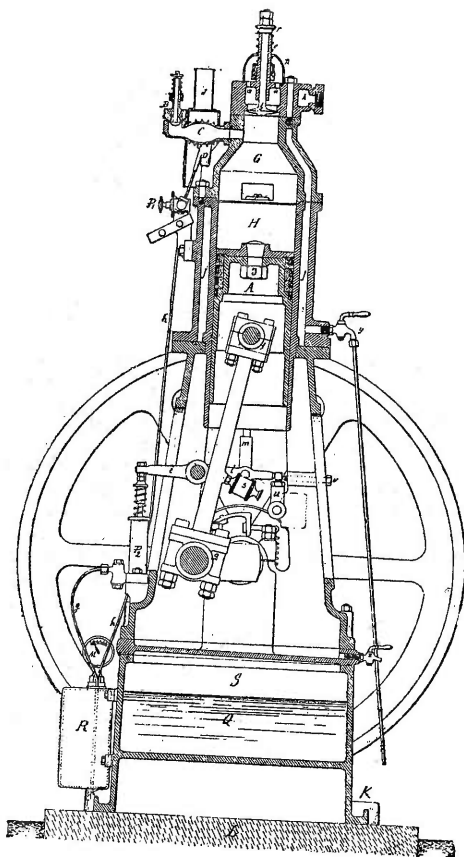


Fig. 44.— Coupe perpendiculaire à l'arbre de couche.

alimentée par un tube muni d'un robinet de réglage *R*, recevant le pétrole sous pression d'un réservoir placé à gauche de la figure 42. L'échappement se fait par une lumière pratiquée dans le cylindre et munie d'une soupape *p*, donnant communi-

cation avec le tuyau *l*, se rendant au pot d'échappement. La tige *n* de la soupape reçoit son mouvement par un levier oscillant *l*, calé sur l'arbre *i*, elle est rappelée par le ressort *q*.

Le refroidissement du cylindre est obtenu par une couche d'eau *j j*, circulant dans une double enveloppe ; la vidange s'obtient au moyen du robinet *y*, muni d'un tube, quand on craint les gelées. Les résidus de graissage s'accumulent sur le socle sont expulsés par le robinet *z*.

Mécanisme de commande de la soupape d'échappement, de la pompe à pétrole et de la pompe à air. — *Régulateur de vitesse.* — *Embrayage à friction.* — Sur l'arbre de couche *O O* est calé un pignon *f* (figure 43), commandant une roue à denture hélicoïdale *g*, fixée sur un arbre *e*, il est terminé par une came *E*. Celle-ci soulève le galet *h*, commandant l'arbre *i*, (fig. 45). Sur cet arbre, sont fixés trois leviers : l'un *l* actionne la

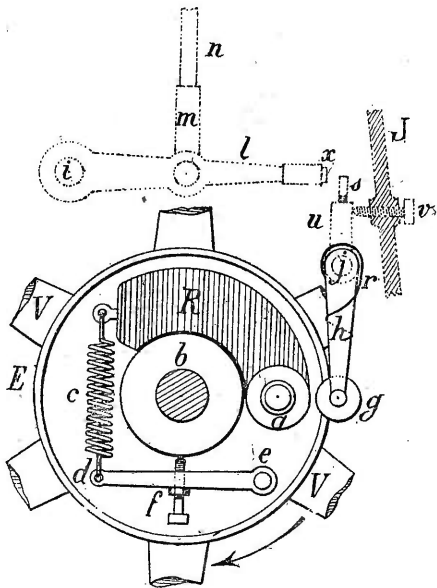


Fig. 45. — Régulateur.

soupape d'échappement *p*; le deuxième la pompe à air destinée à maintenir une pression de 2 1/2 à 4 atmosphères dans le réservoir de pétrole servant à l'alimentation de la lampe ; le troisième la pompe à pétrole ; prenant le liquide dans un

réservoir spécial, pour l'envoyer au vaporisateur. La pompe à air peut être supprimée, en employant un réservoir à pétrole surélevé, qui par différence de niveau alimente la lampe.

La marche du moteur est assurée par un régulateur spécial, représenté en détails par la figure 45. Quand la machine est à sa vitesse normale, la masse *R*, articulée en *a*, et équilibrée

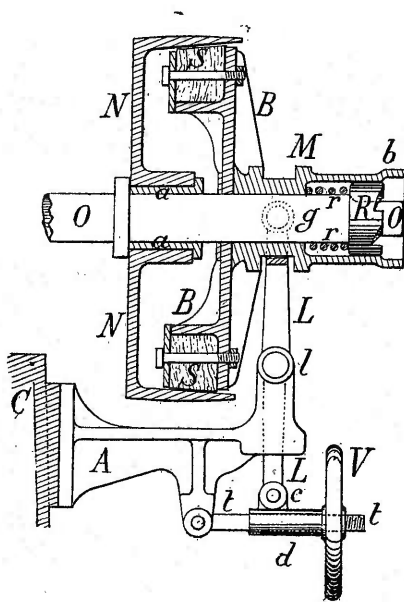


Fig. 46. — Embrayage à friction.

par un ressort à boudin *c* et le levier *dfe*, ne doit pas toucher au galet *g*. Mais, sous l'action de la force centrifuge, cette masse tend à s'éloigner lorsque la vitesse augmente, elle vient à toucher le galet *g*, qui fait osciller le levier d'enclenchement *hju*, dont la partie *s* vient s'emboîter sous la partie *x* du levier *l* et lorsque la soupape d'échappement est ouverte.

La came de commande ne pouvant plus faire osciller le levier *i*, la soupape reste ouverte, et les pompes à pétrole et à air sont également arrêtées. Le réglage du levier d'enclenchement se fait au moyen d'une vis *v*. Le moteur n'aspirant que de l'air, il ne tarde pas à diminuer de vitesse, et le régulateur revient à sa place.

Le mouvement est transmis à la poulie de commande au

moyen d'un embrayage à friction. L'arbre de couche OO (fig. 46) est muni d'une embase et d'une bague en bronze *aa*, sur laquelle tourne la poulie N. L'intérieur de celle-ci est conique et reçoit un croisillon BB à 2 ou 4 bras munis de sabots en bois SS tournés. Le croisillon se continue par un tube pouvant coulisser longitudinalement sur deux clavettes fixées à l'arbre OO. Celui-ci entraîne le croisillon et par suite la poulie quand les sabots S sont adhérents. Les déplacements du croisillon sont obtenus au moyen d'un levier L articulé en *l*; sa partie supérieure *g* est logée dans la douille M, et sa partie inférieure *c* est reliée à une vis *t*, manœuvrée par un volant V. Ce système est porté par un bâti A. L'adhérence des sabots avec la poulie est assurée au moyen d'un ressort à boudin *rr*, prenant son appui sur le rochet R.

Mise en marche du moteur. — Les deux réservoirs à pétrole étant remplis, on commence par chauffer le tube de la lampe à chalumeau D avec une petite lampe portative, à alcool ou à pétrole; cinq à six minutes suffisent pour que le tube soit rouge, le pétrole envoyé sous pression se réduit en vapeurs qui s'enflamment. La lampe amorcée chauffe le vaporisateur jusqu'au rouge. Il suffit d'actionner à la main la pompe à pétrole pour envoyer le liquide à soupape d'entrée. Avec la manivelle à rochet, placée sur l'arbre de couche, on entraîne le moteur pendant quelques tours, puis la marche continue.

La dépense en pétrole varie de 400 à 480 grammes par cheval-heure. Le type vertical se construit pour des forces de 1/2 à 7 chevaux-vapeur, du prix de 1400 à 4100 fr., et pour des poids variant de 220 à 1360 kilogrammes.

Moteurs Niel. — La Compagnie des moteurs Niel, 22, rue Lafayette (Paris), construit plusieurs excellents modèles de moteurs à pétrole. Nous débiterons par la description du type horizontal, représenté par la figure 47. La base de la charpente est constituée par un socle creux en fonte, boulonné sur une assise en maçonnerie. Le bâti du moteur reçoit en porte-à-faux le cylindre; l'arbre de couche est muni d'un lourd volant et d'une poulie de commande. La distribution et la commande se font automatiquement, au moyen d'un arbre à cames tournant deux fois moins vite que l'arbre de couche.

La première particularité de ce moteur réside dans son vaporisateur, représenté en coupe par la figure 48 et en élévation par la figure 49. Il consiste en une petite chaudière en fonte H, garnie intérieurement d'ailettes rayonnantes *a*, sur lesquelles vient s'écouler le pétrole introduit au point *f*. Le chauffage se fait au pétrole au moyen d'un tube en fer à che-

val Q, terminé par un bec brûleur *n*, dont la flamme est brisée par une barre *g*. Le bec sert en même temps à porter au rouge le tube d'allumage *i* en porcelaine ; les gaz chauds, après avoir monté le long de la chaudière, s'échappent par l'ouverture annulaire *bb*. La partie inférieure de la lampe porte une coupe D, dans laquelle on verse de l'alcool que l'on enflamme pour rougir le bec *n*. En outre, cette lampe peut avoir un déplacement sur la base E ; au moyen de la vis U, on amène la

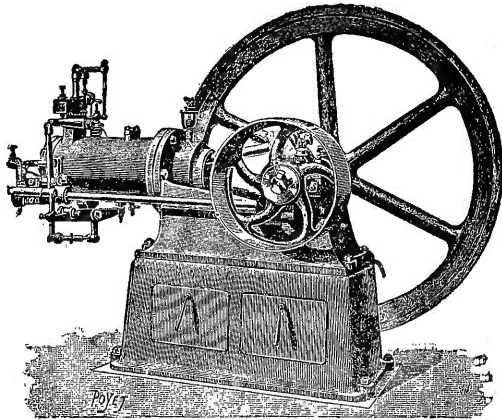


Fig. 47.— Moteur horizontal Niel.

flamme du bec au point exact où doit se faire le chauffage. L'ensemble est protégé des courants d'air par une chemise semi-cylindrique F mobile et garnie intérieurement d'amiante.

Un réservoir, placé à 1 m. 50 en surélévation du moteur, alimenté à la fois le carburateur et la lampe de chauffage. Le pétrole arrive par le tuyau G à un robinet doseur X ; une partie s'en va dans la trémie du carburateur, l'autre partie contourne le robinet et descend par le tube J, pour s'introduire dans le tube Q de la lampe, après avoir été réglé par le robinet R. Voyons ce qui va se passer en marche.

Le piston, en s'éloignant du fond du cylindre Y, fait un vide, une certaine quantité d'air est aspiré par la soupape Z et entraîne du pétrole (environ 1/10 de gramme par cheval et pour chaque introduction), le tout vient en contact des parties chaudes du vaporisateur H et se réduit en gaz carburé. Celui-ci passe dans la boîte à soupapes S, puis de là au cylindre, car la soupape P est abaissée à ce moment. Le piston revenant en arrière, la masse est comprimée et s'enflamme au contact du tube *i*, que la lampe tient au rouge cerise. L'explosion

chasse le piston en arrière, c'est la course motrice ; il revient en avant et expulse par le tube d'échappement T les gaz brûlés au dehors, la soupape *d* étant ouverte à son tour.

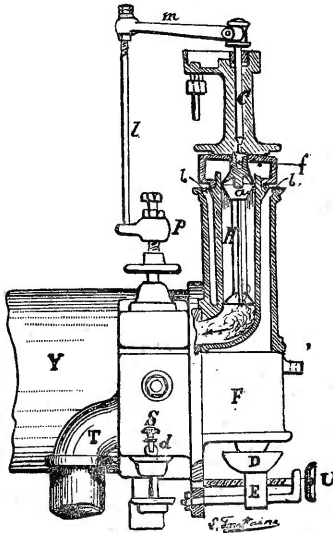


Fig. 48. — Coupe du vaporisateur Niel.

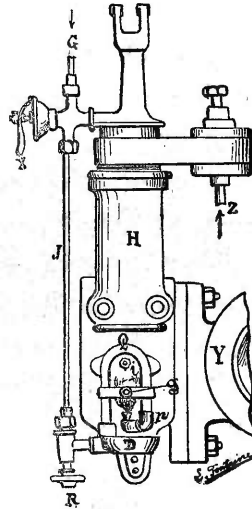


Fig. 49. — Vue d'ensemble du vaporisateur Niel.

Les commandes des soupapes et du régulateur sont des plus ingénieuses, nous nous servirons, pour leur explication, de la figure 50. Posons d'abord, comme point de départ, que l'arbre de distribution qui prend son mouvement sur l'arbre de couche du moteur tourne deux fois moins vite que celui-ci. Les engrenages sont calculés dans le rapport de 2 à 1. Commençons par expliquer la commande de la soupape d'admission S. Celle-ci admet le pétrole venant de *e* dans la chambre d'explosion V, en s'abaissant ; sa tige O fléchit sous l'action du levier M, mobile dans son centre F, terminé par une encoche *u*. Le levier M est soulevé en *u* par le levier N, portant également une encoche *u'* N est actionné dans sa montée par un levier P, muni d'un galet *t*, soulevé par la came *f*, calée sur l'arbre de distribution G. Dès que l'action du levier N cesse, la soupape S revient sur son siège sous l'action du ressort de rappel *g*. Notons qu'il faut, pour que l'admission puisse se faire, que le levier L soit déclenché avec K.

L'échappement se fait par la soupape S', qui se soulève à la quatrième période du cycle, les gaz brûlés sortent par *e'*. La

4^e ge *o'* de cette soupape est commandée par le levier d'échappement *L*, oscillant autour du point *E*, et muni d'une équerre *h*; reliée par une tringle *p*, filetée à un bout, au levier *N*. Le levier *L* oscille par l'intermédiaire d'une came semblable à *f*, qui appuie sur le galet *R*.

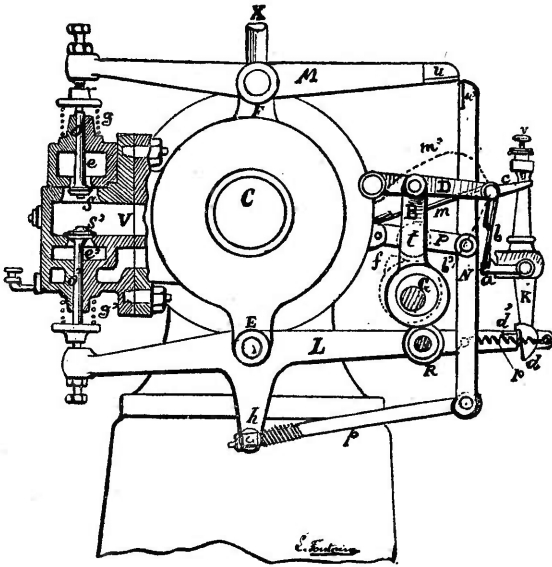


Fig. 50.— Distribution et régulateur Niel.

Pour que les phases que nous venons d'expliquer se produisent, il faut que le régulateur intervienne. Celui-ci se compose : 1° d'une lame flexible en acier *m*, terminée par une masse pesante; 2° d'une branche *c*, venant s'appuyer sur une vis de butée *v*; 3° d'une branche rigide *b*, terminée par une languette venant faire pression sur le mentonnet du levier *K*. Comme le régulateur est solidaire du levier *D*, lorsque celui-ci est soulevé par la tige *B*, d'une excentrique commandée par l'arbre *G*, la lame flexible *m* se cintre suivant *m'*, car la branche *c* vient buter contre la vis *v*. En s'abaissant, et en supposant que la vitesse du moteur soit normale, la lame *m'* revient en *m*, et la branche *b* appuie sur le mentonnet *a*, faisant osciller *K* et déclancher l'extrémité *d* avec *d'* du levier *L*. La soupape *S'* se ferme. Si, au contraire la vitesse du moteur est trop grande, le ressort *m*, dans la position *m'*, n'a pas le temps de se détendre suffisamment, et la branche *b*, au lieu

d'attraper le mentonnet *a*, passe à côté en *b'*. Le levier *K* reste enclanché par sa partie *d* avec *L* en *d'*, et la soupape *S'* reste ouverte.

Comme, en outre, le ressort antagoniste *r* tend à éloigner l'encoche *u'* du levier d'admission *N* de l'encoche *u* du levier d'admission *M*, la soupape *S* reste également fermée. Le moteur ne tourne plus qu'avec la force vive emmagasinée dans son volant, car il n'aspire et ne refoule que de l'air pur. Dès que la vitesse normale est rétablie, l'arrivée du pétrole recommence.

Donc à proprement parler, le régulateur à lame flexible du système Niel fait partie de l'appareil de distribution : c'est un des caractères essentiels de ce moteur.

Le moteur Niel horizontal se construit à partir de la force de 3 1/2 jusqu'à 20 chevaux, du prix de 3.100 à 10.000 francs ; la vitesse de rotation est relativement faible, elle oscille pour les forces précédentes entre 190 à 160 tours par minute. La mise en marche ne demande que quelques minutes seulement, il suffit de verser dans la capsule *D* une certaine quantité d'alcool, auquel on met le feu. Quand le tube d'allumage *Q* est suffisamment rouge, on ouvre le robinet *R* ; le pétrole se réduit en vapeurs qui s'enflamment au bec *n*. La lampe consomme environ 150 gr. de pétrole à l'heure, quels que soient le type et la force du moteur.

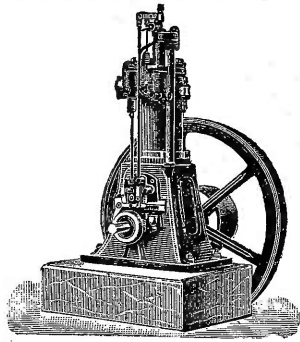


Fig. 51.— Moteur vertical Niel.

La Compagnie Niel construit également un moteur vertical (fig. 51) pour des forces de 1. à 25 chevaux ; nous le retrouverons dans les machines à battre locomobiles appliquées aux besoins de l'agriculture.

Moteur Hornsby. — Le moteur «Hornsby-Akroyd», de construction anglaise, est vendu par Wallut, 168, boulevard de la Villette.

En coupe (fig. 52), il comprend un fort socle en fonte, contenant un réservoir à pétrole pour l'alimentation de la machine. Sur ce socle, se boulonne le bâti où se trouve fixé en porte-à-faux le cylindre *A* à double enveloppe, dans laquelle circule un courant d'eau de refroidissement *W*. Cette eau arrive par la base du cylindre et refroidit en même temps la

boîte à soupapes, pour sortir par la partie supérieure. L'arbre moteur est supporté par deux paliers, et muni d'un volant et d'une poulie, sa manivelle actionne la bielle du piston P. L'arrière du cylindre est en communication avec une cloche *c*, servant de chambre de compression et d'explosion; à l'intérieur de celle-ci se trouve un vaporisateur chauffé N. Le pétrole, puisé au réservoir par une pompe à piston plongeur, est envoyé à N, qui le transforme en vapeurs. En même temps, une certaine quantité d'air est admise au cylindre par la soupape D. Le mélange comprimé s'enflamme au contact de N et chasse le piston en arrière (course motrice); au retour, la soupape d'échappement E se soulève pour laisser sortir les gaz brûlés.

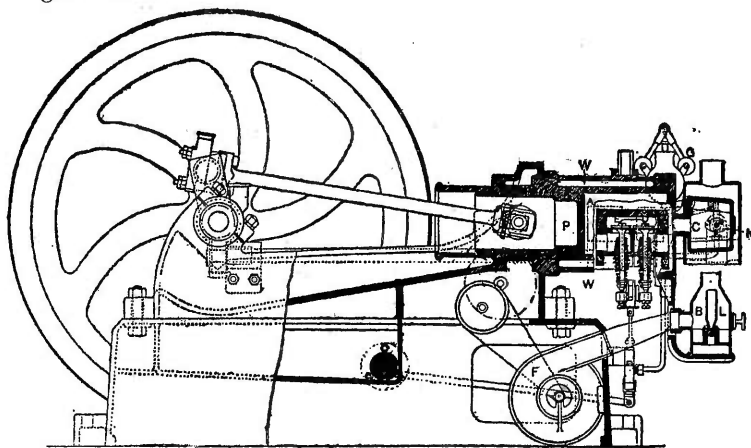


Fig. 52.— Coupe longitudinale du moteur Hornsby.

La figure 53 donne avec détails la coupe du vaporisateur, du piston et de la boîte à soupapes. *Oil inlet* indique le point d'arrivée du pétrole au vaporisateur; *waller jacket* constitue le refroidissement; enfin, *air inlet* l'aspiration de l'air pur, et *exhaust* l'échappement.

Le vaporisateur est chauffé pour la mise en train au moyen d'une lampe L, renfermée dans une lanterne B; elle reçoit un courant d'air puissant d'un ventilateur centrifuge F, dont le conduit débouche dans la lanterne. Il est mis en mouvement à la main par un volant à manivelle, commandant une série d'engrenages, reliés au tambour par une corde.

La course de la pompe d'alimentation est réglable par écrou; enfin, un régulateur centrifuge agit sur une soupape latérale lorsque la vitesse devient trop grande. Le pétrole pompé re-

tourne, par un tuyau de renvoi, au réservoir de pétrole, sans passer au vaporisateur ; la marche se ralentit faute d'explosion. L'arbre de distribution tourne deux fois moins vite que le volant, il porte des cames actionnant les soupapes et la pompe alimentaire de pétrole.

La mise en marche consiste à chauffer le vaporisateur N avec la lampe, à laquelle on envoie de l'air. La machine en mouvement, les explosions successives entretiennent la tempé-

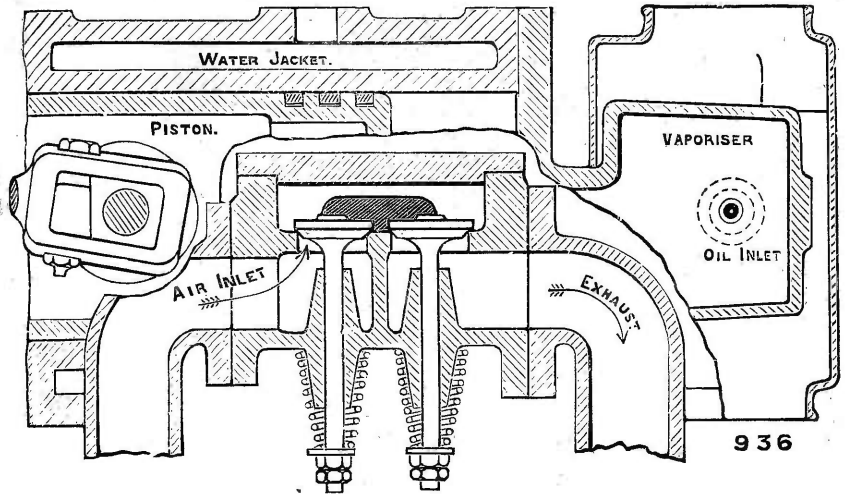


Fig. 53. — Détail des soupapes du moteur Hornsby-Akroyd.

rature dans la chambre *c* suffisamment élevée pour se passer de la lampe. Il faut néanmoins que le moteur marche en charge, sans quoi, à vide, il se bloque, le vaporisateur étant à une trop faible température pour que les explosions se fassent. La consommation de pétrole varie entre 450 à 500 gr. par cheval-heure.

Les vitesses de rotation sont comprises entre 270 à 175 tours, vitesses relativement faibles, pour des forces de 1, 5 à 50 chevaux, du prix de 2.000 à 18.500 fr.

Moteur Otto. — Le moteur Otto, du type vertical, est représenté par la figure 54. L'ensemble est robuste et se boulonne sur un massif en maçonnerie ; l'alimentation de la lampe de chauffage du tube d'allumage se fait par un réservoir cylindrique placé en avant du dessin, et dans lequel on maintient une pression de 3 atmosphères, au moyen d'une pompe à air, manœuvrée à la main. Un manomètre indique la pression, et

un robinet règle la montée du pétrole au brûleur. Un autre réservoir de pétrole est placé en surélévation, il envoie le liquide à une pompe à piston plongeur, qui à chaque course alimente le cylindre. Un large tuyau, prenant l'air à un pot d'aspiration, vient se mélanger avec le pétrole dans la culasse du cylindre.

Une seule excentrique, prenant son mouvement sur l'arbre de couche, commande la pompe à pétrole et la soupape

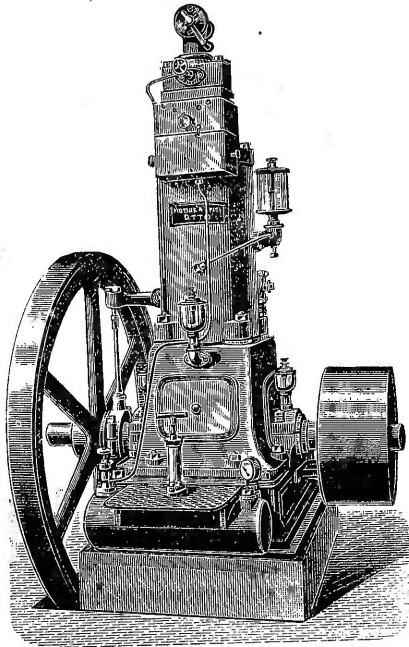


Fig. 54. — Moteur vertical Otto.

d'échappement Le mouvement est donné à ces deux organes, à temps voulu, par des boîtes contenant des membranes en cuir, et dans lesquelles un vide partiel s'établit au moment de l'aspiration. Cette distribution à membranes est très simple et supprime les cames. Un régulateur pendulaire, formé d'une masse oscillante, maintient la vitesse constante. Le refroidissement se fait par thermosiphon, comme dans le cas ordinaire.

Les prix varient de 1.900 à 6.200 fr. pour des forces variant de 1 à 12 chevaux.

INSTALLATIONS ET APPLICATIONS DU MOTEUR A PÉTROLE EN AGRICULTURE

Dans un avenir peu éloigné, le moteur à pétrole sera un concurrent sérieux pour la vapeur en agriculture. Néanmoins, on doit s'appuyer sur des bases pour donner la préférence à l'une ou à l'autre de ces sortes de moteurs. En premier lieu, on doit considérer la force demandée. Actuellement, le moteur à pétrole se construit couramment pour des puissances de 1/4, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 chevaux-vapeur, les machines de 20 à 25, 30, 40 à 50 chevaux-vapeur se fabriquent également.

La machine à vapeur, comme nous l'avons vu, peut fournir toutes les forces. Si pour les besoins d'une industrie annexée à la ferme, la vapeur est nécessaire en grande quantité, il faut absolument employer le moteur à vapeur. En dehors de ces exceptions, et lorsque la force demandée est de faible importance, il ne faut pas hésiter à adopter le moteur à pétrole, car il donne sécurité, facilité d'entretien et de mise en marche, et enfin la surveillance est presque nulle.

En admettant que le pétrole coûte 0 fr. 30 le litre, la graisse et les chiffons 0 fr. 40 le kilogramme, on peut établir les frais de marche par cheval-heure comme il suit :

Pétrole nécessaire au cylindre, 0 lit. 500..	0 15
Pétrole à la lampe		0 02
Graisse et chiffons		0 01
Total.....		0 18

Il faut ajouter à cette dépense : 1° la journée du mécanicien estimée à 3 fr. 50, mais il n'est utilisé en réalité à la conduite du moteur à pétrole que le 1/3 du temps ; 2° l'amortissement et l'entretien de la machine, évalués à 12 ou 15 o/o du prix d'achat. En définitive, le cheval-vapeur reviendrait par jour à la somme de 3 fr. ; la machine à vapeur, suivant les cas, fournit cette force au prix variant entre 3 à 6 fr.

Choix du type de moteur à adopter. — Le moteur à pétrole n'est soumis à aucun règlement administratif, il peut donc être installé n'importe où, sans autorisation préfectorale. Quel type de machine adopter ? Le moteur semi-fixe ne peut travailler qu'en un point déterminé, car il nécessite une fondation pour sa pose.

Il ne pourra donc commander qu'une salle de préparation des aliments, une petite industrie (laiterie, cidrerie), ou une installation d'éclairage électrique, en prolongeant l'arbre de transmission d'une salle à l'autre. Très souvent, il y aura avantage à faire commander une pompe pour l'élevation des eaux dans la ferme, ou pour l'irrigation des prairies et des vignes, par un moteur que l'on installera à proximité des lieux. Il est inutile d'insister sur les avantages de ces applications au point de vue agricole, les petites industries ne sont-elles pas là pour le prouver amplement ?

Pour l'agriculture, le moteur qui nous semble le plus pratique, c'est le type locomobile. Monté sur roues, ce moteur peut se transporter lors des irrigations, des battages, des défoncements des terres, et l'hiver il peut actionner les machines d'intérieur de ferme.

Nous arrivons aux installations fixes ; suivant les cas, on peut placer le moteur à pétrole dans un bâtiment spécial, ou dans l'intérieur de l'usine. Les exemples que nous citons se rapportent à la commande des instruments d'intérieur d'une ferme, le principe qui doit guider celui qui est chargé d'une toute autre installation agricole reste le même.

1^{er} CAS. — Installation d'un moteur à pétrole dans une salle spéciale. — Dans ce cas, on adossera en appentis, sur l'une des façades du bâtiment des machines à commander, une petite *salle de moteur* (fig. 55). Les dimensions qu'il faut lui donner dépendent de la forme de la machine et de sa force. Voici quelques chiffres réunis dans le tableau suivant, constituant des moyennes :

TYPE DE MOTEUR	DIMENSIONS DU MOTEUR		LONGUEUR de courroie en mètres	DIMENSIONS de la SALLE DU MOTEUR		
	Longueur en mètres	Largeur en mètres		Longueur en mètres	Largeur en mètres	
Mi- fixes	Vertical . .	0,80 à 1,50	0,75 à 1,30	3,50	4,50	3
	Horizontal	1,90 à 2,65	0,85 à 1,35	3,50	5,30	3,50
Locomobiles . .	2,30 à 2,80	1,25 à 1,90	3,50	5,70	4	

Nous avons admis une longueur de courroie de commande de 3 m. 50, pour que la transmission se fasse dans les meilleures conditions possibles. Quant à la hauteur du bâtiment, elle devra être suffisante pour placer au-dessus du plancher un réservoir d'eau H, dit rafraîchisseur. Les murs s'établi-

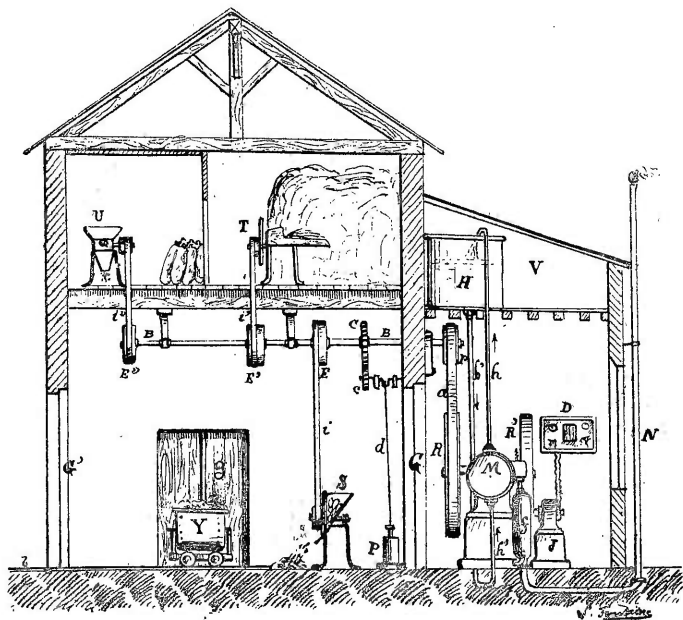


Fig. 55. — Installation du moteur dans une salle spéciale.

ront en maçonnerie, ou on fera une charpente en bois, montée sur poteaux dont les vides seront remplis par une maçonnerie en briques. Pour assurer la propreté du local, il sera bon d'enduire les murs d'une couche de plâtre. Des portes vitrées feront communiquer la salle du moteur avec l'extérieur et la chambre des machines ; le mécanicien peut surveiller facilement la marche de l'ensemble. L'éclairage et l'aération sont donnés par des fenêtres ; tous ces détails de construction varient à l'infini, nous n'indiquons que les points généraux.

En admettant un moteur horizontal M, celui-ci est boulonné à un massif en maçonnerie ou en ciment. Sa poulie-volant R reçoit la courroie *a*, venant mettre en mouvement la poulie de commande *r* de l'arbre de couche principal BB. Le volant R régularise la marche et peut recevoir une courroie destinée à

la mise en marche d'une dynamo J, servant à l'éclairage électrique, dont on voit le tableau de distribution en D. Les gaz d'échappement sortent du cylindre et se rendent dans le pot d'échappement *f*, puis de là dans l'atmosphère par le tuyau N. Le refroidissement du cylindre se fait par *thermosiphon*, au moyen d'un bac en tôle H, situé dans le grenier V et muni d'un trop-plein. La partie inférieure où se rend l'eau froide est mise en communication avec le bas du cylindre par un tuyau *h' h'*; l'eau chaude remonte au bac par un tuyau *h*. L'ensemble de la marche du système est facile à concevoir: l'eau froide en arrivant au contact du cylindre lui emprunte de la chaleur, elle tend à s'élever sous l'influence de l'arrivée d'une nouvelle quantité d'eau froide venant du réservoir H; en haut de son parcours, elle perd par rayonnement cette chaleur, de sorte qu'en revenant au cylindre elle est suffisamment refroidie pour lui emprunter à nouveau de la chaleur. On voit donc, par ce mouvement ascendant et descendant, que l'eau sert de véhicule pour emporter à l'extérieur le superflu de la chaleur du cylindre.

La capacité à donner au rafraîchisseur se calcule à raison de 250 à 500 litres par cheval, suivant les forces employées. Il y a lieu d'envoyer chaque jour quelques litres d'eau pour compenser les pertes dues à l'évaporation. L'eau, à la sortie du cylindre, atteint les températures de 65 à 70 degrés C., comme nous l'avons vu.

Quant à la répartition des transmissions dans la salle des machines, elle excessivement variable. Dans notre exemple, on voit que l'arbre de couche B B est soutenu de distance en distance par des chaises boulonnées au plancher. Au rez-de-chaussée, nous trouvons une pompe P dont la tige *d* est mise en mouvement par une paire d'engrenages C c, munis d'un débrayage. Puis vient un coupe-racines S, muni d'une poulie folle et commandé par la courroie *i*, passant sur une large poulie E. On peut adjoindre un laveur, en surélévation, qui déverse directement les racines dans la trémie de S; on évite des manipulations. Les produits à couper sont transportés par un wagonnet Y, circulant sur des rails *b*; il passe par les portes G' ou *g*.

A l'étage supérieur, se trouve un hache-paille T, commandé par la poulie E' et la courroie *i'*, une trappe laisse tomber la matière hachée dans la salle inférieure. Enfin, dans une chambre spéciale, on installe un concasseur U, relié à la poulie E'' par la courroie *i''*. Dans ce local, on peut établir une transmission secondaire pour y ranger, outre le concasseur, l'aplatisseur, le trieur à grains, le moulin à farine, etc.

Il nous reste à dire quelques mots sur le calcul des transmissions. Pour résoudre la question, il faut connaître la vitesse à laquelle tournent les machines à commander (1); en deuxième lieu, le nombre de tours que fait le moteur.

Voici quelques chiffres qu'il sera bon de consulter :

DÉSIGNATION DES MOTEURS	VITESSE PAR MINUTE							
	1/2 cheval	1 cheval	2 chevaux	3 chevaux	4 chevaux	6 chevaux	8 chevaux	10 chevaux
Daimler	700	600	600	»	750	750	»	600
Grob	500	400	375	»	290	275	260	190
Hornsby-Akroyd	»	270	270	250	250	230	230	220
Niel	»	240	240	»	190	190	180	180
Merlin	440	370	350	330	320	280	280	»

Donc, on voit que la vitesse de rotation diminue à mesure que la puissance du moteur augmente.

En admettant, pour le cas de notre installation, que la poulie-volant R du moteur M ait 0^m80 de diamètre et fasse 250 tours par minute, on demande quel est le diamètre de la poulie r, sachant que la vitesse de l'arbre de couche BB doit être de 200 tours seulement ?

En appliquant la formule $\frac{D}{D'} = \frac{N'}{N}$, nous aurons, en remplaçant les lettres par leur valeur : $\frac{0,80}{x} = \frac{200}{250}$.

D'où $x = \frac{250 \times 0,80}{200} = 1$ mètre.

Enfin, pour donner un aperçu du prix d'achat d'un moteur mi-fixe horizontal ou vertical, voici quelques chiffres moyens :

PRIX ..	1/2 cheval	1 cheval	2 chevaux	3 chevaux
	1.300 fr.	1.600 fr.	2.300 fr.	2.800 fr.
	4 chevaux	5 chevaux	6 chevaux	7 chevaux
	3.100 fr.	3.500 fr.	3.800 fr.	4.200 fr.

(1) Pour ce point, consulter la première partie de notre ouvrage. Coulet, à Montpellier.

A mesure que la puissance croit, le prix du cheval-vapeur diminue de prix ; la dépense d'achat reste sensiblement égale à celle des machines à vapeur.

2^m^e CAS. — **Installation d'un moteur à pétrole dans la salle des machines.** — Lorsqu'on veut établir le moteur à pétrole dans la salle même des instruments, nous conseillons d'employer la disposition représentée par la figure 56. A

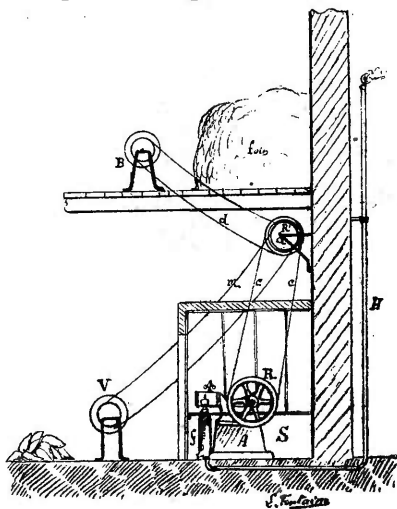


Fig. 56. — Installation d'un moteur à pétrole dans la salle des machines.

l'une des façades du mur, on adosse une cage à bâti en bois S, dont les parois sont en partie vitrées. C'est à l'intérieur de cette cage que l'on installe le moteur à pétrole A ; il est complètement à l'abri des poussières. Les dimensions à donner à la construction varient avec le genre de moteur adopté. Pour le type vertical, une longueur de 2^m,50 et une largeur de 1^m,80 suffisent. Pour les machines horizontales (mi-fixes ou locomobiles), la longueur devra être de 3 mètres et la largeur de 2 mètres. Les gaz brûlés sont évacués par le pot d'échappement *f*, puis rejetés à l'extérieur par le tuyau H, de 5 à 6 mètres de hauteur.

La transmission se fait par une courroie *c*, passant sur le volant R et sur la poulie R', calée sur l'arbre de couche principal *a*. Celui-ci porte une série de poulies, avec des courroies *m*, *d*, etc., servant à la commande d'un coupe-racines V, d'un hache-paille B, etc. La surveillance de la marche est des plus faciles, et l'installation par elle-même est élégante.

Applications du moteur à pétrole pour la commande des dynamos. — Les moteurs à pétrole trouveront un vaste champ d'exploitation dans le domaine de l'électricité, car ils rendent possible l'éclairage des châteaux, des fermes et des villages dépourvus de gaz. Ces machines peuvent être utilisées le jour à la commande d'appareils les plus divers, et le soir actionner des dynamos.

Les deux machines, indépendantes l'une de l'autre, sont accouplées par courroie, la vitesse de marche doit être régulière. Le calcul de la puissance du moteur se détermine facilement, comme on le verra dans la dernière partie de notre ouvrage.

LOCOMOBILES A PÉTROLE

Transporter d'un point à un autre de l'exploitation la puissance développée par le moteur à pétrole comme la puissance de la machine à vapeur, tel a été le but réalisé par les constructeurs. Ces machines constituent les *moteurs locomobiles à pétrole* ou *locomobiles à pétrole*, comme on les appelle encore quelquefois. Le moteur est monté sur un chariot à trois ou quatre roues; le refroidissement du cylindre se fait ordinairement par thermosiphon, ou par d'autres systèmes, dont nous verrons plusieurs exemples.

Dans le type Brouhot, représenté par la figure 57, l'ensemble de la machine est boulonné sur un fort bâti en fer, monté sur quatre roues métalliques. On retrouve dans ce système les mêmes dispositions que nous avons décrites dans un modèle précédent. L'alimentation se fait avec du pétrole lourd. Le refroidissement du cylindre est obtenu par de l'eau placée dans un bac, fixé en dessous du moteur; la capacité de celui-ci est calculée de telle façon que la température du cylindre ne dépasse pas 250 à 300° C. La marche est très régulière, et la surveillance presque nulle. Un modèle de 6 chevaux coûte 5.400 fr., celui de 8 chevaux, 6.600 fr.

Les moteurs locomobiles Merlin sont également montés sur un chariot à quatre roues; le premier type (fig. 58), le moteur, est vertical, avec refroidissement à thermosiphon; le réservoir rafraîchisseur est formé d'un bac métallique placé sur l'avant du chariot; le tout est garanti de la pluie par une toiture métallique. Ce modèle se construit pour des forces de 1 à 7 chevaux-vapeur, aux prix de 2.300 à 5.800 fr.

Le deuxième type (fig. 59) comporte un moteur horizontal, dont le refroidissement du cylindre est obtenu par un courant

d'eau envoyé par une pompe, puisant dans un bac métallique placé en dessous du chariot. La force est de 4 à 12 chevaux, pour des prix de 4.200 à 7.700 fr.

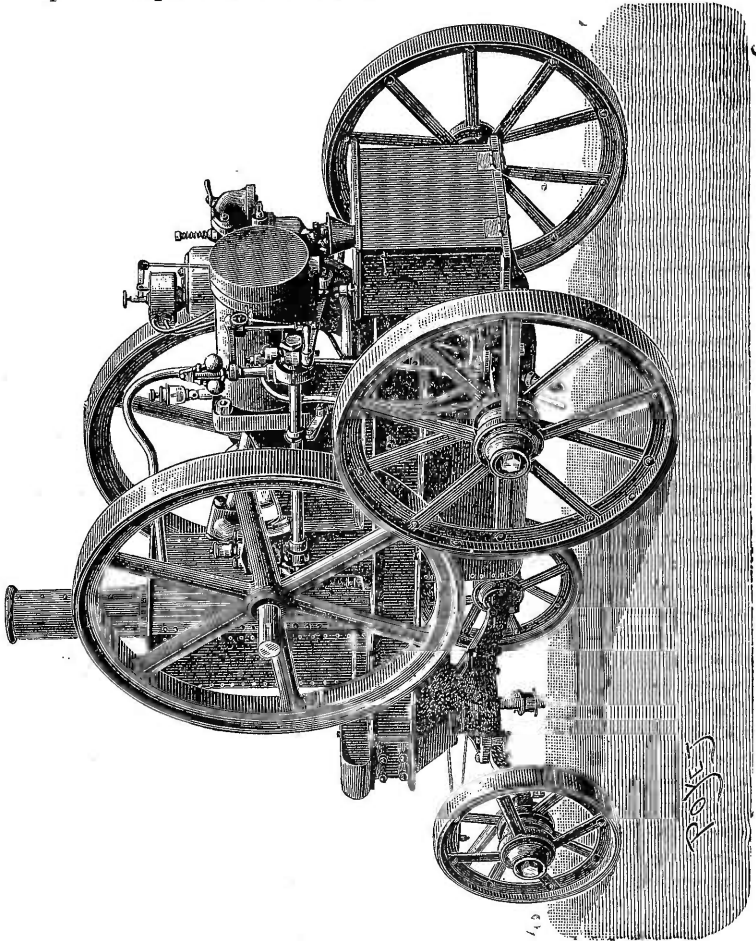


Fig. 57. — Moteur à pétrole locomobile Brouhol.

La locomobile Grob, représentée par la figure 60, comprend un moteur à pilon monté à l'arrière du chariot. Il est alimenté par un réservoir en fonte, contenant 10 litres de pétrole, et dans lequel une pompe à air maintient une pression de 0 k. 250 par centimètre carré. Cette pression fait monter le pétrole à la lampe de chauffage du gazificateur et à la

la pompe alimentaire, qui l'envoie au pulvérisateur. Le refroidissement du cylindre s'opère par un courant d'eau envoyé par une pompe centrifuge à axe vertical, commandée

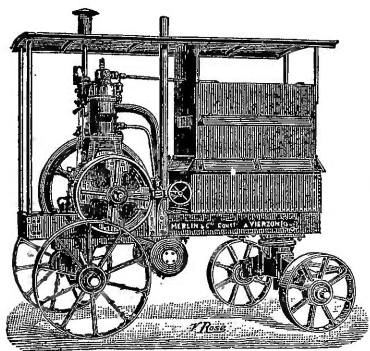


Fig. 58. Moteur locomobile Merlin avec refroidissement à thermosiphon.

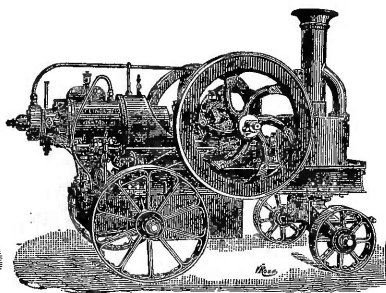


Fig. 59. — Moteur locomobile Merlin avec refroidissement par pompe à eau.

par une corde, prenant son mouvement sur une poulie à gorge de l'arbre de couche et passant sur deux galets de renvoi. L'eau chaude, sortant du haut du cylindre, tombe par un tourniquet hydraulique à la partie supérieure d'un réservoir cylindrique, sur des claies en bois percées de trous. L'axe de la pompe porte un ventilateur qui envoie de bas en haut un puissant courant d'air; celui-ci, rencontrant l'eau en chute, lui emprunte de la chaleur et la refroidit. Celle-ci, arrivée au bas du cylindre, est reprise par la pompe et renvoyée au cylindre. Il faut 80 litres d'eau pour entretenir la marche, l'évaporation en enlève environ 5 litres par heure, soit 50 litres par 10 heures. L'échappement se fait par une petite cheminée verticale.

Les moteurs que nous venons de passer en revue commandent par courroie les batteuses, les pompes, etc. Certains constructeurs tendent aujourd'hui à monter directement les pompes sur le chariot du moteur. La pompe est centrifuge ou à piston; on peut utiliser ces dispositifs pour les irrigations des prairies et des vignobles.

Une nouvelle combinaison entreprise par les constructeurs est de réunir sur le même bâti un moteur à pétrole et une batteuse à grand travail. Nous donnons une vue photographique de l'excellente disposition Niel (fig. 61). A l'arrière de la batteuse, est ménagée une chambre close et couverte par un toit

en tôle ondulée, dans laquelle est logé le moteur à pétrole vertical, la poulie de commande est reliée par courroie à un arbre intermédiaire destiné à augmenter la vitesse ; une poulie extérieure transmet le mouvement au batteur. La mise en mar-

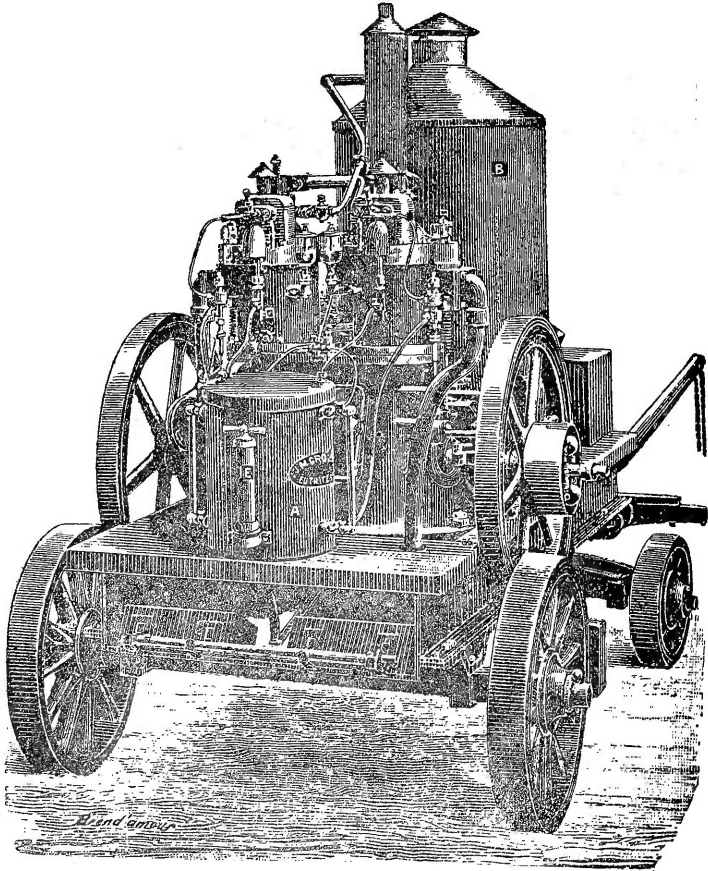
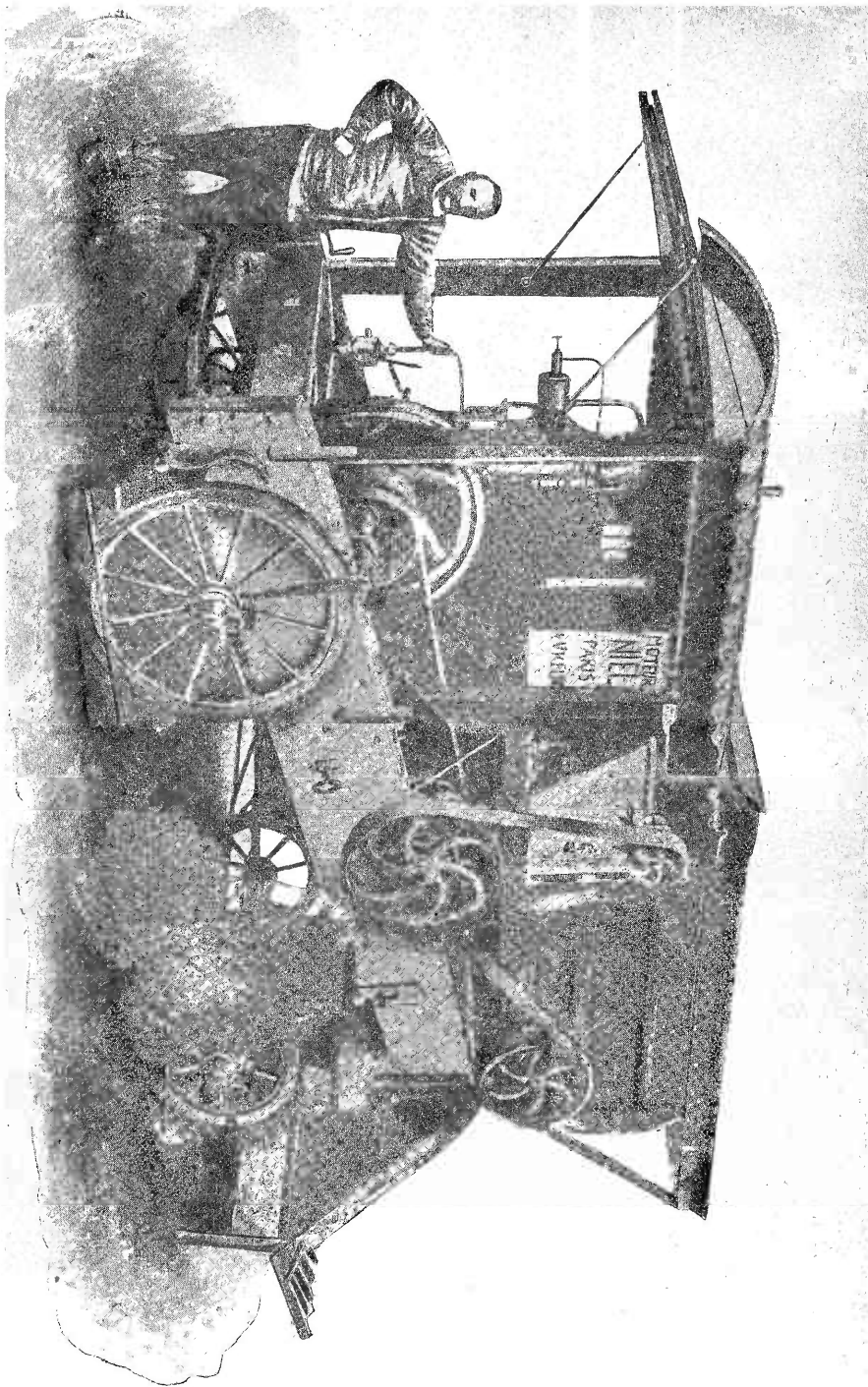


Fig. 60.— Moteur locomobile Grob.

che se fait par une manivelle munie d'un rochet, très visible sur le côté de la roue d'arrière. Ce genre de machine convient surtout pour les entrepreneurs de battages.



Cultivateurs automobiles à pétrole. — La traction des voitures sur route au moyen du moteur à pétrole est résolue mécaniquement ; on a cherché à obtenir pour l'agriculture des machines automobiles comparables aux locomotives routières, destinées à traîner sur champ les instruments de cul-

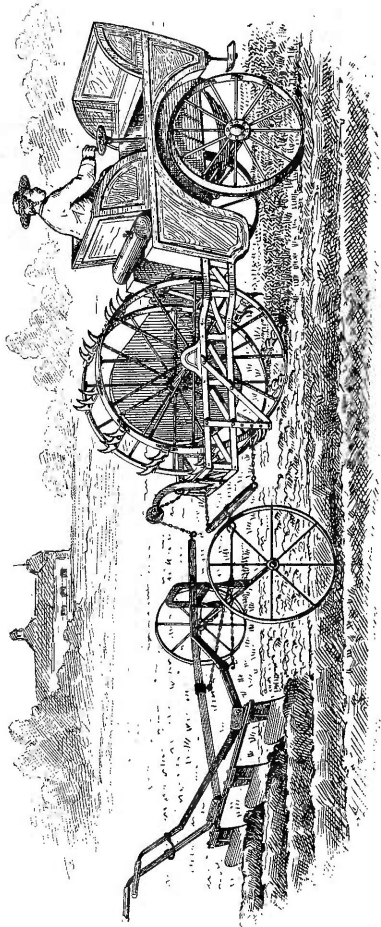


Fig. 62. — Cultivateur automobile à pétrole Souza.

ture. Nous signalons, à titre de curiosité, les premiers essais faits avec ces machines, qui se construisent surtout en Angleterre et un peu en France.

La figure 62 montre une vue d'ensemble du cultivateur automobile Souza, constructeur, 198, boulevard Saint-Germain (Paris).

On voit en avant le moteur installé dans une voiture, suivie à l'arrière de deux roues dont les jantes sont munies de griffes pénétrant dans le sol, pour permettre à l'ensemble de progresser en avant. La commande, venant du moteur, se transmet au tambour propulseur par une chaîne. On accroche à l'appareil une charrue, une herse, etc. Les systèmes anglais sont montés sur de larges roues, avec saillies donnant une adhérence suffisante pour que l'appareil se déplace sans adjonction de tambour de prise. Il est inutile de dire que ces machines sont encore dans leurs débuts.

Emploi de l'alcool comme combustible

L'alcool est un liquide composé de carbone, d'oxygène et d'hydrogène (C^2H^6O), que l'on a proposé dans ces derniers temps pour l'alimentation des moteurs à gaz. En effet, l'alcool se réduit en vapeurs qui, mélangées à une certaine proportion d'air, donnent un produit qui peut s'enflammer après une compression préalable. A la température ordinaire, l'alcool émet peu de vapeurs ; il faudrait donc le chauffer pour en permettre la vaporisation. Mais ce moyen rend très dangereuse la manipulation, et les explosions sont à craindre. Pour cette raison, on est obligé de commencer à mettre en marche le moteur avec de l'essence, et ce n'est que lorsque la température des gaz d'échappement a atteint 70° que l'on peut commencer l'alimentation à l'alcool.

Au point de vue calorimétrique, 1 k. d'alcool dégage 7.000 calories, tandis que le pétrole en dégage, comme nous l'avons vu, 11.000. Les expériences entreprises jusqu'ici dans cette voie ne sont pas concluantes.

ESSAIS DES MOTEURS THERMIQUES

THERMODYNAMIQUE

La thermodynamique, comme son nom l'indique, est l'étude de la chaleur en mouvement. La chaleur utilisable dans les moteurs qui nous occupent n'apparaît que sous l'influence d'une combinaison. Elle est fournie par du *combustible*, formé en grande partie par du carbone et de l'hydrogène que les siècles ont mis en réserve sous forme d'anthracite, de houille, de pétrole, etc., auquel vient se combiner de l'oxygène constituant le *comburant*. La combustion donne de l'acide carbonique et de l'eau. C'est grâce à la végétation que la chaleur solaire s'emmagasine sous forme de combustible, comme l'a remarqué, le premier, G. Stephenson.

Véhicules de la chaleur. — La chaleur dégagée par la combustion ne peut être utilisée au cylindre d'une machine destinée à donner du mouvement que par l'intermédiaire d'un corps gazeux chargé de la transporter. Les molécules gazeuses emmagasinent individuellement une certaine quantité de chaleur, et la restituent en travail lorsqu'elles se détendent : *c'est la force expansive des gaz*. Le calorique augmente la force répulsive des molécules. Les intermédiaires employés sont l'eau, comme dans la machine à vapeur ; l'air, comme dans les moteurs à air chaud, à gaz ou à pétrole. On voit immédiatement qu'on pourrait employer n'importe quel liquide.

L'ammoniaque, par exemple, a été essayée pour utiliser la chaleur solaire concentrée au moyen d'une forte lentille sur un réservoir contenant ce liquide volatil.

Combustibles. — Les corps renfermant sous un petit volume une grande quantité de carbone peuvent servir de combustibles. Ceux-ci sont tous organiques et dérivent du Règne végétal (anthracite, houille, bois, tourbe, paille), ou du Règne animal (pétrole). Par la distillation de la houille, ou par injection de vapeur d'eau sur du charbon incandescent, on obtient des gaz combustibles.

Unités calorifiques. — *Grande et petite calories.* — La chaleur dégagée par unité de combustible (kilogramme) constitue son pouvoir calorifique. L'unité dont on se sert pour évaluer le calorique d'un combustible est la *calorie*. C'est la quan-

tité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un kilogramme d'eau de 1 degré C. On a alors, dans ce cas, *la grande calorie*, par opposition à *la petite calorie*, qui n'est que la millième partie de la précédente, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré C. la température de 1 gr. d'eau.

Evaluation des calories absorbées par une quantité d'eau chauffée. — On a souvent, dans les essais des machines, à évaluer la quantité de chaleur absorbée par une masse d'eau. Si nous désignons par P cette masse exprimée en kgr., par t la température initiale où elle est prise, par t' à laquelle elle est portée ; les calories C empruntées sont données par la formule :

$$C = P (t' - t). (a).$$

Exemple : 650 litres d'eau ont servi à refroidir le cylindre d'un moteur à pétrole arrivant à la température de 12° C. et sortant à 69° C.; quelle est la chaleur perdue exprimée en calories?

En appliquant la formule (a), on a :

$$C = 650 (69 - 12) = 650 \times 57 = 37050 \text{ calories.}$$

Equivalent mécanique de la chaleur. — Conversion du travail en calories. — Hirn et Joule ont démontré expérimentalement qu'une calorie fournit un travail de 425 kilogrammètres. On peut donc avoir à résoudre sur cette question deux sortes de problèmes :

1° On donne 4250 kilogrammètres à convertir en calories.

$$\text{On a } \frac{4250}{425} = 10 \text{ calories.}$$

2° Combien 10 calories donneront-elles de travail en kgm. et en chevaux-vapeur? $10 \times 425 = 4250$ kilogrammètres.

$$\frac{4250}{75} = 56,66 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Calorimétrie. - Pouvoir calorifique des combustibles. — La quantité de chaleur dégagée par un combustible est du ressort de la calorimétrie, dont les premiers essais datent de Rumford. Les calorimètres sont des instruments qui servent à ces déterminations; pour les hydrocarbures liquides ou gazeux, on emploie des appareils dits *bombes calorimétriques*.

La bombe Mahler permet d'opérer également sur des combustibles solides.

Le pouvoir calorifique d'un combustible dépend de sa richesse en carbone et en hydrogène.

Par gramme, le carbone dégage 7 calories 833 (1).
 — — l'hydrogène — 34 — 462

Voici résumées dans un tableau, les différentes puissances calorifiques des combustibles employés dans l'alimentation des machines.

NATURE DES COMBUSTIBLES	POUVOIR CALORIFIQUE en calories	
	Par kilogr.	Par mètre cube
1 ^o Houilles sèches à longue flamme. .	8000 à 8500	»
2 ^o Houilles grasses à longue flamme (charbons à gaz).	8500 à 8800	»
3 ^o Houilles grasses à courte flamme (charbons à coke).	9300 à 9600	»
4 ^o Houilles maigres ou anthraciteuses. .	9200 à 9500	»
Anthracite.	7500	»
Coke.	6600	»
Lignite parfait, Dax.	5790	»
Tourbe ordinaire.	3600	»
Bois parfaitement desséché..	3500	»
Bois d'une année de coupe (20 à 25 o/o d'eau)	2600	»
Pétrole.	11000	»
Gaz d'éclairage.	»	5000 à 6000
Gaz pauvre.	»	1200 à 1400

Voici la consommation de combustible pour les différents moteurs thermiques et le prix de revient du cheval-heure.

(1) En tenant compte de l'oxyde de carbone formé, on arrive au chiffre de 8,08.

MOTEURS	PUISSANCE minima	CONSOMMATION par cheval	PRIX du combustible	PRIX du chev.-heure
Machine à vapeur à détente sans condensation.	4 à 6 chx.	3 à 4 k. charbon	34 f. les 1000 k.	0f102 à 0f105
Machine à vapeur à détente et à condensation.	100 —	1 k. —	—	0 f. 034
Moteur à air chaud.	4 —	1*500 à 1*800 coke	30 f. les 1000 k.	0f045 à 0f054
— à gaz d'éclairage.	10 —	600 litres	0 f. 30 le mèt. c.	0 f. 18
— à gaz pauvre.	50 —	700 gr. anthracite	25 f. les 1000 k.	0 f. 0175
— à pétrole.	5 —	0 lit. 500	0 f. 30 le litre	0 f. 15

UTILISATION DE LA CHALEUR PAR LES MOTEURS THERMIQUES

Cycle idéal des machines thermiques. — Cycle de Carnot. — La chaleur portée au cylindre par un intermédiaire, tel que l'air ou la vapeur d'eau, pousse le piston et constitue

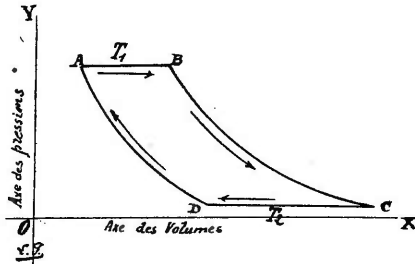


Fig. 63.— Représentation d'un cycle idéal.

la *course-avant* ; pour obtenir la *course-arrière*, il faut diminuer la tension du fluide, en lui enlevant de la chaleur au moyen d'un *réfrigérant*, qui le ramène en même temps à son volume initial. L'ensemble de ces opérations constitue un cycle fermé.

Le cycle idéal serait donc celui qui ne donnerait aucune perte de chaleur, tel est le *cycle Carnot*. Soit (fig. 63) un

fluide chauffé à une source de chaleur indéfinie à température T_1 , puis séparé de cette source et détendu adiabatiquement de B en C, jusqu'à ce qu'il ait pris la température T^2 du réfrigérant, considéré comme une source indéfinie. On pourra donc opérer une compression isothermique CD au contact de cette source ; mais aussitôt que le fluide en sera séparé, cette compression deviendra adiabatique suivant DA, et c'est ainsi que le fluide sera ramené au volume initial et à la température du foyer. Le travail produit par le cycle est déterminé par l'aire du diagramme ABCD.

Sadi Carnot croyait que la chaleur reprise par le réfrigérant était égale à celle fournie par le foyer. Les thermodynamistes ont démontré qu'il se trompait ; une certaine quantité de chaleur, représentant l'équivalent du travail effectué T, disparaît. Si Q_1 représente la chaleur cédée par le foyer, Q_2 la chaleur soustraite par le réfrigérant, on a

$$Q_1 - Q_2 > 0$$

$$\text{et } J(Q_1 - Q_2) = T$$

La quantité $Q_1 - Q_2$ représente les calories disparues, dont le nombre multiplié par J, l'équivalent mécanique de la chaleur, donne le travail T en kilogrammètres.

Rendement théorique du cycle idéal. — Le rendement d'un cycle est le rapport de la quantité de chaleur utilisée à la production du travail à la quantité de chaleur fournie, le tout exprimé en calories ; ou

$$\rho = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

On sait d'autre part qu'une calorie élève de 1 degré 1 kilogr. d'eau, on peut donc écrire la relation suivante :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\text{D'où } \rho = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (a)$$

Cette formule est d'une très grande importance, car elle montre que le rendement d'une machine évoluant suivant le cycle de Carnot est égal au rapport de la chute de température à la température initiale.

Le rendement d'une machine thermique d'après le théorème de Carnot *ne dépend nullement de la nature du fluide mis en œuvre*, vapeur d'eau, vapeur d'un autre liquide, hydrogène, air, etc.

Le travail théorique que pourrait rendre un combustible est

égal à la quantité de calories dégagées C, multipliée par l'équivalent mécanique, soit 425 kgm. Ainsi un kgr. de carbone, dégageant 8.080 calories, peut fournir théoriquement $8.080 \times 425 = 3.434.000$ kgm.

Or, pour que ce travail soit entièrement utilisable, il faudrait que ρ fût égal à l'unité, c'est-à-dire que T_2 devint égal à zéro. En réalité on ne peut retirer qu'une faible partie de la chaleur disponible Q_1 , que $Q_1 J \rho$. Ainsi, pour une machine à vapeur fonctionnant entre 150° et 100° centigrades, soit entre 423 et 373° absolus, on trouve que

$$\rho = \frac{423 - 373}{423} = 0,118$$

La chute de chaleur est de 50° , et par suite la calorie ne donnerait que $425 \times 0,118 = 50$ kgm.

Rendement théorique et rendement générique d'un cycle quelconque. — Les cycles des machines sont moins parfaits que celui de Carnot, car on n'arrive pas à fournir tout le calorique du foyer, ni à reprendre tout le calorique par le réfrigérant à température constante. La conception du cycle Carnot n'est que du domaine théorique, mais il permet d'apprécier le cycle d'une machine, en comparant son rendement ρ' au cycle type à rendement ρ : en somme, c'est sa note.

On obtient un deuxième rendement $\rho_1 = \frac{\rho'}{\rho}$, que Hirn a appelé rendement *générique*.

Rendement pratique. — Le rendement théorique ρ' se détermine comme nous l'avons vu, pour un moteur quelconque, par la formule $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ Q_1 indique les calories fournies, Q_2 les calories reprises par le réfrigérant. La différence $Q_1 - Q_2$ ne pourra toute être employée à la production du travail, il y a des pertes dues à l'imperfection du cycle, des pertes de calorique, des pertes de pression. Pour toutes ces raisons on ne doit compter non pas sur un rendement ρ' , mais un rendement ρ'' , que l'on détermine à l'indicateur de Watt.

Enfin le rapport $\frac{\rho'}{\rho''} = \rho_2$ nous donnera le *rendement pratique*, lequel donne le travail.

Rendement organique. — Le rendement ρ'' indique le travail fourni au piston, mais pour que celui-ci soit directement applicable à une machine-outil, il est indispensable d'interca-

ler un mécanisme transformant le mouvement de va-et-vient en mouvement circulaire continu. Des pertes sont donc encore absorbées par le frottement du piston, de la bielle, des pompes et accessoires, etc. D'où le travail utilisable à l'arbre de couche, *mesuré au frein*, divisé par le travail reçu au piston, donne le rendement organique ϵ de la machine. C'est ce coefficient individuel que l'on recherche généralement.

DES ESSAIS

Dans les essais des machines thermiques, on cherche à déterminer : 1° le rendement pratique, ou le travail fourni par le combustible au piston ; 2° le rendement organique, ou utilisable à l'arbre de couche du moteur.

Rendement pratique. — En principe, on détermine les calories fournies au moteur en pesant le combustible brûlé ; connaissant son pouvoir calorifique par kgr., on a les calories dépensées Q_1 . Puis, avec un *indicateur*, on détermine la pression moyenne au piston ; la formule $T = \frac{2 s. m. n. c.}{60 \times 75}$ donne le *travail indiqué* en chevaux par seconde, quand il s'agit d'une machine à vapeur, et $T = \frac{s. m. n. c.}{60 \times 75}$ quand il s'agit d'un moteur à cylindre à simple effet. Dans ces formules, s est la surface du piston, m la pression par centimètre carré, c la course du piston, n le nombre de tours.

Ce nombre n est variable ; pour une machine à vapeur, il est égal à $2n$, car la vapeur agit à l'aller et au retour ; dans les moteurs à air chaud, n est égal au nombre de tours du moteur, enfin, dans les moteurs à gaz et à pétrole, n est égal au nombre d'explosions.

Sachant que 425 kilogrammètres valent une calorie, on peut transformer $\frac{T}{425}$ en calories Q_2 .

Enfin, le rapport $\frac{Q_2}{Q_1}$ = le rendement pratique.

Nous devons nous arrêter sur la détermination en poids du combustible et, par suite, du calorique fourni au cylindre, puis sur l'évaluation du travail au cylindre.

1° MACHINES A VAPEUR. — S'il s'agit d'une machine à vapeur, on pèsera exactement la houille consommée par heure pendant l'essai, puis on divisera ce poids par le travail indiqué au cylindre, ce qui donnera la consommation par cheval-

heure indiqué. Soit, pour fixer les idées, une machine à vapeur de 26,5 chevaux indiqués, consommant 37,9 k. de charbon par heure. D'où $\frac{37,9}{26,5} = 1$ kil. 430 de charbon par cheval-heure indiqué.

Si le charbon a un pouvoir calorifique de 7200 C., le cheval-heure a consommé $1,430 \times 7200 = 10296$ calories.

En admettant le rendement du foyer égal à 0,44, le cylindre n'aurait donc utilisé que $10296 \times 0,44 = 4530,24$ calories.

D'autre part, le cheval-heure vaut $75 \times 3600 = 270000$ kilogrammètres, soit $\frac{270000}{425} = 635$ calories 294.

Et enfin le rendement pratique sera de :

$$\frac{635,294}{4530,24} = 0,14 \text{ ou } 14 \text{ o/o.}$$

On peut opérer d'une autre façon, en évaluant en poids la vapeur consommée au cylindre par seconde et en déterminant sa puissance calorifique pour un *travail indiqué* donné. La formule à employer est :

$$P = V \times d \times \frac{2n}{60} = V d \frac{n}{30} .$$

Dans laquelle P est le poids de la vapeur, V le volume du cylindre, d la densité de la vapeur à la température considérée, $2n$ le nombre de coups de piston double; 60, secondes par minute. Le volume V se détermine d'après le diamètre du piston et sa surface, multipliée par sa course. Il faut retrancher la surface occupée par la tige du piston sur laquelle la vapeur n'agit pas dans un sens de la course et prendre la moyenne des deux surfaces.

Soit S_1 et S_2 ces deux surfaces, on aura comme moyenne :

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2} .$$

Si D est le diamètre du cylindre, d celui de la tige, S aura pour valeur :

$$2S = \frac{\pi}{4} D^2 + \frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} (2D^2 - d^2).$$

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - \frac{d^2}{2}).$$

Si le moteur est à détente de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, il faudrait multiplier le volume théorique engendré par le piston par les coef-

ficients 0,50, 0,33, 0,25 pour avoir le volume réel de vapeur admis au cylindre.

Supposons maintenant que le volume de vapeur consommé par cheval-heure soit de 7 kilogr. à la tension de 5 atmosphères, c'est-à-dire à la température de 153°, comme l'indique le tableau ci-dessous, nous pourrions calculer les calories contenues en employant la formule de Regnault. Chal. tot. = 606,5 + 0,305 t.

Tension maximum de la vapeur d'eau en atmosphères

Température	Tension en atmosphères	Température	Tension en atmosphères
100°	1 atm.	153°	5
121	2 —	181	10 atm.
135	3 —	215	20 —
145	4 —	236	30 —

Donc les 7 kil. de vapeur auront = $7 \times 606,5 + 0,305 \times 153$
= 4572,12 calories. Le rendement thermique serait donc de :

$$\frac{635,294}{4572,12} = 0,13 \text{ ou } 13 \text{ o/o.}$$

2° MOTEURS A PÉTROLE. — Il suffit dans ces moteurs, pour ce qui concerne le combustible, de peser exactement le pétrole consommé dans un temps donné, pour ramener ce poids à l'unité de cheval-heure indiqué. Supposons une dépense de 0 kil. 700 et un pouvoir calorifique de 11000 C., nous aurons comme rendement pratique thermique :

$$\frac{635,294 \times 100}{7700} = 8,25 \text{ o/o.}$$

Nous rappelons que 635 calories 294 représentent le travail d'un cheval-heure. Il faut noter la quantité d'eau de refroidissement nécessaire au cylindre avec les températures d'entrée et de sortie pour déterminer les pertes en calories. Cette évaluation se fait, comme nous l'avons vu, avec la formule $C = P (t' - t)$.

Si par exemple un cheval-heure demande 540 litres d'eau de refroidissement, entrant au cylindre avec une température de 21°, elle en sort à 22°,5, les calories seront :

$$C = (22,5 - 21) \times 540 = 810 \text{ calories.}$$

On notera également la température des gaz à leur sortie, la température de l'air et les explosions par minute ; tous ces

facteurs ont une grande importance dans le jugement d'une machine thermique.

Pour compter le nombre d'admissions du mélange tonnant au cylindre, on établit un appareil à contacts électriques, marquant à chaque levée de la soupape d'admission un trait sur une bande de papier se déroulant. On emploie aussi des totaliseurs actionnés par la tige de la soupape d'admission.

3° MOTEURS A GAZ. — Le rendement pratique thermique se déduit, d'après la consommation de gaz en volume, dégageant une somme de calories déterminée, et d'après le travail indiqué au cylindre. Ainsi, par exemple, soit un moteur dépensant 648 litres de gaz à 0 degré et à la pression de 760 millimètres, d'un pouvoir calorifique de 5'11 calories au mètre cube, cherchons son rendement pratique. On aura :

$$\frac{635,294}{5011 \times 0,648} = 0,19 \text{ ou } 19 \text{ o/o.}$$

Le gaz consommé n'est jamais à la température de zéro C. et la pression barométrique peut être différente de 760, il faut ramener la dépense en volume relevée au compteur des essais à zéro et à 760 ; quelques expérimentateurs prennent comme terme de comparaison la température de 15° C. On emploie pour cela la formule :

$$V_0 = V \frac{H}{760} \times \frac{1}{1 + \alpha t}$$

$$\alpha = 0,003665.$$

Détermination du travail indiqué au cylindre. — Le travail transmis au piston d'un cylindre a pour valeur le produit de la pression moyenne, par l'espace parcouru par seconde.

La pression moyenne est déterminée par un *indicateur*, dont le principe a été indiqué par Watt. Cet appareil est basé, comme nous l'avons vu dans notre premier volume, sur la déformation d'un ressort, dont la flexion variable est inscrite sur un papier se déplaçant suivant un mouvement circulaire alternatif, permettant l'inscription des pressions aux différentes phases de la période du cycle.

La figure 64 représente l'indicateur Richard, avec réducteur de course. Pour opérer, on visse la partie N sur l'une des extrémités du cylindre, et on accroche la corde du réducteur au coulisseau de la bielle pour actionner le tambour du papier.

La ligne atmosphérique étant tracée, on ouvre le robinet O au départ d'une course ; la vapeur ou le gaz pénètre dans le

cylindre A, qui déplace le crayon inscripteur. Le cylindre porte-papier est ramené en arrière par un ressort intérieur, car la pression devient nulle sur la face du piston qui a tra-

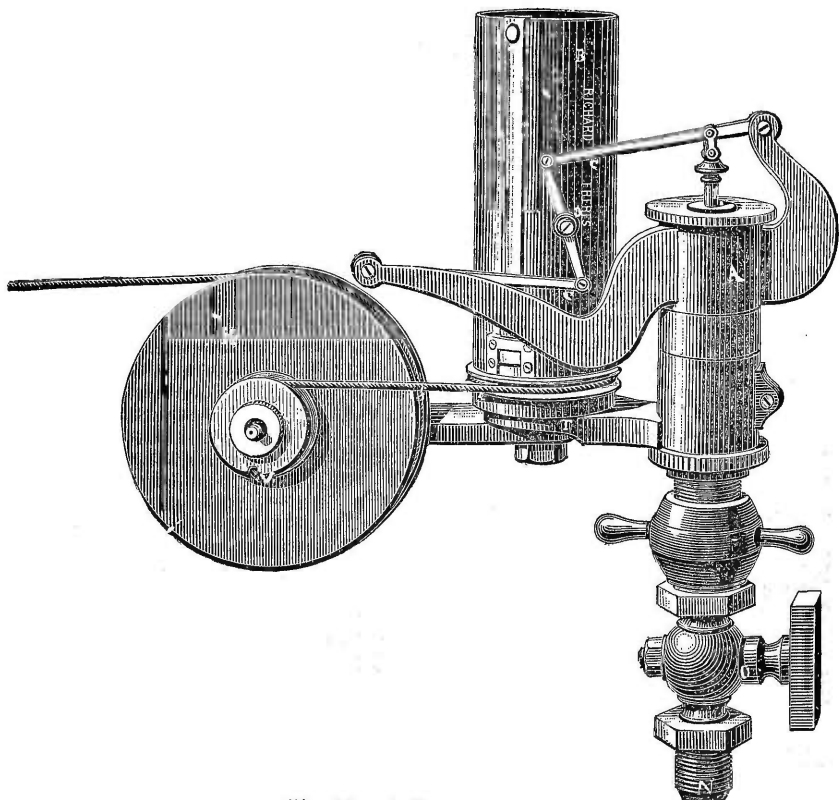


Fig. 64. — Indicateur Richard.

vaille; on obtient un diagramme duquel on détermine la pression moyenne.

Calcul de la pression moyenne d'un diagramme relevé sur une machine à vapeur à détente. -- Calcul du travail total indiqué. Supposons que le diagramme représenté par la figure 65 ait été relevé sur l'une des faces d'un cylindre d'une machine à vapeur à détente, la ligne O X est la ligne atmosphérique correspondant à une pression nulle dans le cylindre de l'indicateur. Après l'admission de la vapeur, la pression

devient égale à OA, puis, à partir de la période de détente B, cette pression diminue jusqu'en C pour prendre des valeurs MN, M'N', etc. La contre-pression a pour valeur la surface DCXO. En réalité, le travail reçu au piston a pour valeur, dans une simple course, la surface de la figure ABCD.

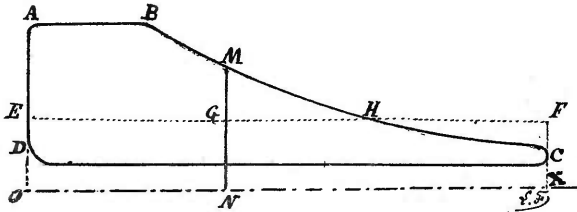


Fig. 65. — Diagramme relevé sur une machine à vapeur à détente.

Cette surface a pour expression le produit de la pression moyenne, multipliée par la distance de course OX. Ce que nous cherchons, c'est la pression moyenne. Pour cela, mesurons la surface ABCD en millimètres carrés. La méthode la plus exacte est obtenue avec le planimètre. Soit S cette surface ; en la divisant par l, distance OX, on a la pression moyenne en millimètres. En supposant que le coefficient de tarage du ressort de l'indicateur soit de 3 millimètres pour 1 kil. de pression par centimètre carré de surface, et que l'ordonnée moyenne soit de 18 millimètres, on aura comme pression moyenne $\frac{18}{3} = 6$ kil. La ligne OX ne représente qu'une

partie du chemin parcouru par le piston, puisqu'elle est réduite. Il faut multiplier cette distance par un certain coefficient. Mais il est plus simple de mesurer sur le moteur exactement cette course. Admettons le chiffre de 0 m. 395. On aura, en admettant une surface moyenne de piston de 314 centimètres carrés, un travail de $6 \times 314 \times 0,395 = 744,18$ kilogrammètres pour une face du piston, et pour deux formant une course entière 1488,36 kilogrammètres. En admettant une vitesse de 120 tours par minute, on aura une marche de 2 tours par seconde, le travail sera donc de $1488,36 \times 2 = 2976,72$ kilogrammètres. Et $\frac{2976,72}{75} = 39,68$ chevaux indiqués.

Il faut relever plusieurs diagrammes sur les deux faces du cylindre pour avoir une moyenne aussi exacte que possible.

Cas d'une machine à condenseur. — Dans le cas d'une machine à condenseur, la ligne atmosphérique serait en EF

(fig. 65), et la ligne du vide parfait en $O X$. La contre-pression est beaucoup diminuée.

Calcul du travail en chevaux indiqués sur les moteurs à gaz ou à pétrole. — Si nous prenons un moteur à quatre temps, à gaz ou à pétrole, nous voyons que les phases de l'inscription du diagramme du travail indiqués sont les suivantes (fig. 66) :

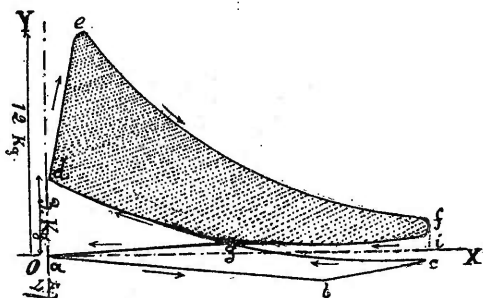


Fig. 66. — Diagramme d'un moteur à quatre temps.

La ligne atmosphérique étant en $O X$, le crayon inscripteur en a et le piston à fond de course, l'aspiration va se produire déterminant un vide dans lequel va pénétrer le gaz ; si la soupape d'admission est trop petite il y aura un vide ou dépression (la pression du cylindre est inférieure à la pression atmosphérique), le crayon tracera la ligne abc en dessous de $O X$. Le piston revient en arrière en comprimant le gaz, le crayon inscrit cette compression suivant cd .

A la troisième période, l'explosion se produit, et la pression atteint 12 kgr. par centimètre carré, par exemple ; le crayon monte de d en e . La détente du gaz se fait, elle est inscrite suivant ef ; puis l'échappement succède, la pression pour l'évacuation a une valeur if . Le crayon trace fa dans cette dernière période du cycle.

L'inscription d'un diagramme d'un moteur à quatre temps représente donc un 8 à boucles allongées. La valeur du travail moteur ne comprend que la surface $defg$; quant à la surface $abcg$, elle représente le travail nuisible dû à l'aspiration que l'on doit supprimer en donnant à la soupape d'admission une surface suffisante pour que le crayon suive la ligne atmosphérique $O K$.

La figure 67 donne un exemple de parfaite distribution d'un moteur à gaz, où la perte de travail à l'aspiration est complè-

tement supprimée, en calculant la surface *defg* au planimètre en millimètres carrés, qui, divisée par la longueur *ai* en millimètres, donne la pression moyenne, soit 15 millimètres.

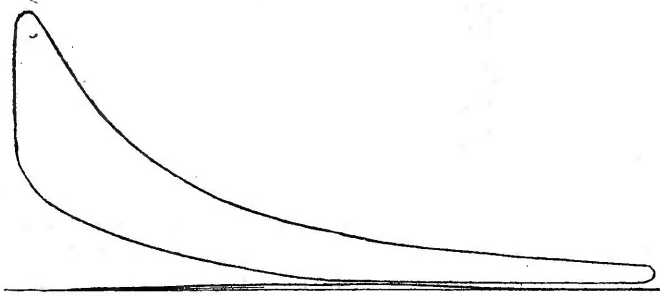


Fig. 67. — Diagramme relevé sur un moteur à quatre temps bien établi.

Si maintenant le coefficient de tarage du ressort est de 2 mm. 5 pour une pression de 1 mgr. par centimètre, on aura comme pression moyenne $\frac{15}{2,5} = 6$ mgr.

Le travail indiqué en chevaux pour une pression moyenne p_m et pour n explosions par minute sera :

$$T_i = \frac{S \times C \times p_m \times n}{75 \times 60}$$

On peut remarquer que cette formule renferme une constante $\frac{SC}{4500}$, que l'on peut calculer une fois pour toutes, quand on fait des essais à vide, ou en charge, etc.

En admettant une pression moyenne p_m de 6 mgr. par centimètre carré, un diamètre de piston de 0^m,432, une course C de 0^m,610, $n = 60$ explosions.

$$T_i = \frac{0,216 \times 0,216 \times 3,14 \times 0,610 \times 6 \times 60}{75 \times 60} = 72 \text{ chevaux-va-}$$

peur.

Planimètre d'Amsler. On arrive rapidement à trouver la surface de nombreux diagrammes qu'on est obligé de relever dans les essais d'une machine thermique, en employant le planimètre. Le système le plus simple est celui d'Amsler, représenté par la figure 68. Il se compose de deux branches, dont l'une J est articulée à un bâti coulissant sur la première, et terminée par une pointe fixe E , recevant une masse pesante. Le bâti s'avance sur la tige mobile, pour le réglage,

par une vis M. En dessous, se trouve un axe de rotation, muni d'une roulette portant des divisions et en regard de celle-ci un vernier fixe. La surface est enregistrée par un plateau gradué G, recevant son mouvement par une vis sans

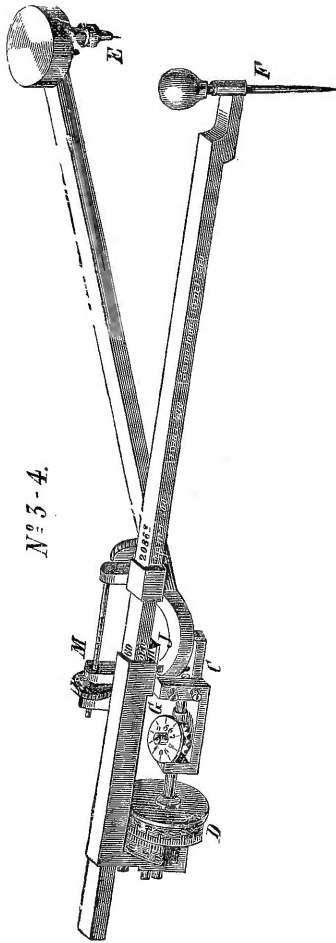


Fig. 68. — Planimètre d'Amsler (Cabasson, Paris).

fin, calée en dessous. Pour planimétrer, on commence par fixer la feuille du diagramme sur une planchette ; puis, la pointe E est enfoncée au-dessus de la feuille et à peu près au milieu de sa longueur. Avec la pointe mobile F, on suit le contour de la surface inscrite en marchant comme les aiguilles d'une montre.

Détermination du travail effectif à l'arbre de couche d'un moteur thermique. — Rendement organique. — Nous avons dit que tout le travail développé au cylindre d'une machine thermique ne pouvait être recueilli à l'arbre de couche, les frottements dus au mécanisme absorbent une certaine quantité de kilogrammètres. Le *travail utile* ou *effectif* T_e est souvent le plus intéressant à connaître dans une machine. Pour mesurer ce nouveau travail, on se sert de *freins*, dont nous avons donné la théorie dans la première partie de notre ouvrage (1). Dans les essais au frein, on ne doit pas perdre de vue que le moteur doit rester à une vitesse de régime déterminée, et qu'enfin il faut lubrifier constamment la jante de la poulie avec de l'eau de savon ou avec des graisses, pour éviter l'échauffement des pièces. Il existe aujourd'hui une foule de freins, nous en décrirons quelques-uns, avec les formules qu'il faut employer.

DES FREINS

Frein de Prony. — Ce frein est le plus ancien, il a été construit, vers 1821, par Prony, ingénieur des mines en France. Il se compose d'un levier en bois KK (fig. 69) de 2 m.

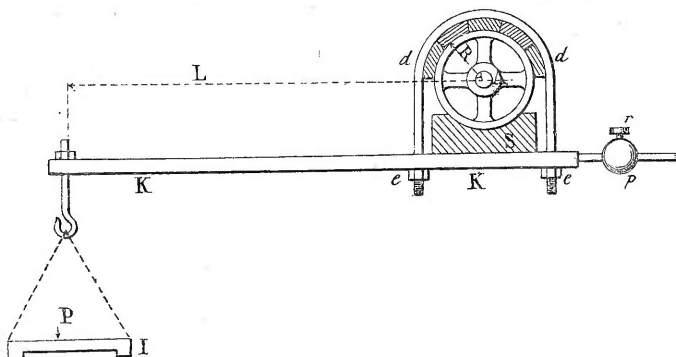


Fig. 69.— Frein de Prony.

à 2 m. 50 de long, portant à l'une de ses extrémités une bride en fer dd , munie de petits sabots de bois, s'appliquant sur la poulie A . Les bouts de la bride sont filetés et reçoivent des

(1) *Nouveau Traité de mécanique agricole*, 1^{er} fascicule. Prix, 2 fr. 25. C. Coulet et fils, à Montpellier.

écrous à oreilles *ee* servant au serrage. Un autre sabot de bois *S* vient embrasser la partie inférieure de la poulie *A*. L'une des extrémités du levier *K* porte une tige de fer, sur laquelle glisse un contre-poids en fonte *p*, que l'on rend fixe au moyen de la vis *r*. Cette masse pesante sert à équilibrer le frein, après sa pose sur la poulie *A*, sans que les écrous soient serrés. L'autre extrémité est munie d'un plateau *I*, sur lequel on place des poids marqués *P*, servant à peser le frottement.

En admettant que le frein soit posé sur la jante du moteur à essayer et que son poids ait été équilibré par *p*, on met en marche progressivement pour atteindre le maximum de puissance, tout en serrant les écrous et en plaçant des poids dans le plateau *I*. On opère ainsi jusqu'à ce que le moteur ait pris sa vitesse normale; l'essai doit se poursuivre plusieurs heures pour avoir exactement le poids moyen *P*.

La puissance effective en chevaux-vapeur se déduit de la formule

$$Te = \frac{P \cdot 2 \pi \cdot L \cdot n}{60 \times 75} \quad (a).$$

dans laquelle *P* est le poids ajouté au plateau, soit 25 kil.; *L*, longueur du bras de levier compté à partir de l'axe de rotation au centre de gravité du point de suspension du plateau, soit 2 mètres; *n* nombre de tours par minute, soit 144.

On aura $Te = \frac{25 \times 2 \times 3.1416 \times 2 \times 144}{60 \times 75} = 10,05$ chevaux effectifs.

Dans la formule (a), on peut remarquer que $\frac{2 \pi \cdot L}{60 \times 75}$ est un facteur constant.

Le système de frein de Prony que nous venons de décrire

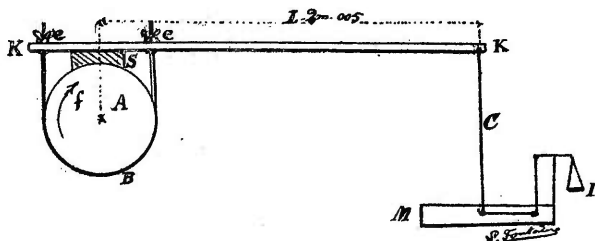


Fig. 70. — Frein de Prony avec levier en dessus.

est dit *frein à levier en dessous*, parce que l'on peut l'employer renversé, on a alors le *frein à levier en dessus*. Nous devons nous arrêter sur les particularités que présente son emploi.

La figure 70 indique la méthode dont on se sert couramment; la poulie est en A, entourée par la bride B et le sabot S. Le levier K K est placé en dessus et appuie par une béquille C sur le plateau d'une bascule I. Lorsque le frein est posé sur la jante de la poulie A, il faut faire la tare ou pression que le levier K K exerce sur le plateau de la bascule, soit p ce poids. Si l'on met en marche et que la rotation se fasse suivant f , pour maintenir l'équilibre il faudra ajouter d'autres poids, soit en tout P La charge effective du frein sera égale à $P-p$, c'est elle seule qui devra entrer dans les calculs de la formule

$$Te = \frac{P \cdot 2\pi \cdot L \cdot n}{60 \times 75}$$

Exemple. — Soit à calculer le travail fourni par un moteur faisant 143 tours par minute, la longueur du levier du frein est de 2 m. 005, sa tare de 5 kil. 5, le poids total P étant de 50 kilogrammes ?

Réponse. — On devra trouver 17,81 chevaux effectifs.

Frein à cordes. — Sur la jante de la poulie A (fig. 71) on place une corde e , dont une extrémité porte un dynamomètre à ressort p et attaché à un point fixe T; l'autre extrémité est libre et porte les poids marqués P.

La formule à employer est la suivante :

$$Te = \frac{P \cdot 2\pi \cdot R \cdot n}{60 \times 75}$$

La charge nette du frein à faire intervenir dans cette formule est égale à P, soit 30 kil., moins la pression p indiquée par le dynamomètre, soit 4 kil. D'où charge nette = $P-p = 30-4 = 26$.

Le rayon moyen R est égal au rayon de la poulie augmenté de la demi-épaisseur de la corde e . Il faut aussi refroidir la jante de la poulie par de l'eau savonneuse.

On peut entourer complètement la jante, alors le dynamomètre est placé au-dessus du moteur en p'

Frein Ringelmann. — M. Ringelmann a été amené, comme il le dit dans son rapport sur le concours spécial de moteurs

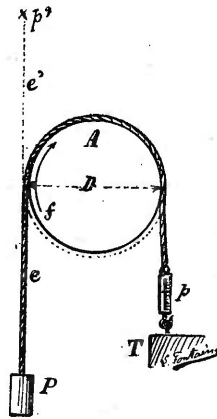


Fig. 71. — Frein à cordes.

à pétrole de Meaux, à inventer un frein à réglage automatique, sans faire varier le poids ou l'effort tangentiel, en faisant déplacer le frein lui-même sous l'influence des variations de travail que fournit le moteur.

En principe, ce frein se compose (fig. 72) d'un feillard en

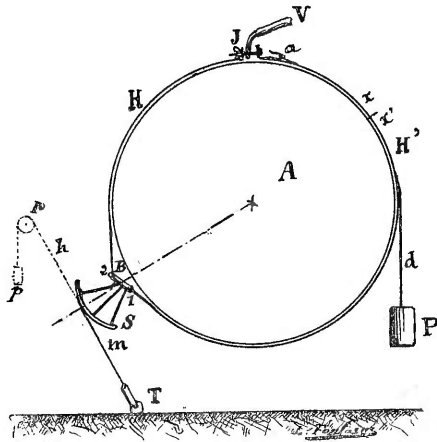


Fig. 72. — Frein Ringelmann.

deux pièces HH' , réunies par une vis J , permettant de l'appliquer sur des volants de différents diamètres. En B , se trouve une entretoise munie d'un secteur oscillant S , aux extrémités duquel sont attachées deux cordes. L'une h passe sur une poulie de renvoi r et soutient un poids quelconque p ; l'autre m est rattachée à un treuil T . Le ruban du frein porte en a un crochet et une corde d , à laquelle on suspend des poids marqués P

Pour poser le frein sur la jante d'une poulie quelconque, on commence par régler la longueur du ruban avec la vis J , puis on amène sur le prolongement l'une de l'autre les cordes h et m au moyen du treuil T . On met en marche et on accroche à d des poids suffisants pour que la vitesse de rotation se maintienne au régime normal du moteur, soit 250 tours par minute, par exemple.

Voici maintenant le rôle du secteur. Quand l'explosion se produit à la troisième période, la vitesse tend à augmenter brusquement et le poids P va être entraîné ainsi que le ruban vers x ; mais S se rapproche de la jante et allonge le frein, le tout revient à sa position primitive. Si la vitesse

diminue, le poids P tend à faire descendre l'ensemble vers x' , mais alors 1 se rapproche de la jante, augmentant le frottement qui remonte le poids P. Un courant d'eau de savon continu arrive par un tuyau V. La formule à employer pour déterminer le travail effectif est : $T_e = \frac{P \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot n}{60 \times 75} = X$ chevaux-vapeur.

Appareils accessoires pour les essais. — Il faut un chronomètre pour déterminer exactement la durée du temps de l'essai, puis un compteur de tours. On détermine ainsi la vitesse par minute. Les compteurs sont très variables comme forme ; la plus simple est donnée par la figure 73. Ce compteur à main consiste en un axe terminé par une pointe que l'on place dans la cavité pratiquée à l'extrémité des portées, il est muni d'une vis sans fin qui commande un plateau inférieur où se lisent les dizaines. Ce dernier fait avancer un deuxième plateau qui enregistre les centaines. Deux aiguilles fixes servent au repérage des zéros.

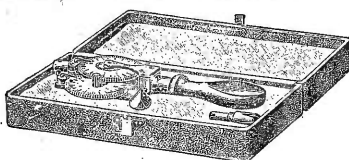


Fig. 73.— Compteur de tours dans sa pochette.

L'appareil est maintenu à la main par une poignée. On emploie également beaucoup les compteurs de tours totaliseurs, les trachymètres et les cinémomètres ; ces derniers appareils servent à vérifier les variations de vitesse dans les machines.

Rendement organique. — C'est le rendement du mécanisme donné par le rapport du travail effectif au travail indiqué. Ou

$$\frac{T_e}{T_i} = \text{Rendement organique.}$$

Pour nous résumer, nous donnons comme exemple le tableau d'un essai de moteur à gaz Crossley, fait par M. A. Witz. Un frein à cordes a servi, la circonférence moyenne des volants était de 5 m. 5815, corde comprise ; le gaz avait un pouvoir calorifique de 5011 calories au mètre cube. Le lecteur trouvera les autres éléments des calculs dans le tableau ci-après qui ont servi à la détermination des rendements.

Essai d'un moteur pour une force et une dépense de combustible données. — Souvent, on achète un moteur thermique dont on spécifie dans l'achat la puissance disponible à l'arbre de couche et la dépense minimum de combustible par cheval-heure effectif. C'est ainsi qu'on opère dans les industries, et

NUMERO DE L'ESSAI	CONDITIONS de l'essai	DURÉE	VITESSE MOYENNE	CHARGE π AU FREIN	TRAVAIL EFFECTIF	NOMBRE d'explosions n	PRESSION MOYENNE pm	TRAVAIL INDICUÉ	RENDIMENT organique	PRESSION atmosphérique	TEMPÉRATURE du compleur	PUISSANCE calorifique du gaz	GAZ CONSOMMÉ dans l'essai	CONSOMMATION par heure	CONSOMMATION réduite à 0 et 760	CONSOMMATION par cheval-heure indiqué	CONSOMMATION par cheval-heure effectif	CONSOMMATION par cheval-heure effectif	CONSOMMATION par cheval-heure effectif	
1	A vide	45 min.	168,8		"	15	4,77	7,42		759,4	24°	5024	1448	5672	5210	704				
2	Avec transmission	30	160,0		"	20	5,52	11,50	"	757,0	—	5011	3385	6770	6198	539				
3	Au frein	15	142,8	163kg6	28,98	71,4	4,78	35,43	0 820	759,4	—	5024	5042	20170	18526	523				
4	—	20	152,5	189 1	35,77	70,0	5,69	44,35	0 865	757,0	—	5011	8198	24594	22472	543				
5	—	20	161,3	181 1	36,23	74,5	5,31	44,09	0 880	759,4	—	5024	8173	24519	22522	548				
6	—	25	163,36	187 8	38,05	73,0	5,45	43,00	0 884	757,0	—	5011	10554	25330	23190	539				
7	En éclairage	3 h.	150,68	"	28,54	75,3	4,45	34,81	0 820	757,0	—	5011	60660	20220	18511	532				

aujourd'hui la plupart de nos grands constructeurs français livrent leurs machines après un essai au frein devant l'acheteur.

Si la puissance et le nombre de tours n sont déterminés, voici comment on doit opérer.

1° *Quand le frein est à levier en dessous, on aura :*

$$T_e = \frac{P \cdot 2\pi \cdot L \cdot n}{60 \times 75} \quad (1)$$

D'où $P = \frac{T_e \times 60 \times 75}{2\pi \times L \times n} = x$ kilogrammes à placer sur le plateau du levier.

2° *Quand le frein est à levier en dessus, on aura :*

$$T_e = \frac{P + p \times 2\pi \cdot L \cdot n}{60 \times 75} \quad (2)$$

D'où $P + p = \frac{T_e \times 60 \times 75}{2\pi \times L \times n} = x$ kilogrammes.

P est le poids net, p le poids de l'équilibre du frein.

3° *Quand le frein est à corde ou autre sans levier, on aura :*

$$T_e = \frac{P \cdot 2\pi \cdot R \cdot n}{60 \times 75} \quad (3)$$

D'où $P = \frac{T_e \times 60 \times 75}{2\pi \times R \times n}$.

Application du deuxième cas. — Soit à essayer un moteur de 60 chevaux, avec un levier en dessus de 2^m,005 de longueur de l'axe de rotation au point de suspension, l'équilibre demande 16 k. 50, la rotation doit être de 146 tours par minute : quel poids total doit-on mettre dans le plateau ?

On a en appliquant la formule (2) :

$$60 = \frac{2 \times 3,1416 \times 2,005 \times x \times 146}{60 \times 75} = 0,001396 \times 146 \times 2,005 \times x.$$

D'où

$$x = \frac{60}{0,001396 \times 146 \times 2,005} = 146^k84$$

auxquels il faut ajouter le poids équilibrant

le frein, soit. 16^k50

Total 163^k34

Durant la réception d'une machine, il faudra noter la régularité de la marche en employant un compteur de tours, le poids du combustible dépensé par cheval-heure effectif, etc.

Nous donnons, pour terminer, un tableau de comparaison des rendements des machines thermiques, publié par M. Witz.

MACHINES	LIMITES DE TEMPÉRATURE		RENDEMENT théorique $\rho = 1 - \frac{T_2}{T_1}$	RENDEMENT calculé $\rho' = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$	RENDEMENT générique $\rho_1 = \frac{\rho'}{\rho}$	RENDEMENT réel ρ''	$\rho_2 = \frac{\rho''}{\rho'}$
	supérieure T_1	inférieure T_2					
A vapeur (à condensation).	437	288°	0,344	0,277	0,812	0,162	0,584
Stirling avec régénérateur.....	616	288	0,532	0,532	1	0,440	0,171
Ericsson (avec régénérateur).....	553	288	0,479	0,479	1	0,300	0,620
Joule (Bucket)......	573	288	0,497	0,291	0,590	0,400 (pertes du foyer comprises)	0,343
A explosion.....	1885	288	0,850	0,380	0,450	0,200 (pertes du foyer comprises)	0,526
A combustion.....	1485	288	0,800	0,230	0,300	"	"

à gaz
lophants

TABLE DES MATIÈRES

MOTEURS A GAZ

	Pages
Division des moteurs à gaz.....	1
Moteurs à air chaud	
Historique des moteurs à air chaud.....	1
Principe de la puissance motrice d'un moteur à air chaud.....	2
Cycles des moteurs à air chaud.....	2
Moteur Bénier.....	3
Moteurs à gaz tonnants	
Principe des moteurs à gaz tonnants.....	5
Cycles employés dans les moteurs à gaz tonnants.....	6
Moteurs fonctionnant sans compression préalable.....	6
Moteurs à deux temps.....	7
Cycle à quatre temps de Beau de Rochas.....	7
Moteurs à gaz d'éclairage	
Historique des moteurs à gaz d'éclairage.....	8
Gaz d'éclairage.....	9
Moteurs Otto.....	9
Moteur Charron.....	14
Applications du moteur à gaz d'éclairage.....	18
Moteurs à gaz pauvre	
Historique des moteurs à gaz pauvre.....	19
Principe de la fabrication du gaz pauvre.....	19
Combustibles pour le gaz pauvre.....	20
Gazogène Pierson.....	20
Moteurs à gaz Crossley.....	22
Gazogène Fichet et Heurtey.....	25
Gazogène Buire-Lencachez.....	28
Gazogène Bénier.....	28
Moteur-gazogène Bénier.....	30
Self-Starter.....	31
Antifluctuateurs.....	32

MOTEURS A PÉTROLE

Historique des moteurs à pétrole.....	33
Pétroles.....	34
Raffinage du pétrole brut.....	35
Flashing point et Burning point.....	36
Pouvoir calorifique du pétrole et quantité d'air nécessaire à sa combustion.....	36
Air carburé.....	37
Carburateurs, leur classification.....	37
Carburateurs à gazoline, à essence de pétrole et à pétrole lourd...	37
Gazificateurs ou vaporisateurs à pétroles lampants.....	38
Cycle des moteurs à pétrole.....	38
Force motrice du pétrole.....	40
Principe d'un moteur à pétrole.....	41
Inflaminateurs.....	42
Inflammation par l'étincelle électrique.....	42
Inflammation par tube incandescent.....	44
Ratés, régulateurs et refroidissement du cylindre.....	45
Graissage du cylindre.....	46
Nettoyages et entretien.....	46
Classification des moteurs à pétrole.....	46

MOTEURS A CARBURATEUR

Moteurs à essence de pétrole

Moteurs Brouhot.....	47
Moteur Daimler.....	54

Moteurs à pétrole lampant

Moteurs Brouhot.....	57
----------------------	----

MOTEURS SANS CARBURATEUR

Moteurs Grob.....	59
Moteurs Merlin.....	62
Moteurs Niel.....	67
Moteurs Hornsby.....	71
Moteur Otto.....	73

Installations et applications du moteur à pétrole en agriculture

Prix de revient du cheval-heure dans un moteur à pétrole... ..	75
Choix du type de moteur à adopter.....	75
Installation d'un moteur à pétrole dans une salle spéciale.....	76
Vitesse de rotation des différents moteurs à pétrole.....	79
Prix des moteurs à pétrole.....	79
Installation d'un moteur à pétrole dans la salle des machines....	80
Applications du moteur à pétrole pour la commande des dynamos	81

LOCOMOBILES A PÉTROLE

Utilité du transport des moteurs à pétrole.....	81
Moteur locomobile Brouhot.....	81
Moteurs locomobiles Merlin.....	81
Moteur locomobile Grob.....	82
Batteuse à pétrole Niel.....	83
Cultivateurs automobiles à pétrole.....	86
Emploi de l'alcool comme combustible.....	87

Essais des moteurs thermiques

THERMODYNAMIQUE

Définition de la thermodynamique.....	88
Véhicules de la chaleur.....	88
Combustibles.....	88
Unités calorifiques.....	88
Évaluation des calories absorbées par une quantité d'eau chauffée.....	89
Équivalent mécanique de la chaleur.....	89
Calorimétrie et pouvoir calorifique des combustibles.....	89
Pouvoir calorifique des divers combustibles.....	90
Consommation de combustible par les différents moteurs.....	91

Utilisation de la chaleur par les moteurs thermiques

Cycle idéal des machines thermiques. — Cycle de Carnot.....	91
Rendement théorique du cycle idéal.....	92
Rendement théorique et rendement générique d'un cycle quelconque.....	93
Rendement pratique.....	93
Rendement organique.....	93

Essais des machines thermiques

Rendement pratique.....	94
Essai d'une machine à vapeur.....	94
Essai d'un moteur à pétrole.....	96
Essai d'un moteur à gaz.....	97
Détermination du travail indiqué au cylindre.....	97
Indicateur Richard.....	98
Calcul de la pression moyenne d'un diagramme relevé sur une machine à vapeur à détente.....	98
Gas d'une machine à condenseur.....	99
Calcul du travail en chevaux indiqués sur les moteurs à gaz ou à pétrole.....	100
Planimètre d'Amsler.....	101
Détermination du travail effectif à l'arbre de couche d'un moteur thermique. — Rendement organique.....	103
Frein de Prony.....	103
Frein de Prony en dessus.....	104

Frein à cordes.....	105
Frein Ringelmann	105
Appareils accessoires pour les essais.....	107
Essai d'un moteur pour une force et une dépense de combustible données.....	107
Application.....	109
Tableau comparatif des rendements des machines thermiques d'après Witz.....	110

FIN DE LA TABLE

LES

MOTEURS A VENT EMPLOYÉS EN AGRICULTURE

NOUVEAU TRAITÉ DE MÉCANIQUE AGRICOLE

IV

LES
MOTEURS A VENT

EMPLOYÉS EN AGRICULTURE

PAR

L. FONTAINE

PROFESSEUR A L'ÉCOLE PRATIQUE D'AGRICULTURE DES FAURELLES

AVEC 57 FIGURES DANS LE TEXTE

MONTPELLIER
COULET ET FILS, ÉDITEURS
5, Grand'Rue, 5

—
PARIS
MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
120, boulevard Saint-Germain

—
1900

MOTEURS A VENT

Le déplacement des couches d'air produit une force naturelle absolument gratuite, que l'on peut utiliser à la production du travail au moyen de machines réceptrices appelées à l'origine *moulins à vent*, mais qu'il serait plus rationnel de désigner aujourd'hui du nom de *moteurs à vent*. Les anciens moulins à voile ne peuvent guère utiliser le vent à la mouture du grain qu'à une vitesse minimum de 5 à 7 mètres par seconde. De sorte qu'il ne faut compter que sur 100 à 120 jours de marche par an dans les régions du Centre de la France, et 150 jours dans les régions du Nord. En Hollande et sur les côtes de l'Allemagne du Nord, on peut marcher jusqu'à 200 jours par an.

Le grave inconvénient de cette force naturelle est donc d'être peu constante.

C'est principalement dans les plaines où les rivières font défaut et sur les points exposés à l'action du vent que ce moteur aura sa place marquée. Dans beaucoup de cas, le cultivateur devra mettre à contribution cette force gratuite, pour l'élévation des eaux, les dessèchements, les irrigations, etc. Grâce aux belles découvertes sur l'électricité, on peut aujourd'hui, en couplant le moulin avec une dynamo reliée à une

batterie d'accumulateurs, transformer le travail en électricité utilisable en éclairage. La première tentative faite dans ce sens fut celle du duc de Feltre, qui, en 1889, installa au cap de la Hève (Seine-Inférieure) un moulin destiné à utiliser la force motrice des grands vents régnants sur toute la côte pour la production de l'électricité. Un ouragan démonta l'installation et le projet fut abandonné. La question a été reprise en Amérique et en France, elle a été résolue d'une façon satisfaisante.

HISTORIQUE DES MOULINS A VENT

Le moulin à vent est d'origine orientale, son invention est attribuée aux Sarraïns. Il passa en Europe par le sud de la Russie, puis de là en Pologne et en Hongrie. Les croisés rapportèrent cette machine en France, vers le XI ou XII^e siècle; la Hollande et l'Angleterre l'utilisèrent dans la suite. Ces moulins étaient connus sous le nom de moulins turquois.

A l'origine, le moulin à vent ne servit, en France, qu'à la mouture des grains; les seigneurs jouirent du droit banal jusqu'à la Révolution.

Les Hollandais employèrent pendant plusieurs siècles beaucoup les moulins à vent pour le dessèchement de leurs marais, où ils servaient, comme on le dit en langage pittoresque, à « moudre la mer ». En 1844, il existait en Hollande 2.445 moulins à vent pour le dessèchement des marais, 61 étaient à vis, les autres étaient à roues à palettes. Ces chiffres indiquent suffisamment l'importance considérable que ces machines jouent pour disputer le territoire à la mer toujours envahissante.

En parcourant la France, on voit que ce sont les régions du Nord, de l'Ouest et du Sud-Ouest, qui ont le plus utilisé l'ancien moulin à vent; le Centre et l'Est ne l'ont jamais connu. La répartition s'est faite d'après le système hydrologique des régions; tandis que la Bretagne, le Maine, l'Anjou, la Vendée les Charentes, le Sud-Est sont pauvres en rivières, le Centre et l'Est sont au contraire parcourus par une foule de ruisseaux, où les nombreuses chutes d'eau ont permis l'établissement des roues hydrauliques. Il n'est donc pas étonnant de voir encore de nos jours les coteaux des landes de Bretagne, du Maine, de l'Anjou, de la Vendée, des Charentes, etc., ornés de leurs moulins à vent. Autrefois, presque tous les moulins à eau avaient un moulin à vent de secours, qui servait à moudre le grain au moment des sécheresses.

Aujourd'hui, beaucoup de ces vieux moulins à vent sont délaissés, les meuniers emploient la machine à vapeur lorsque l'eau fait défaut à la rivière.

La construction du moulin à vent resta primitive jusqu'à ce siècle. Les Hollandais apportèrent cependant un grand perfectionnement dans le mode d'orientation de leurs moulins. A l'arrière de l'arbre moteur et du côté opposé aux ailes, ils placèrent deux petits moulins dits *papillons*, qui, en tournant dans un plan perpendiculaire à la mâture du moulin, faisaient déplacer par un système d'engrenages la partie supérieure du toit. De cette façon, le vent venant à changer, les voiles restaient toujours perpendiculaires à son action.

Mais toutes ces installations n'étaient pas pratiques pour les utiliser en agriculture, l'amélioration de Berton dans le réglage des ailes ne servit qu'aux anciens moulins. Ce n'est que vers 1830 environ, qu'apparurent les moulins à réglage automatique ou *autorégulateurs*, prévenant ainsi les accidents occasionnés par les tempêtes. Les moulins à vent de Amédée Durand (1830), de Mahoudeau (1867), de Formis-Benoît, ont présenté des améliorations considérables sur les modèles précédents, mais remplacés aujourd'hui par des types américains très nombreux.

La construction actuelle des moulins à vent se caractérise par une voilure rigide, composée d'un grand nombre d'ailes ou aubes. Cette disposition a permis de réduire dans des proportions considérables les immenses voiles des anciens moulins, ainsi que le poids de l'ensemble. On a pu utiliser pour la marche les plus faibles vents, la puissance vive nécessaire à la mise en marche étant très faible, la vitesse de rotation a été accrue.

Un point non moins important dans la construction est l'emploi du fer et de l'acier en cornières ou en tubes. Le bâti est constitué par une charpente en forme de pylône à 4 ou 3 pieds (fig. 1), entretoisés, de façon à donner une grande rigidité. Le vent a peu de prise, il passe à travers le bâti. L'axe d'orientation dans les types bien construits est monté sur billes en acier, de façon à diminuer le frottement des coussinets.

Enfin, le moulin à vent moderne peut se régler automatiquement en direction et en intensité.

Amené à un tel état de perfection, le moulin à vent a pu être employé sur une grande échelle en Amérique, où on compte environ 50.000 de ces machines employées à l'élévation des eaux et à la mise en marche des concasseurs.

La France possède environ 7000 moulins à vent de toute

nature, dont beaucoup servent à la mouture des grains dans certaines régions. Les moulins à vent modernes sont surtout employés à l'élévation des eaux pour l'alimentation; certains villages des Charentes en possèdent de puissants. Il

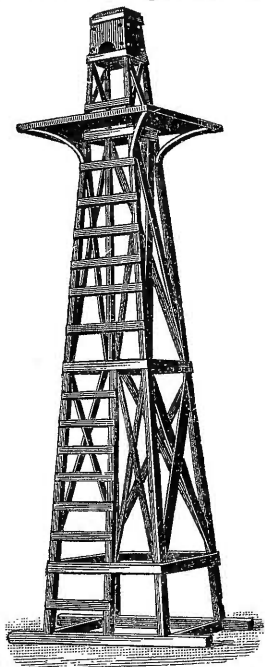


Fig. 1. — Pylône d'un moulin à vent moderne.

est donc certain que, dans beaucoup de cas, on pourrait irriguer des prairies, submerger des vignes, dessécher des marais, actionner des appareils d'intérieur, etc., avec le moulin à vent. Afin d'obvier à l'inconstance du vent, les ingénieurs américains ont proposé d'emmagasiner la puissance du vent sous forme d'électricité dans des accumulateurs, pour la récupérer ensuite en travail avec une dynamo réceptrice (électromoteur).

La captation des forces aériennes par les moulins à vent a donc une réelle importance, qui ne saurait échapper à notre agriculture.

Des vents en général. — Dans l'antiquité, les vents étaient considérés comme des exhalaisons souterraines, auxquelles certaines excavations donnaient issue. Selon la Mythologie, Eole, dieu des vents, habitait une île voisine de la Sicile, où il les tenait enfermés dans une caverné ou les mettait en liberté

selon son bon plaisir. L'impétueux et froid Borée, frère du doux Zéphire et père des Brises, était l'objet d'un culte particulier à Athènes pour avoir, dans la guerre avec les Perses, dispersé la flotte de Xerxès.

Les causes des vents sont bien connues aujourd'hui; ils sont dus à des variations de température dans les masses d'air, qui amènent des dilatations et des contractions: de là résultent les courants d'air. Les uns proviennent d'une impulsion, les autres d'une aspiration. Dans tous les cas, si ces vents rencontrent un obstacle mobile, ils lui communiquent une impulsion d'où naît le mouvement: c'est sur ce principe que sont basés les moulins à vent. La direction du vent est oblique de haut en bas, suivant un angle d'envi-

ron 15°; c'est pourquoi les constructeurs américains donnent souvent cet angle d'inclinaison à l'axe de la voilure.

Les vents sont désignés d'après leur direction; on en distingue huit principaux d'après les points de l'horizon d'où ils émanent. Chaque pays montre une variabilité considérable dans les vents qui soufflent durant l'année. Le tableau ci-dessous donne des indications générales.

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
France. . . .	46	50	30	26	45	70	55	43
Russie.	33	65	28	40	30	48	56	65
Angleterre. . .	31	42	35	30	42	75	60	50
Allemagne. . .	32	35	45	34	35	68	70	46
Danemark. . . .	25	38	39	46	36	68	58	55
Suède.	37	38	32	42	47	72	57	40
Etats-Unis . .	36	41	21	38	47	70	41	71

Pour ce qui est de la France, ce tableau ne s'applique que dans les régions NE., N. et O. Dans les autres, les proportions sont différentes, notamment pour le Midi, où le mistral, venant du NO., est le plus fréquent. Comme donnée générale, on estime qu'un moulin à vent marche 10 heures par 24 heures dans le Midi, et 6 heures dans le Centre et les environs de Paris.

Vitesse et puissance des vents. — L'air est un fluide gazeux qui, à l'écoulement, présente, comme les liquides, des vitesses très variables suivant les différentes couches de la masse. Les filets ont une vitesse variant constamment dans des limites très étendues, c'est là le grave inconvénient du vent comme moteur. D'après les hypothèses admises sur la résistance des fluides, le calcul montre que la pression exercée par ceux-ci est égale au carré de leur vitesse. Les expériences ont montré, en outre, que le travail transmis à un moulin à vent, pour une même surface utile, est proportionnel au cube de la vitesse du vent. Ces points sont très importants pour calculer la surface à donner aux ailes d'un moulin devant produire une moyenne de travail déterminée. Comme la vitesse du vent varie elle-même dans de très larges limites, le cube de ces différentes vitesses fera varier la puissance vive du moulin dans les mêmes proportions. Il est donc important d'assurer la régularisation de la surface de la roue soumise à l'action du vent, pour qu'elle produise, avec différentes intensités, un travail régulier, sans risquer d'être bri-

sée et emportée par les tempêtes. Les moulins actuels répondent à ces desiderata ; ils s'orientent automatiquement en intensité et en direction.

Un point très important à observer dans l'utilisation du vent est la hauteur d'installation du récepteur sur le pylône. En effet, en 1891, il a été exécuté, par les soins du Bureau météorologique de Paris, une série d'expériences destinées à déterminer la vitesse du vent à différentes hauteurs sur la tour Eiffel. Il a été observé qu'au sommet de la tour (à 300 m.), la vitesse du vent est 4 fois 1/2 celle à la hauteur de 20 mètres. Donc, pour avoir une plus grande puissance et une régularité de puissance, il faut installer le moulin à la plus grande hauteur possible: *Dans tous les cas, le pylône devra dépasser de 4 à 6 mètres le sommet des obstacles environnants* : arbres, habitations, etc.

Dans le tableau ci-dessous, nous réunissons les éléments de vitesse et de puissance des vents.

Tableau de la vitesse par seconde et de la pression des vents par mètre carré de voile

Vent sensible.	2 ^m	0 ^{k5}	Vent très fort.	15 ^m	28 ^k
— modéré.	4	2	— impétueux.	20	50
— frais.	6	5	Tempête.	27	90
— bon frais.	8	8	Grande tempête.	32	130
Forte brise.	10	12	Ouragan.	36	160
Grand frais.	12	18	Grand ouragan.	45	250

ANÉMOMÈTRES

Les anémomètres sont des appareils destinés à déterminer la vitesse du vent. Le plus ancien est le moulinet Robinson, constitué par quatre bras en fer, placés en croix et terminés par des hémisphères creuses (fig. 2). Le tout est enfilé sur un axe vertical et tourne horizontalement sous l'effet du vent. D'après Robinson, pour avoir la vitesse du vent par seconde, il faut multiplier le nombre de tours n par 3 et diviser le produit par le temps t , exprimé en secondes $v = \frac{n \times 3}{t}$

MM. Richard, constructeurs à Paris, ont adjoint à cet appareil un compteur qui donne directement la vitesse par simple lecture.

L'anémomètre portatif Richard, servant à faire des observations de peu de durée (fig. 3), est bien compris. Il se com-

pose d'une roue formée de huit ailes en aluminium, d'un poids très léger; elle tourne verticalement, son axe est muni d'une vis sans fin communiquant un mouvement de rotation à un arbre vertical, se rendant à un compteur à cadran. L'appareil

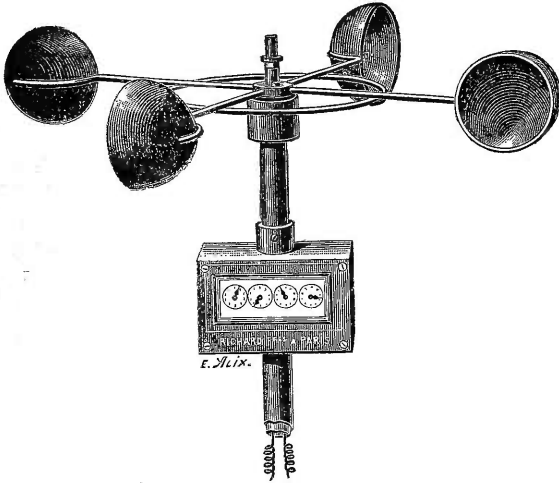


Fig. 2. — Moulinet Robinson.

est gradué, de façon que chaque tour de la roue corresponde à 1 mètre de vent, il est contrôlé au manège et subit les corrections nécessaires. La lecture en mètres parcourus se fait directement. L'appareil ne pèse que 150 gr., et comme les ailettes sont inclinées à 45°, il se met en marche au moindre vent et s'arrête de même, l'effet de l'inertie est combattu.

Pour faire une expérience, on place l'anémomètre déclanché, et bien orienté, dans le sens du courant d'air. On a soin de remettre à zéro les aiguilles du compteur, puis on note en même temps sur une montre à secondes le moment du départ. En pressant le bouton d'enclenchement A, l'appareil compteur tourne, on laisse ainsi fonctionner l'anémomètre pendant 10, 20, 30 à 60 secondes. On lit sur le cadran l'espace parcouru;

pour avoir la vitesse par seconde on emploie la formule $v = \frac{e}{t}$

Exemple : $e = 100$ mètres ; $t = 20$ secondes.

D'où, $v = \frac{100}{20} = 5$ mètres.

Pour faire des observations de longue durée, on est obligé d'employer des appareils enregistreurs, dont on trouve toute

une série chez MM. Richard. Dans ces appareils, l'inscription de l'espace parcouru se fait au moyen d'un courant électrique actionnant au moment de sa fermeture, par l'intermédiaire

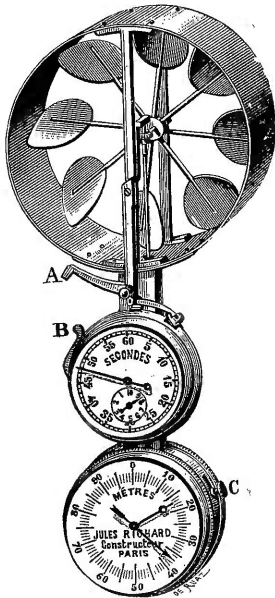


Fig. 3. — Anémomètre portatif Richard.

d'un électro-aimant, une plume traçant un trait sur un cylindre garni d'un papier. Les engrenages sont calculés de façon que lorsque le moulineta fait 10000 à 5000 tours, soit un myriamètre ou un demi-myriamètre de vent, la dernière roue, à l'aide d'un limaçon et d'une touche, établit le courant qui commande la plume d'inscription. Le temps est donné par un mouvement d'horlogerie. Si on a eu n contacts de 5000 mètres, et t le temps, la vitesse moyenne du vent sera :

$$v = \frac{n \times 5000}{t}$$

L'anémoscope est un appareil qui donne la direction des vents ; on a pu, en établissant autant de touches de contact que l'on veut, avoir le régime des vents d'une journée ou d'une semaine. En combinant l'anémomètre et l'anémoscope, on a obtenu l'anémomètre-anémoscope. La figure 4 montre

un de ces appareils construit pour les quatre points cardinaux : N. S. E. W. Avec les appareils dont nous venons de parler, pour avoir la vitesse moyenne du vent, il faut toujours faire un calcul. MM. Richard construisent un intégraphe, appelé *anémo-cinémographe*, qui opère mécaniquement les calculs de la vitesse moyenne $v = \frac{e}{t}$

Les appareils météorologiques précédents sont nécessaires aux stations où l'on veut faire des études suivies et précises sur le régime des vents, dans une région déterminée. Les organes enregistreurs peuvent être très éloignés de l'anémomètre, les indications sont transmises par une ligne électrique.

THÉORIE DE L'ACTION DU VENT SUR LES AILES OU AUBES D'UN MOULIN A VENT

Le vent en mouvement, comme nous l'avons vu, exerce une certaine pression quand il rencontre un obstacle. Si cette pression s'exerce perpendiculairement à une surface résis-

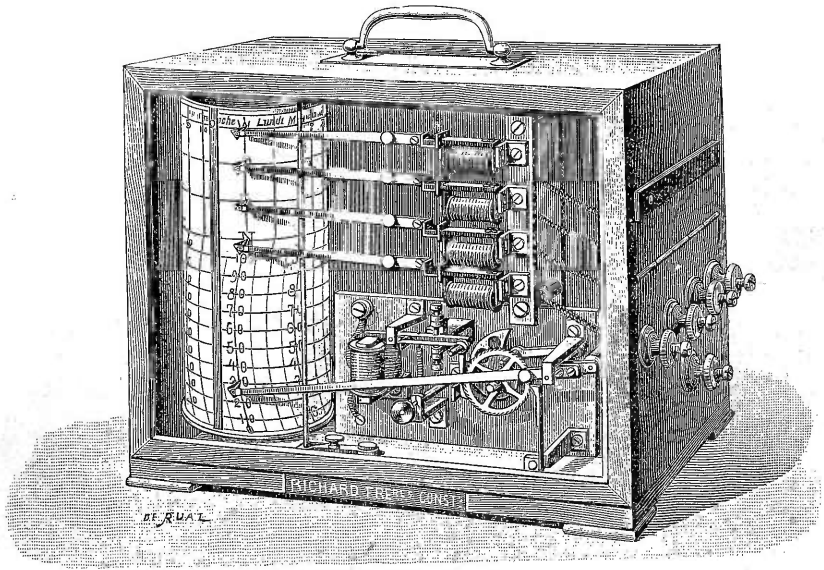


Fig. 4. — Anémomètre-anémoscope Richard.

tante, elle tend à la renverser sans lui imprimer de mouvement. Cette pression, pour des vitesses inférieures à 10 mètres par seconde, est donnée par la formule de Hutton.

Quand, au contraire, la surface est choquée suivant un certain angle, une partie de la pression tend à imprimer un mouvement de rotation à l'obstacle. C'est sur ce principe qu'est basée la théorie des roues de moulin à vent.

Soit en effet (fig. 5) les aubes planes AA' d'une roue dont le centre de rotation est en O , celles-ci sont inclinées par rapport au plan xy de la roue d'un certain angle α . La pression P' du vent vient frapper l'aube A , suivant un certain angle β , il y a choc. Cette force se décompose en deux ; l'une N , perpendiculaire au plan incliné de l'aube, l'autre F , parallèle

à cette aube. La force N tend à presser l'aube, elle est par conséquent détruite par suite de la résistance du plan ; la force F seule agit et tend à faire tourner l'aube suivant la direction H .

Les filets d'air tendent à s'échapper dans cette direction par le petit espace P , laissé entre deux aubes consécutives. Donc, en résumé, les aubes constituent une série de plans inclinés qui, pour utiliser le maximum de la pression P' , doivent faire

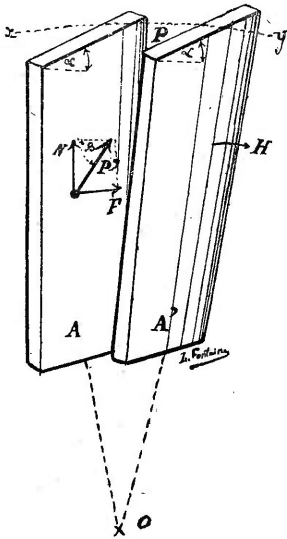


Fig. 5.— Théorie de l'action du vent sur une roue.

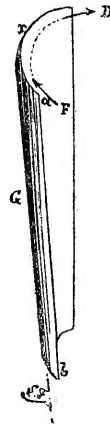


Fig. 6. — Aube courbe du moulin «l'Idéal» Piltier.

avec le plan de la roue un certain angle α . Théoriquement, ce plan ne doit pas être uniforme sur toute la longueur de l'aube.

On a cherché à diminuer la perte de puissance vive due au choc, en construisant des aubes courbes, comme dans la roue hydraulique de Poncelet. Dans les moulins américains, l'aube G (fig. 6) présente une courbure x ; le vent arrive suivant F et suit la courbure en abandonnant de sa vitesse, puis il s'échappe par D . Le rendement en travail est augmenté. Enfin, dans le moulin à vent de Lucet, les aubes ont une courbure parabolique.

Les aubes doivent avoir une surface gauche. — Pour que

le vent produise son maximum d'effet utile, l'aube réceptrice ne doit pas avoir une inclinaison constante, il faut qu'elle soit gauche.

En effet, prenons un élément d'aile AB (fig. 7), distant de l'axe de rotation d'une quantité r ; V est sa vitesse de translation; v celle du vent. Pour avoir la vitesse relative suivant laquelle agit le vent, transportons V en $-V$ suivant $F G'$, et cherchons la résultante de ces deux vitesses. La diagonale $F P$, construite sur v et $-V$, nous donne cette résultante, elle fait un angle α avec $F Y$. La valeur de cet angle est donnée par la relation suivante : $t g \alpha = \frac{V}{v}$. Car $V = -V$.

Or la vitesse d'entraînement $V = \omega r$ (1), d'où $t g \alpha = \frac{\omega}{v} \times r$.

Si nous prenions plusieurs éléments éloignés de $2r, 3r, 4r, nr$, de l'axe de rotation, nous voyons que l'axe α augmente constamment. Comme la vitesse v du vent ne change pas, et qu'au contraire la vitesse de translation v augmente du centre à l'extrémité de l'aile, pour maintenir l'effet maximum utile sur toute la surface de l'aile, il faut que l'angle α croisse du centre de rotation à l'extrémité de l'aile, autrement dit que l'aile diminue d'inclinaison du centre vers l'extrémité. On obtient ainsi une surface gauche dont le premier élément doit faire, avec le plan de l'axe de l'aile, un angle de 30° , et le dernier élément un angle de 10 à 12° seulement. D'a-

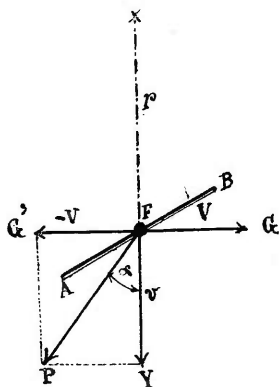


Fig. 7. — Théorie des aubes gauches.

près Smeaton, la meilleure disposition à donner aux ailes des vieux moulins est la suivante : on divise la longueur du bras en six parties égales ; les lattes implantées sur la longueur du bras devront faire respectivement avec son axe des angles de $70^\circ 1/2, 71^\circ, 74^\circ, 77^\circ 1/2, 83^\circ$.

Généralement, dans la construction actuelle, on donne aux

(1) ω désigne, en mécanique, la *vitesse angulaire*, ou l'espace parcouru par un mobile animé d'une vitesse de 1 mètre par seconde et distant de l'axe de rotation de 1 mètre.

aubes une forme régulière, inclinée sur le plan de la roue dans un angle de 25 à 45°.

Détermination du travail des moulins à vent. — La puissance d'un moulin à vent varie à chaque instant, le vent n'étant pas régulier.

Pression du vent. — La pression exercée par le vent sur un mètre carré de voile est donnée par la formule de Borda :

$$P = 0,11 d s^{1,4} v^2 \quad (a)$$

ou à peu près $P = ds \times 2 h. \quad (b)$

P pression en kilogrammes ; d poids du mètre cube de l'air en mouvement (1033 gr.) ; s , surface choquée en mètres carrés ; v , vitesse du vent en mètres par seconde, ou vitesse relative du choc de l'air contre le disque si l'un et l'autre sont en mouvement ; $h = \frac{v^2}{2g}$ hauteur génératrice de la vitesse v .

On peut voir dans la première formule que la pression croît dans un rapport plus grand que la surface choquée. Il résulte des expériences de Borda que trois plaques dont les surfaces étaient entre elles comme les nombres 1, 2,25 et 5,06, ont donné des pressions qui étaient entre elles comme les nombres 1, 2,44 et 5,97 ; valeurs croissant à peu près comme les puissances 1,1 des surfaces.

Exemple : Quelle est la pression exercée par un vent de 4 mètres par seconde sur une surface plane de 10 mètres carrés de surface ?

$$\text{Réponse : } P = \frac{1,293 \times 10 \times 2 \times 4 \times 4}{2 \times 9,808} = 21 \text{ kilogrammes.}$$

Quand le vent frappe sur une surface suivant un certain angle, comme c'est le cas dans les moulins à vent, la pression qu'il exerce sur cette surface, dans la direction de son mouvement, est donnée par la formule de Hutton :

$$P = 0,11 d s^{1,4} v^2 (\sin i)^{1,84} \cos i.$$

TRAVAIL. — Pour déterminer le travail moteur d'un moulin à vent, il faut se baser sur deux théorèmes de mécanique :

1° *Théorème des masses.* — La masse d'un corps est égale à son poids divisé par l'accélération :

$$M = \frac{P}{g} \quad (1)$$

2° *Théorème des puissances vives* (cas d'une force constante agissant sur un point qui part du repos). — La puissance vive

d'une masse est égale au produit de sa masse par le carré de sa vitesse divisé par 2. Ou,

$$TF = \frac{1}{2} M V^2. \quad (2)$$

Si maintenant nous appelons S la surface de voile pressée par le vent, v la vitesse du vent par seconde, le volume d'air agissant dans le même temps $V = S \times v$ (en mètres cubes).

Le poids d'un mètre cube d'air étant de 1 k. 293, on a comme poids d'air agissant par seconde sur le moteur :

$$P = 1,293 \times S \times v.$$

Si nous cherchons la masse de cette force constante en appliquant la formule (1), on a :

$$M = \frac{1,293 \times S v}{9,81}, \text{ ou, en simplifiant, on a :}$$

$$M = 0,132 S v.$$

Le travail ou puissance vive de cette masse sera donc, en employant la formule (2) :

$$TF = \frac{1,293 \times S v \times v^2}{2 \times 9,81}, \text{ ou } \frac{1,293 \times S v^3}{19,62}; \text{ enfin}$$

$TF = 0,066 S v^3$, formule qui donne le travail moteur reçu par seconde. On la désigne sous le nom de formule de Coulomb.

Tout ce travail n'est pas utilisé par le récepteur, on estime que les moulins perfectionnés rendent les 45, 50 à 57 o/o du travail moteur. On doit donc multiplier le résultat théorique précédent par l'un de ces coefficients k . Avec un rendement de 50 o/o, on obtient une formule employée couramment :

$$TF = 0,50 \times 0,066 S v^3 = 0,033 S v^3$$

Si la voilure n'était pas entière, qu'elle soit formée de quatre ailes, par exemple, comme dans les anciens moulins, il faudrait multiplier la surface d'une voile S pour avoir la surface totale pressée. On aurait alors la formule $TF = 0,066 \times 4 S v^3$.

Les moulins à vent se mettent en marche à différentes vitesses suivant le poids de la voilure ; les types modernes démarrent sous les plus faibles vents, depuis 0^m30, 0^m40, 4, 5, 6, 7 à 10 mètre par seconde. La vitesse de 7 mètres est la plus convenable ; au delà de 10 mètres par seconde, la marche devient dangereuse. Les moulins à voile des meuniers ne démarrent qu'à 5 mètres, à cause du grand poids de leur mécanisme.

Pour qu'un moulin à vent rende son maximum d'effet utile, il faut que la vitesse à la périphérie de la voiture soit environ les 8/3 de celle du vent (d'après Smeaton).

Problèmes sur les moulins à vent

1^{er} *Problème.* — Quel est le travail moteur TF, fourni par un vent de 7 mètres par seconde sur la roue d'un moulin à vent mesurant 21^m240 de surface réceptrice? Quel est en outre le travail utile Tu, sachant que le moulin a un rendement de 45 o/o?

Réponse. — $TF = 0,066 \times 21,40 \times 7 \times 7 \times 7 = 442,08$ kilogrammètres.

En chevaux $TF = \frac{442,08}{75} = 5,893$ chevaux-vapeur.

Le travail utile $Tu = 5,893 \times 0,45 = 2,651$ chevaux-vapeur.

2^e *Problème.* — Calculer la surface d'une roue motrice de moulin à vent perfectionné, devant développer 500 kilogrammètres (6,66 chv.) de travail utile Tu, par seconde; sachant que le vent a une vitesse de 8 mètres par seconde et que le rendement est de 50 o/o?

Réponse. — En employant la formule $Tu = k \times 0,066 \times S \times v^3$ on a :

$$S = \frac{Tu}{k \times 0,066 \times v^3}$$

En remplaçant les lettres par leur valeur, il vient :

$$S = \frac{500}{0,50 \times 0,066 \times 8 \times 8 \times 8} = 29^{\text{m}2},60.$$

Diamètre de la roue = 6^m14.

3^e *Problème.* — Combien un moulin à vent recevant théoriquement 50 kgm par seconde peut-il élever de litres d'eau par minute à 6^m50 de hauteur, sachant qu'il a un rendement de 50 o/o et la pompe 55 o/o?

Réponse. — Travail utilisable par seconde à l'élévation de l'eau $50 \times 0,50 \times 0,55 = 13,75$ kgm.

Pour élever un litre d'eau par seconde à 6^m50 de haut, il faut dépenser 6,50 kilogrammètres.

Quantité d'eau élevée par seconde $\frac{13,75}{6,50} = 2$ litres 115.

Quantité d'eau élevée par minute $2,115 \times 60 = 126$ lit. 9.

Classification des moulins à vent

L'antique moulin à vent de nos pères a subi durant ce siècle des modifications profondes, qui ont donné naissance à plu-

siieurs types, que nous rangerons en trois classes : 1° *Moulins à ailes* ; 2° *Moulins à roue* ; 3° *Turbines atmosphériques*. On peut subdiviser ces classes en genres suivant le réglage de la direction et de l'intensité de l'appareil moteur. Nous aurons alors le tableau synoptique suivant :

A. — Moulins à ailes	1° Ne se règlent ni en intensité, ni en direction en marche (anciens moulins). 2° Se règlent seulement en intensité en marche (Berton). 3° Se règlent en intensité et en direction en marche (Dellon).
B. — Moulins à roue	Se règlent en intensité et en direction en marche, au moyen d'un gouvernail («Eclipse», Halladay).
C. — Turbines atmosphériques	Se règlent en intensité et en direction en marche, au moyen d'un gouvernail (Bollée, Rollason).

Tous les moulins qui se règlent en intensité et en direction, suivant la direction des vents, sont dits autorégulateurs.

ÉTUDE DES DIFFÉRENTS MOULINS A VENT

1^{re} classe

MOULINS A AILES

1° **Moulin à vent ancien.** — Les moulins que l'on rencontre encore dans certaines régions de la France sont établis d'après les principes des anciens moulins d'Orient. Ils ont été employés de temps immémorial à la mouture des grains.

On distingue deux types bien caractérisés dans ces moulins : 1° ceux chez lesquels le bâtiment tout entier est mobile autour d'un axe ; 2° ceux chez lesquels la toiture seule est mobile.

La figure 8 montre dans son ensemble le premier genre de moulin, encore employé aux environs de Paris. En A, se trouve la petite maisonnette où est établie la meule, l'ensemble est mobile sur un axe *p*, terminant une charpente D, reposant sur des piliers en maçonnerie E. La voilure est en M, et s'oriente perpendiculairement au vent en faisant tourner l'ensemble du bâtiment au moyen d'une queue B. On accède dans l'intérieur du moulin par un escalier C.

Le deuxième type est beaucoup plus répandu que le précédent. La figure 9 montre la coupe verticale d'un moulin des Charentes.

Le bâtiment est constitué par une tour circulaire terminée par une toiture conique mobile, et dont la charpente doit supporter le mécanisme moteur.

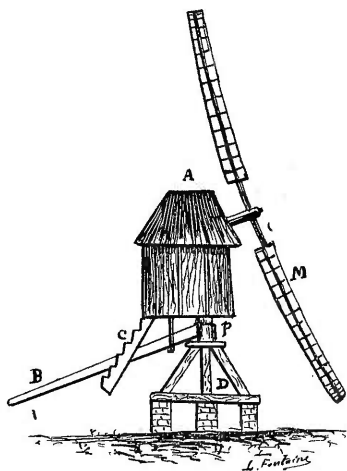


Fig. 8.— Moulin mobile sur un axe.

La hauteur totale de l'édifice est de 16 à 17 mètres. L'arbre moteur A B, en bois, est incliné de 10, 12 à 15° sur l'horizon (1) et a 0^m50 d'équarrissage. L'une de ses extrémités porte un pivot venant s'appuyer sur une crapaudine *d*; l'autre extrémité sert à supporter la voilure. Celle-ci est formée de 4 ailes fixées en croix, dont le diamètre a environ 20 mètres. L'axe d'une aile est constitué par un bras en bois appelé *volant*, de 10^m de long et de 0^m30 d'équarrissage à la base, il a une courbure spéciale. Dans ce bras sont implantées des lattes en bois de 2^m40 de long et espacées de 0^m40, l'ensemble forme une échelle à surface gauche. Pour le travail, on fixe une toile avec 8 ficelles.

Sur l'arbre A B est calée une roue à alluchons M, en bois, qui commande une lanterne N également en bois fixée à l'extrémité de l'arbre *p*, faisant tourner une meule courante H. La mouture obtenue descend dans une goulotte *e*, et arrive à la trémie G. Ces moulins n'ont pas de bluterie. Un foyer Z creusé dans le mur et surmonté d'une cheminée, venant sortir à mi-hauteur du moulin, permet de faire du feu. Un escalier en spirale, formé de petites poutres en bois, implantées dans le mur et faisant saillie, permet l'ascension à l'intérieur.

La transmission mécanique est donc très primitive, beau-

(1) De temps immémorial on a incliné l'arbre moteur chez les anciens moulins, non pas pour mieux utiliser la puissance vive du vent, mais plutôt pour réagir sur le poids de la partie tournante et diminuer l'usure sur le collier frottant.

coup de travail est absorbé par le frottement. Pour la marche, la voilure utilise le vent aux vitesses de 5 à 8 mètres assez régulièrement, la meule dans ces conditions peut donner un

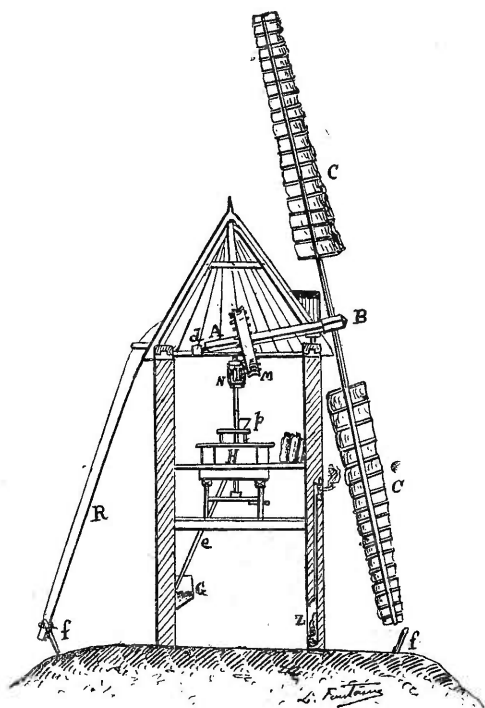


Fig. 9.— Ancien moulin à vent à toiture mobile pour l'orientation.

assez bon moulage, car elle tourne entre 80 et 100 tours par minute. Mais dès que le vent dépasse 8 mètres par seconde, il faut régler l'espacement des meules et diminuer la surface de voile, on les replie de façon à obtenir un triangle, le moulin se ralentit. Cette opération constitue le ferlage de la voilure.

Pour mettre la voile et orienter le moulin, on est obligé d'arrêter le mécanisme avec un frein. Celui-ci K (fig. 10) est en bois de saule, fixé en S au moyen d'une chaîne r, il vient se loger dans une gorge creusée sur la roue M; l'extrémité libre se réunit à un grand levier L, qu'on manœuvre à l'extérieur au moyen d'une tringle T. Les leviers L et T ont un

poids suffisant pour produire le frottement nécessaire à l'arrêt du moulin.

L'orientation des ailes s'obtient en faisant tourner la toiture sur une sorte de rail en bois, enduit de graisse, et couronnant le mur. Le déplacement s'opère au moyen d'une queue en bois R, que l'on tire avec un cabestan ; l'orientation obtenue, on attache R à un piquet *f*, planté en terre. Certains moulins de Bretagne ont leur toiture montée sur galets, roulant dans un rail creux circulaire.

Avec un vent de 7 mètres par seconde, ces moulins font environ 20 tours par minute, la roue M a 40 dents, N 8 dents, ce qui fait que la vitesse est multipliée 5 fois. L'extrémité de l'aile parcourt 17 m. 28 à 20 mètres par seconde, soit environ les $\frac{8}{3}$ de la vitesse d'un vent de

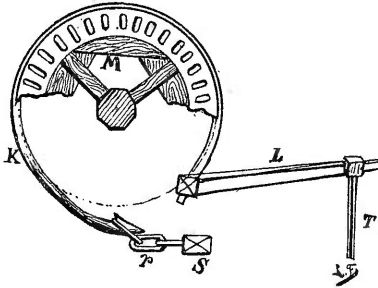


Fig. 10.— Frein des anciens moulins à vent.

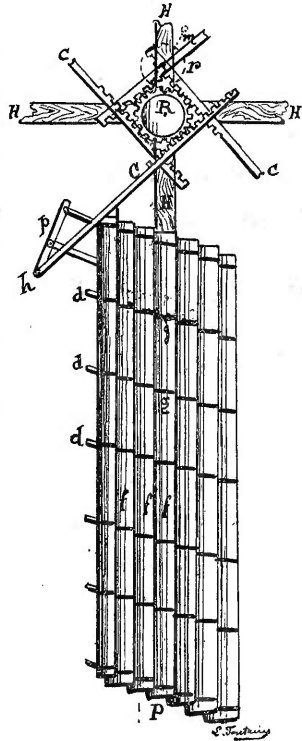


Fig. 11.— Modification Berton.

7 à 8 mètres. A vide, cette vitesse atteint le quadruple de celle du vent. Il faut estimer le travail journalier de ces moulins à 10 sacs de blé de 80 kilogr. simplement moulu.

On choisit, pour installer ces moulins, les hauteurs découvertes, on élève même un tertre de 2 mètres de haut, pour éviter le frottement de l'air contre le sol.

2° **Modification de Berton.** — M. Berton a apporté une grande modification dans les ailes des anciens moulins, elle a

été adoptée dans presque tous les moulins à farine de Bretagne. Ce système (fig. 11) se compose de 4 bras en bois H H H H, portant les ailes P, formées de planchettes en bois *fff*, inclinées, et disposées en jalousie. Ces planchettes sont fixées par articulation en *g*, sur des lattes en fer *ddd*. Dans ces conditions, l'aile peut se replier ou s'étendre, de façon à présenter une surface d'action variable suivant la vitesse du vent. Le mécanisme de réglage d'intensité se compose d'un pignon *r*, manœuvré par une manivelle *m*, de l'intérieur du toit du moulin, qui engrène avec une roue dentée R, laquelle commande quatre crémaillères C, venant s'articuler en *h* avec un levier *p*, relié à la première traverse *d*. En tournant dans le sens convenable, on donne plus ou moins d'obliquité aux pièces *dd*, la jalousie se ferme ou s'ouvre. Quand les barres *dd* sont parallèles aux bras C, les lames *fff* sont superposées et toute action du vent est supprimée.

L'inconvénient des ailes du système Berton est qu'elles présentent un plan uniforme au lieu d'être gauche. Le vent exerce peu ou pas d'action sur les extrémités des ailes, il s'ensuit une perte de travail assez sensible.

3^e Moulins à ailes. — Autorégulateurs. — Ces moulins constituent une grande amélioration sur les précédents, les ailes sont plus nombreuses et peuvent s'effacer sous l'action d'un vent trop puissant, de sorte que le moteur se règle de lui-même en intensité. L'orientation se fait aussi automatiquement, la partie supérieure du moulin pouvant tourner. Dans ce système, *le vent frappe toujours les ailes d'arrière.*

Système Durand. — Le système A. Durand apparut en 1830, il a été employé sur une assez grande échelle en France et à l'étranger, pour l'élévation des eaux. Nous en donnons le principe dans la figure 12. L'arbre moteur horizontal I est porté par deux paliers fixés sur la charpente M M, pouvant tourner au-dessus d'un pilier de soutien P. Le récepteur est formé de 6 voiles, fixées à l'extrémité de l'arbre moteur. Chacune de ces voiles comprend un bras F, solidement fixé à un tourteau L, auquel est réunie une vergue ou *antenne*, par une douille *x*, lui permettant de tourner. L'espace triangulaire est occupé par une voile en tôle Q. L'appareil de réglage de l'intensité est assez compliqué. A la vergue est fixée une chaîne ou *écoute e*, passant sur une poulie à gorge *r*, placée à l'extrémité d'un levier *d*, boulonné sur F, puis sur *r'*, *r''*, puis elle traverse un manchon H par une gorge, passe sur *r'''* et vient s'attacher à un contre-poids Q'. Celui-ci est plus ou moins descendu au

moyen d'un treuil D. Le manchon H tourne avec l'arbre moteur, mais les écoutes sont indépendantes de ce mouvement. Voici maintenant le principe du réglage. Le vent arrivant d'arrière suivant V, il tend à pousser la voile et à la mettre en parallèle avec sa direction ; mais le contre-poids Q' réagit

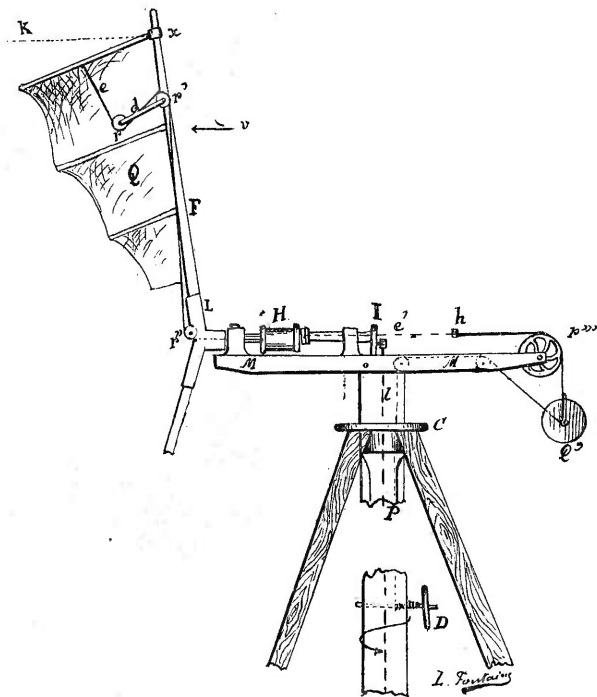


Fig. 12. — Moulin de Durand.

et la maintient en position par l'effet de la traction exercée par l'écoute *e*. On comprend facilement que plus on descendra Q', plus la voile offrira de surface utile. Si le vent devient très violent et exerce une pression plus grande que celle du contre-poids, l'aile s'efface momentanément en prenant la position K ; elle revient ensuite à sa position primitive lorsque la bourrasque a passé. Quant à l'orientation, elle se fait d'elle-même, grâce à la rotation de tout l'ensemble qui est monté sur le pivot P. Par les grandes tempêtes, le moulin Durand doit être désorienté à la main.

Moulin de Formis-Benoit. — Ce moulin à voile ressemble

beaucoup au précédent, nous nous contentons d'en expliquer le principe dans la figure 13. Le bâti est constitué par quatre montants en bois ou en fer *aaa*, formant pylône sur lequel est montée une fourche *M*, supportant tout le mécanisme. L'arbre moteur horizontal *RR* est creux sur une partie de

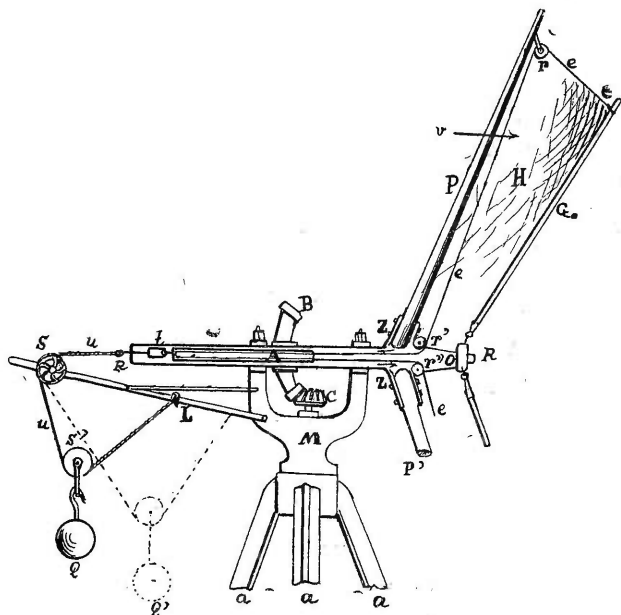


Fig. 13.— Moulin à vent de Formis-Benoît.

sa longueur, et porte 8 ailes. Celles-ci se composent d'un bras *P*, boulonné à une base en fonte *Z*, et d'une antenne verticale *G*, articulée à sa base, sur l'anneau *O*. L'extrémité libre de cette antenne est soutenue par une corde *e*, venant passer sur les poulies à gorge *r* et *r'*, puis pénètre dans l'arbre moteur où elle se loge dans une des 8 rainures d'une pièce *A* appelée *rat*, enfin elle revient en arrière pour passer sur *r''* et va s'attacher à l'antenne de l'aile *P'*. De cette façon, deux ailes voisines sont solidaires l'une de l'autre pour le réglage. Le *rat* *A* porte deux saillies logées dans des glissières creusées à l'intérieur de l'arbre *RR*, il peut donc coulisser et tourner; il est réuni par une articulation *t*, qui ne tourne pas, à une corde *uu*, passant sur les poulies *SS'*, pour venir s'attacher à un levier *L*. A *S'*, est fixé un contre-poids *Q*, destiné au réglage

de l'intensité. Le mouvement de rotation est transmis par une paire d'engrenâges coniques B et C, à un arbre vertical. Les voiles en toile H sont en forme de trapèze, attachées par des cordes aux bras et aux antennes.

En supposant le moulin armé de ses voiles, et les ailes ouvertes au vent, celui-ci viendra les frapper d'arrière suivant v , et tendra à leur faire prendre sa direction parallèle, en tirant les cordes e et par suite le rat A, mais le contre-poids Q, par sa traction, les ramènera dans leur première position. Donc, plus on descendra Q en Q' par exemple, plus on donnera de surface de voile.

Quand le vent change, l'ensemble du moulin s'oriente autour de son axe et constitue une véritable girouette.

Moulin Dellon. — Ce système de moulin a été inventé par M. Dellon, ingénieur en chef des ponts et chaussées de l'Hérault; il est très répandu dans le Midi de la France, et est construit par M. Ray à Montpellier. Cette machine est auto-régulatrice et s'oriente d'elle-même.

La figure 14 indique dans son ensemble le moulin Dellon. La voilure est constituée par 6, 8 ou 10 ailes MM, portées par des bras en fer forgé AA, boulonnés à un tourteau en fonte T, claveté sur l'arbre moteur BB. Chaque aile est constituée par un bâti en bois de forme trapézoïdale sur lequel on tend une voile; l'ensemble est fixé suivant un certain angle d'inclinaison sur le bras A, au moyen de trois colliers C¹, C², C³. Les deux parties de l'aile sont inégales. Le collier C³ porte un écrou en bronze, se vissant sur l'extrémité A. Le collier inférieur C¹ est rattaché au tourteau T par deux ressorts à boudin rr , dont on règle la tension à volonté. L'aile peut donc tourner autour de l'arbre d'un certain angle (moindre de 90°) en se vissant ou en se dévissant sur A. Quand le vent devient supérieur à la tension des ressorts rr , le plan de l'aile tend à prendre la direction du vent, c'est-à-dire à s'effacer et à s'éloigner du centre de rotation. Les ressorts subissent une tension et une sorte de torsion qui emmagasinent de la puissance vive, laquelle ramène l'aile dans sa position primitive quand le vent diminue. Le moulin se règle donc de lui-même en intensité. Quant à l'orientation, elle se fait aussi d'elle-même; le vent devant toujours frapper les ailes d'arrière suivant f , s'il vient obliquement, il fait tourner l'ensemble autour de l'axe du support D et amène la voilure dans la position voulue. Sous l'action de la force centrifuge, le cône de la voilure tend à s'ouvrir, mais il est maintenu stable par des tringles tt . Pour arrêter le moulin dans le cas de tempête ou autre be-

soin, il se trouve, sur le prolongement de l'arbre moteur BB, un frein à ruban F, porté par la pièce e. La tige filetée est munie de rondelles Belleville g. La manœuvre du frein se fait de la

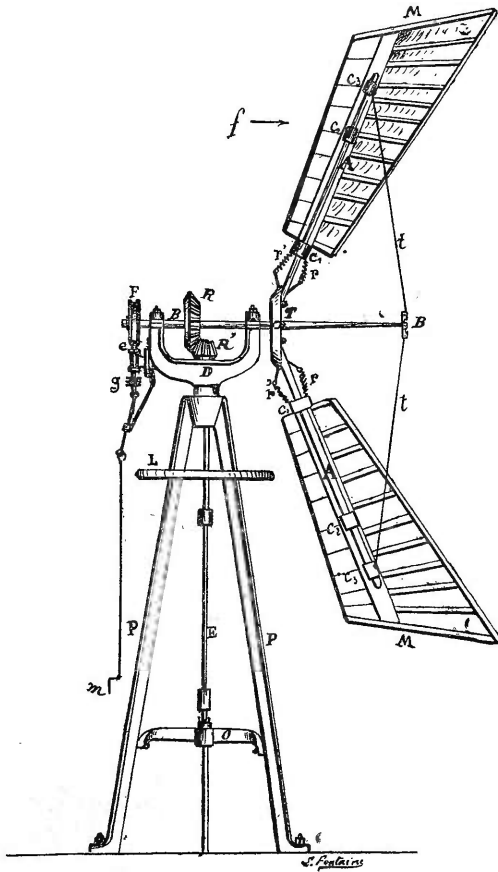


Fig. 14. — Moulin Dellon.

base du moulin au moyen d'une manivelle *m*. Le bâti comprend une chaise mobile *D*, garnie de paliers sur lesquels repose l'arbre de transmission, elle est supportée par un pylône à 4 montants *PP*, munis d'une entretoise *O*. Une échelle permet d'accéder à une plate-forme *L*, de laquelle on peut graisser les coussinets.

La transmission comprend une roue conique *R*, calée sur

B; elle met en mouvement un pignon R', fixé à l'extrémité d'un arbre E, qui met ordinairement en marche (par couplage) un rouet. Quand on actionne une pompe à piston, l'arbre BB est muni d'un vilebrequin.

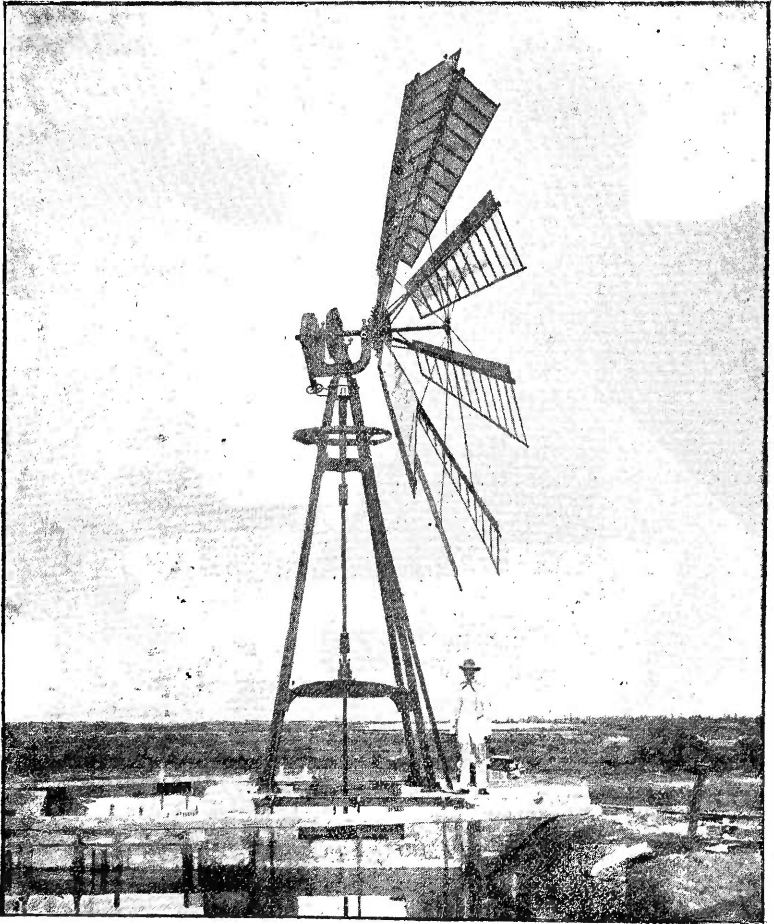


Fig. 15.— Vue d'ensemble d'un moteur à vent Dellon employé à un dessèchement de marais.

La figure 15 montre dans son ensemble le moulin Dellon actionnant un rouet, pour l'élévation des eaux. De nombreu-

ses applications ont été faites depuis 1874, soit pour les dessèchements des marais, le dessalement des terrains, les irrigations, les submersions des vignes, etc.

2^e classe

MOULINS A ROUE

Les nombreuses ailes formant la voilure des moulins précédents ne sont pas sans présenter de grandes difficultés dans leur réglage d'ensemble. Aussi a-t-on cherché depuis longtemps en Amérique à leur substituer les moulins à roue, dont la voilure est rigide.

On distingue deux grands types dans cette classe de moulins : 1^o type «Eclipse»; 2^o type *Halladay*.

1^o ETUDE DU TYPE «ECLIPSE»

L'origine de ce moulin est américaine; depuis son apparition en France, beaucoup de nos constructeurs ont fabriqué ce type et l'ont amené à un haut degré de perfection. Ce qui le caractérise, c'est qu'il s'oriente automatiquement, et qu'il se règle en intensité en s'éclipsant sous l'action d'un vent trop fort.

Orientation. — L'orientation dans ces moulins s'opère au moyen d'un gouvernail, placé à l'arrière de la roue motrice, et qui fait fonction de girouette. Soit (fig. 16) la roue R, placée dans la direction du vent et par suite arrêtée, car son gouvernail lui est parallèle en G'; si on veut la mettre en marche, on dépliera le gouvernail dans la position G. Le vent venant à le frapper perpendiculairement, le poussera, et lui fera décrire un angle de 90°, de façon à le mettre en parallèle avec lui. La roue R passera en R', c'est-à-dire dans une position perpendiculaire au vent, position du mouvement.

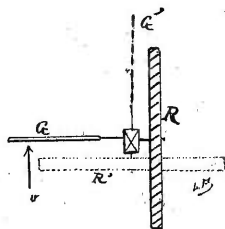


Fig. 16. — Principe de l'orientation d'un moulin «Eclipse».

Réglage de l'intensité et désorientation. — Soit une roue R (fig. 17), orientée de façon à tourner; son gouvernail F sera placé dans la direction du vent. Au moyen d'un système spécial que nous verrons immédiatement, la roue est équilib-

brée pour une vitesse de vent maximum de 10 à 12 mètres par seconde, au delà de cette limite, la roue s'éclipse, c'est-à-dire qu'elle se place dans la direction du vent, celui-ci n'a plus aucune action.

Admettons que la vitesse du vent soit en dessous de 12 mètres, celui-ci viendra frapper une sorte de volet ou *vanne régulatrice* V, suivant f , réunie par une tige g , à l'axe de rotation H. Cette pression f tend à faire tourner l'ensemble pour diminuer la surface active, mais l'équilibre est maintenu par un contre-poids P, fixé à un levier L, dont l'axe est solidaire de H. Ce levier est muni en S d'un secteur denté, engrenant avec un autre secteur G, fixé au collier du gouvernail F. C'est en calant P en différentes positions sur L que l'on peut obtenir des réglages différents. Ainsi on peut obtenir l'effacement de la roue à la vitesse de vent de 8, 9, 10 et 12 mètres. Plus P est bas, plus la désorientation s'obtient à des vitesses élevées.

Si la pression f est supérieure à la résistance P, le volet V entraînera tout l'ensemble, qui tournera, le secteur S engrenant avec G, prendra la position L', P viendra en P', et le gouvernail se repliera parallèlement à la roue suivant F', car

il n'est pas solidaire de l'axe H. A ce moment, le plan de la roue sera dans la direction du vent, et l'ensemble est désorienté. Quand la bourrasque est passée, le contre-poids P' ramènera l'ensemble dans

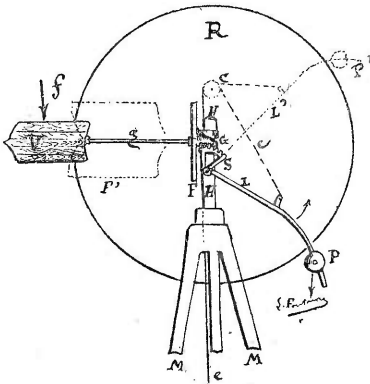


Fig. 17. — Réglage en intensité et en direction du type « Eclipse ».

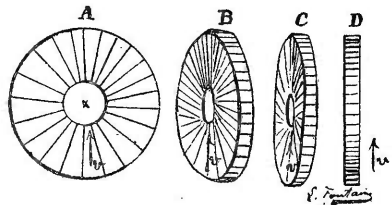


Fig. 18. — Différentes orientations d'une roue motrice d'un moulin à vent.

la position primitive. On peut obtenir la désorientation à volonté, au moyen d'une chaîne e , fixée au levier L, et passant sur la poulie C. Il suffit d'exercer une traction sur cette chaîne de la base du moulin pour que la roue se désorienté. On peut même, au moyen d'un embrayage denté, empêcher

tout mouvement, quand on veut graisser ou faire des réparations, le moulin est bloqué.

En résumé, la roue motrice doit être réglée de manière à présenter pour un vent normal v de 7 mètres par seconde sa surface entière A (fig. 18), puis à présenter des surfaces B C D, diminuant peu à peu, pour atteindre un arrêt lorsque le vent est trop violent.

On distingue deux genres dans ces moteurs : 1° les moteurs dont la roue est à aubes planes ; 2° les moteurs dont la roue est à aubes courbes.

1° MOTEURS A ROUE A AUBES PLANES

Système Durey-Sohy.— Parmi les bons types de moulins construits sur le type « Eclipse », il faut citer celui de M. Du-

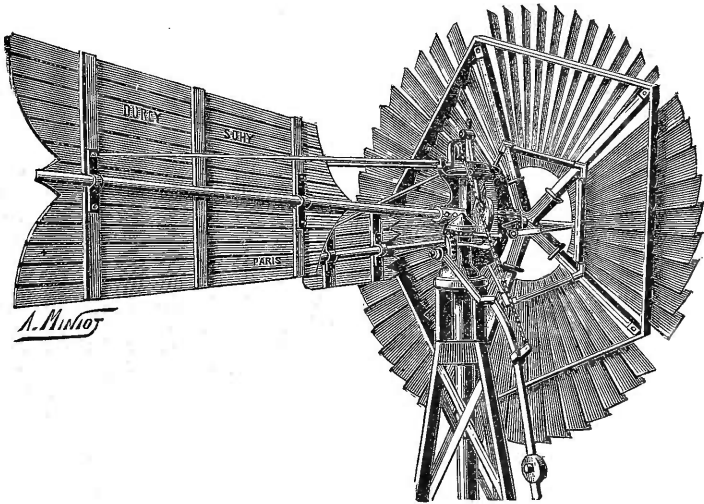


Fig. 19. — Aéro-moteur en marche normale.

rey-Sohy, 17, 19, rue Le Brun (Paris). Ce moulin, dit « aéro-moteur », se compose (fig. 19) d'une roue motrice, à ailettes inclinées en bois, fixées sur un bâti en fer et acier, le diamètre peut varier de 2^m 30 à 7 mètres, suivant les forces. L'axe est supporté par un bâti évidé, terminant le pylône et mobile dans le plan horizontal pour permettre l'orientation de la roue dans toutes les directions du vent. Le montage est fait sur billes en acier, ce qui donne à l'ensemble du moteur une très grande mobilité et une extrême sensibilité dans son réglage en

intensité et en direction. Parallèlement au plan de la roue, se trouve une vanne régulatrice, dont on règle la saillie au dehors suivant le degré de sensibilité que l'on veut obtenir. Perpendiculairement à la voilure, se trouve le gouvernail ou girouette en bois, dont l'axe vertical porte un secteur denté, engrenant avec un deuxième secteur également denté, terminant un levier à contre-poids. En marche normale, le

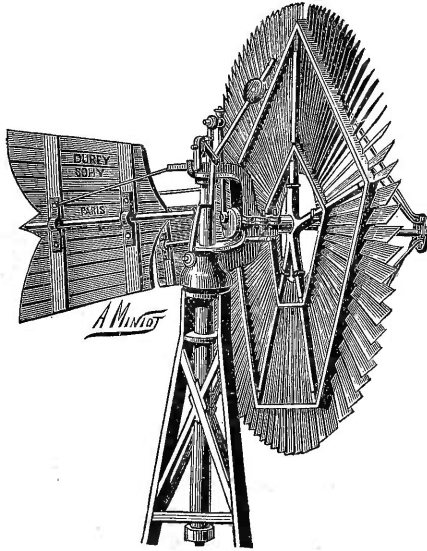


Fig. 20.— Aéro-moteur effacé pendant une tempête.

gouvernail se place dans le lit du vent (fig. 19) et maintient la roue perpendiculaire à son action. Si le vent vient à souffler avec violence et que la pression exercée soit supérieure à la résistance opposée par le contre-poids, la roue oblique à gauche sous l'influence de la vanne régulatrice. Le plan de la surface d'action offre à la direction du vent un angle qui va en diminuant pour devenir nul. A ce moment, la roue et le gouvernail sont dans le sens du vent, ils lui offrent une faible surface d'action le moulin est désorienté et suit les variations de direction du vent (fig. 20). Quand la tempête est passée, le levier à contre-poids, qui avait été soulevé pendant la désorientation, se met à descendre, faisant déployer le gouvernail qui oriente immédiatement le moulin, lequel se remet en marche.

On peut instantanément arrêter le moulin, et, par suite, le

désorienter, en agissant du bas du pylône au moyen d'un petit treuil sur la tringle du levier à contre-poids. Ceci est utile au moment des graissages. Donc ce moulin résiste parfaitement aux plus violentes tempêtes, et il n'y a pas à s'en inquiéter.

Tout le mécanisme est monté sur un pylône en fer de hauteur variable, suivant les lieux. La charpente comporte (fig. 21) quatre fers cornières formant pieds et étré sillonnés par des croix de Saint-André. Une échelle permet d'accéder à une plate-forme. L'installation, comme elle est représentée dans notre dessin, est faite sur puits, avec pompe aspirante et élévatoire envoyant l'eau dans un bassin métallique, lequel alimente, par des canalisations, les différents locaux d'une ferme. Mais, ajoutons-le dès maintenant, il n'est pas toujours nécessaire de placer le moulin au-dessus du puits; si l'aspiration n'est pas supérieure à 9 mètres, on établit le moulin à l'endroit le plus pro-

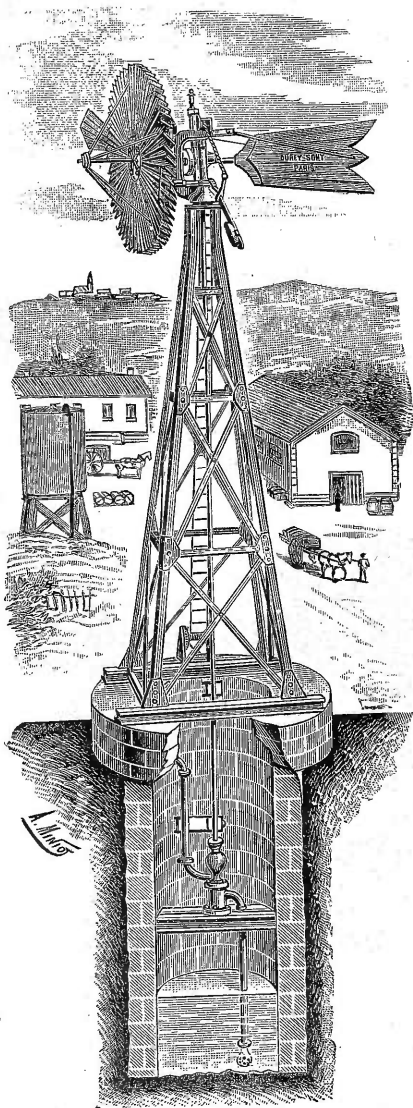


Fig. 21.— Vue d'ensemble d'une installation d'un moulin Durey-Sohy.

picé. Ce n'est que dans le cas de puits profond que l'on opère autrement.

La commande de la pompe se fait simplement par une tringle reliée au plateau-manivelle de l'arbre de la roue.

2° MOULINS A AUBES COURBES

La roue, dans ces moulins, est constituée par une série d'aubes courbes ; celles-ci ont plusieurs avantages sur les aubes planes : 1° elles admettent l'air sous un angle faible et par conséquent sans choc. On peut faire une analogie, dans ce cas, avec les couronnes motrices des turbines hydrauliques. L'importance, il est vrai, est moindre, car le rapport de la densité de l'air à celle de l'eau est de $\frac{0,001293}{1}$; mais, théoriquement, il y a une différence au point de vue du rendement mécanique ; 2° l'emploi d'une aube plane en acier se déformerait plus vite qu'une aube courbe et aurait bien moins de résistance longitudinale.

Moulin « Idéal ». Ce moulin, de construction américaine, est vendu par M. Pilter (Paris). La figure 22 donne une vue d'ensemble du mécanisme, la figure 23 en indique les détails. La roue motrice est constituée par une série d'aubes courbes A A, réunies à un tourteau T, par des bras *pp* ; l'ensemble est maintenu rigide par deux couronnes concentriques *ee*. Le tout est supporté par un bâti L L, pouvant tourner sur l'axe creux Z, solidement boulonné par sa base Q sur l'extrémité du pylône Y Y. Le mouvement est transmis par un arbre horizontal H H, sur lequel est clavetée la roue ; il se termine par un plateau-manivelle I. La bielle U transmet son mouvement de va-et-vient à une barre transversale D, munie de deux coulisseaux *gg* glissant sur deux guides E E, maintenus à écartement fixe par la pièce X. A la barre D est clavetée la bielle V, commandant une pompe.

Orientation. — Le moulin s'oriente au moyen d'un gouvernail ou girouette G, se plaçant dans le lit du vent. Elle peut tourner sur l'axe *x*, mais elle est maintenue en place pour une vitesse maximum déterminée par la tension d'un ressort R, dont la partie supérieure vient buter contre un taquet *t* fixé par un boulon tendeur *q*. Ce ressort à boudin travaille à la torsion et doit être assez tendu pour amener la partie N de la girouette en contact avec le bâti L. Donc c'est la plus ou

moins grande tension du ressort qui règle le point de désorientation.

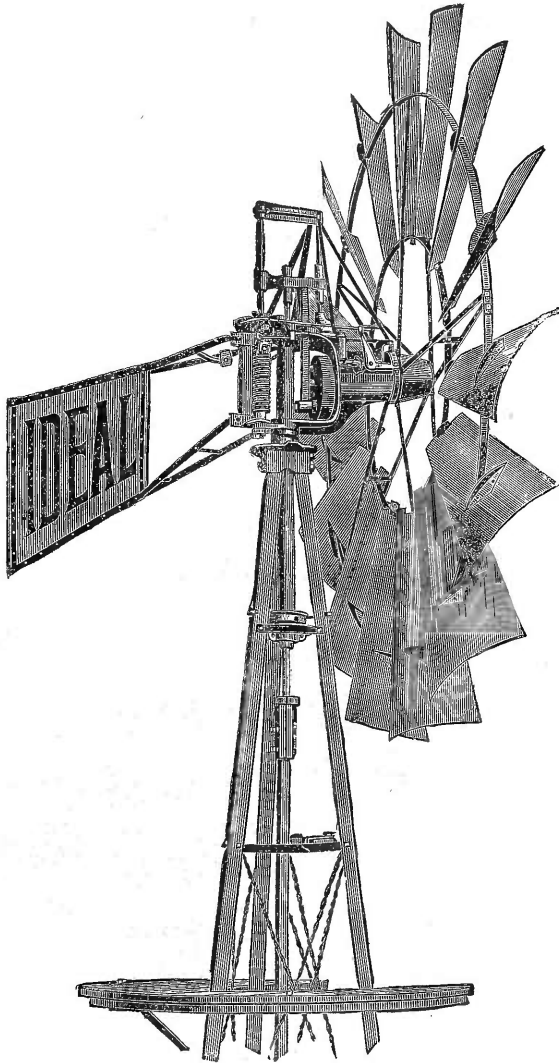


Fig. 22. — Vue d'ensemble du mécanisme de « l'Idéal » (Pilter).
Désorientation et arrêt. — Par les grandes tempêtes, la roue

s'efface et se met parallèle au vent, voici comment : quand la pression devient trop grande sur la roue et que la tension du ressort R n'est plus suffisante pour la maintenir perpendiculaire au vent, celui-ci l'entraîne et l'amène parallèle à la

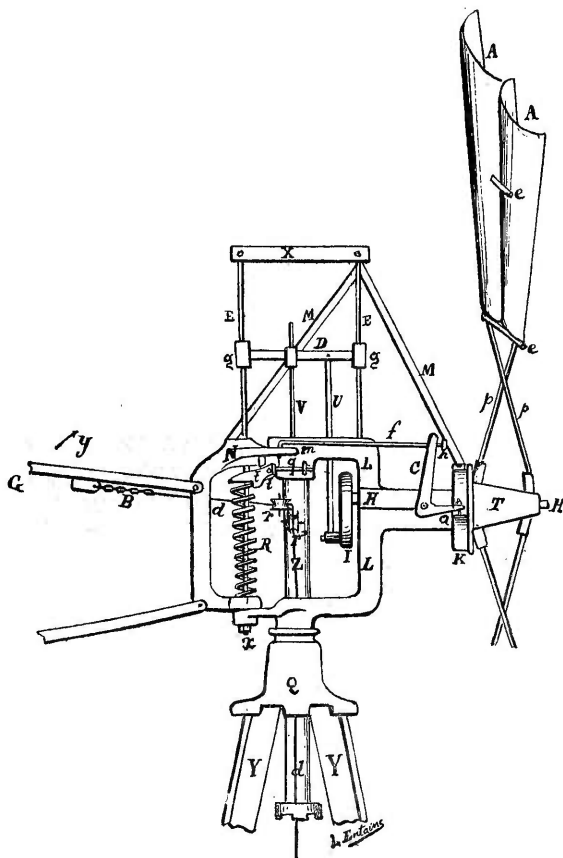


Fig. 23. — Détails du mécanisme de « l'Idéal ».

girouette. Mais, dans cette rotation de 90°, le levier *f*, qui est articulé en *n*, fait agir le frein *K*, le moulin est bloqué et ne peut plus bouger. La figure 24 montre avec plus de détails le fonctionnement. L'extrémité du tourteau *T* est embrassée par un ruban d'acier *K*, dont une extrémité *a*₁ est fixée à *M*; l'autre *a* est reliée par un boulon à un double levier *C*

oscillant autour du point *o*. La branche supérieure est percée d'un œil où coulisse la tringle *f* renflée à son extrémité. Si donc, la roue veut s'effacer, la tringle *f* vient en arrière et fait basculer *C*, suivant le pointillé, et *a* applique fortement le frein sur le tourteau.

L'arrêt peut s'obtenir à volonté de la base du pylône au moyen d'un petit treuil tirant un fil de fer *d*, passant sur deux poulies à gorge de renvoi *r'* *r* et qui vient s'attacher par l'intermédiaire d'une chaîne *B* au gouvernail *G*. Ce dernier se replie suivant *y*, en même temps le frein bloque tout l'appareil.

Le type à mouvement rectiligne peut avoir une autre disposition que celle que nous avons indiquée. Celle-ci est représentée dans la figure 25; l'arbre *b* du tourteau *A* se ter-

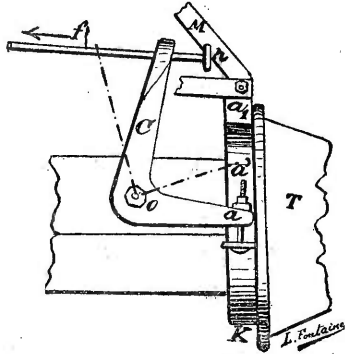


Fig. 24. — Frein automatique de « l'Idéal » (Pilter).

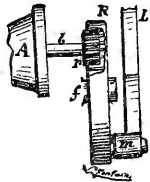


Fig. 25. — Deuxième système de commande de « l'Idéal » (Pilter).

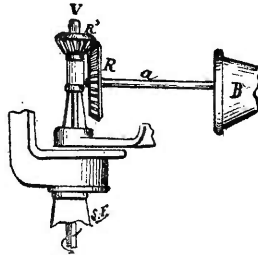


Fig. 26. — Troisième système de commande de « l'Idéal » (Pilter).

mine par un pignon droit *r*, commandant un engrenage intérieur *R*, calé sur l'axe *f*. La bielle *L* est fixée au bouton de manivelle *m*.

Dans la commande par arbre rotatif (fig. 26), l'arbre *a* porte une roue conique *R* qui commande un pignon *R'*, calé à l'extrémité de l'arbre *V*.

Nous ne pouvons donner que des prix approximatifs de ces moulins; ainsi un modèle de 12 mètres de haut coûterait :

Pylône à 3 montants. Roue de 2 ^m ,40 à 3 m. de haut.	Prix : 365 fr.
— — — 3 ^m ,60 —	— 460 —
Pylône à 4 montants — 3 ^m ,60 —	— 615 —
— — — 4 ^m ,20 —	— 900 —

La figure 27 montre l'installation du moulin «l'Idéal» sur un puits. Il est couplé avec une pompe Douglas et élève l'eau

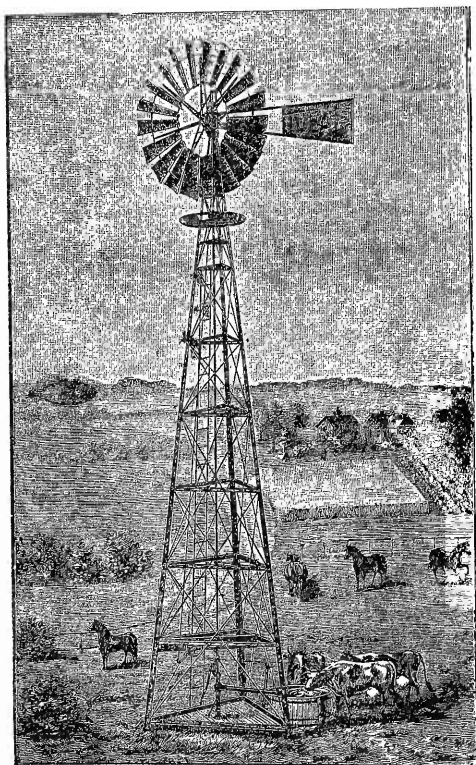


Fig. 27.— Vue de l'installation d'un moulin à vent Piltier.

d'un puits pour l'irrigation. Le pylône est à trois montants entretoisés, dont l'un porte une série de barres transversales formant échelle pour accéder au mécanisme lors des graissages. La hauteur du pylône varie de 9 à 24 mètres, avec des roues motrices de 2 m. 40 à 3 m. 60 de diamètre. Le montage se fait à pied-d'œuvre, et l'érection ne nécessite aucun échafaudage. Aux pieds du pylône sont boulonnées de larges

semelles circulaires, noyées dans une maçonnerie souterraine. La plus grande partie du métal entrant dans la construction est en acier galvanisé au bain d'aluminium et de zinc, ne redoutant pas la rouille. L'ensemble est très soigné.

Le rendement des pompes actionnées par un moteur recevant un vent de 6 m. 75 par seconde est donné par le tableau suivant :

DIAMÈTRE du MOULIN	QUANTITÉ D'EAU APPROXIMATIVE ÉLEVÉE PAR HEURE (La hauteur s'entend depuis le niveau de l'eau, dans le puits, jusqu'au sommet du réservoir)					
	HAUTEUR 6 ^m	HAUTEUR 10 ^m 50	HAUTEUR 15 ^m	HAUTEUR 22 ^m 50	HAUTEUR 30 ^m	HAUTEUR 37 ^m 50
	LITRES	LITRES	LITRES	LITRES	LITRES	LITRES
2 ^m 40.	4.500	2.400	1.800	1.300	1.000	700
3 ^m	9.000	5.000	3.500	2.400	1.800	1.600
3 ^m 60.	14.000	9.000	6.000	4.500	3.000	2.400

M. Pilter vend deux types de moulins, l'un à mouvement rectiligne, destiné à la commande des pompes, l'autre à mouvement rotatif, pour la mise en marche des instruments rotatifs d'intérieur : hache-paille, concasseur, coupe-racines, etc.

Système Durozoi. — Ce moulin, construit par M. Durozoi (Paris), est entièrement métallique. Il est monté sur pylône en fer creux ou sur une tour circulaire en maçonnerie AA (fig. 28), terminée en haut par une plate-forme BB entourée d'une grille. Une colonne verticale creuse S est boulonnée sur deux poutrelles en double T, HH, elle est terminée par une partie tournée autour de laquelle s'emboîte le collier FF, muni de deux paliers. C'est ce collier qui porte toute la voilure, il est monté sur des galets *p*, roulant sur un rebord de la colonne S.

L'arbre du mouvement *m m* porte une roue R, à aubes courbes en tôle; l'ensemble est équilibré par des tirants *tt*. Une manivelle N actionne la tringle T. A l'arrière du collier F, est fixé un gouvernail G, servant au réglage de l'intensité et de l'orientation.

La figure 29 nous permettra d'expliquer le fonctionnement de ce gouvernail. Il est constitué par deux volets C et D,

maintenus écartés l'un de l'autre par deux tiges articulées munies de ressorts antagonistes. Le volet C sert à l'effacement de la roue R, et son ressort R' est placé en dedans, un écrou e règle sa tension pour résister à la pression d'un vent

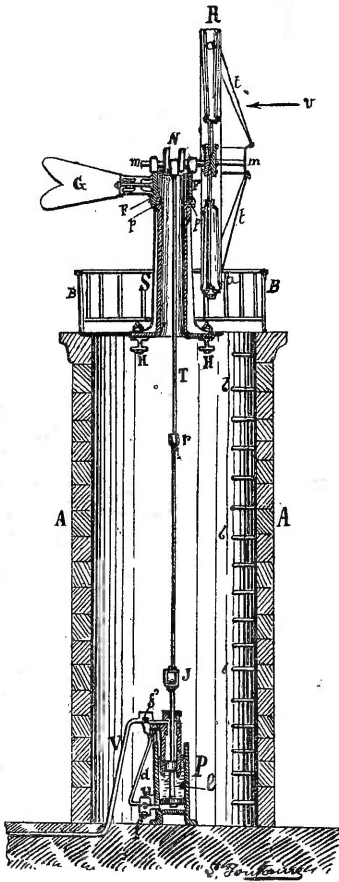


Fig. 28. — Coupe du moulin à vent Durozoi.

de 12 mètres ou maximum, par exemple. Le volet D sert à l'orientation de la roue lorsqu'elle part du repos, son ressort R'' est situé en dehors, et prend son point d'appui sur un écrou tendeur f.

Supposons maintenant que la vitesse du vent V devienne très grande, et que sa pression soit supérieure à la tension du ressort R' ; celui-ci cédera, et le volet C viendra en C'. Comme les deux parties du gouvernail ne sont plus symétriques, le collier F tournera sur ses galets g g, d'un certain angle suivant X' : la roue s'efface au vent. En admettant que la vitesse du vent croisse encore, le volet

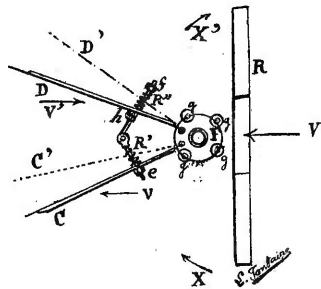


Fig. 29. — Plan du gouvernail du moulin à vent Durozoi.

C se met parallèlement au vent, et le moulin est complètement désorienté.

Admettons maintenant que le moulin parte du repos et que le vent souffle suivant V', c'est-à-dire à l'arrière de la roue, il faut que celle-ci décrive une rotation de 180° pour présenter

sa face antérieure. C'est alors qu'agit le volet D; sous la poussée du vent, le ressort R'' fléchit et D vient en D'. L'équilibre est rompu et le gouvernail entraîne tout l'ensemble suivant X'.

Quand la commande se fait par manivelle N, la tige T est animée d'un mouvement alternatif, un joint J lui permet de transmettre le mouvement dans toutes les positions occupées par la roue motrice.

Pour l'élévation des eaux, M. Durozoi emploie un *compresseur d'air* qui actionne un *propulseur* placé au fond du puits. Le compresseur P est placé à la base de la tour, il possède deux pistons séparés par une couche d'eau *l*, l'aspiration de l'air se fait par la soupape *f*, il est refoulé par *f'* dans un tuyau V, se rendant au propulseur.

L'avantage de ce système réside dans la faculté de placer le moulin sur une hauteur, à une certaine distance du puits, L'ascension à la plate-forme pour les graissages se fait au moyen d'une échelle intérieure, constituée par une série de barreaux de fer *b b b*.

Moulin Lucet. — Le moteur de M. Lucet, agriculteur à Conques, près Carcassonne, peut être rangé dans cette classe. Les aubes sont à courbure parabolique et d'un excellent rendement. Nous donnons textuellement la description que nous avons faite dans la *Revue de Viticulture*.

Le but que s'est proposé d'atteindre l'inventeur est d'utiliser la force que fournit le vent, en employant une roue spéciale, actionnant une défonceuse pour préparer le sol destiné à être planté en vigne. Le problème a été résolu d'une façon satisfaisante et pratique.

Les figures 30 et 31 montrent sur ses deux faces le moulin en question. Nous distinguerons pour sa description trois parties : 1° le *bâti*, 2° la *roue motrice*, 3° les *organes de transmission*.

Bâti. — La base de l'appareil est formée d'un cadre en bois de forme rectangulaire AA, dont les poutres ont 0^m30 d'équarrissage; la longueur est de 5^m50 et la largeur de 2^m20. Ce cadre est monté sur deux essieux en fer, dont les fusées sont munies de quatre galets en fonte *ee*, de 0^m50 de diamètre. L'espacement de ces galets, dans le sens transversal, est de 3 mètres; ils roulent sur deux rails creux *g g*, en double T, de 6 mètres de long et posés à plat sur le terrain. L'ensemble du moulin se déplace le long d'une fourrière du champ à défoncer.

Sur le cadre roulant A s'élève un pylône formé de quatre poutres inclinées D D, munies d'étrésillons et de croix de Saint-André E, le tout en bois. La partie supérieure est munie de paliers $z z$, sur lesquels repose l'arbre moteur V.

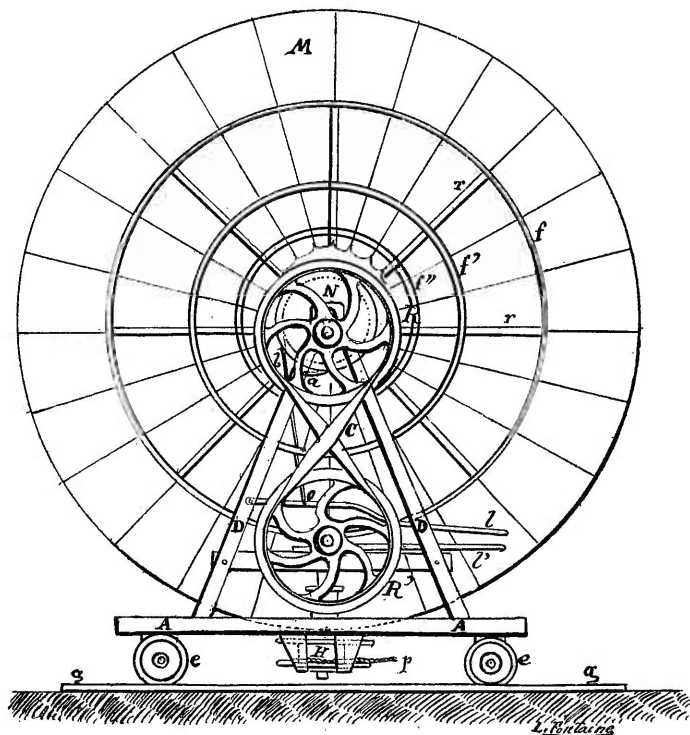


Fig. 30. — Vue de face du moulin Lucet.

1876

Roue motrice. — La roue motrice M (fig. 30 et 31) a un diamètre de 8 mètres, elle forme un polygone régulier à 32 côtés. Le bâti ou carcasse se compose d'un plateau en fonte L, calé sur l'extrémité de l'arbre V ; il porte 8 bras $r r$, en fer forgé, de 6 centimètres sur 4 au départ, et de 0^m06 sur 0^m01 à l'extrémité. Sur ces bras sont fixées trois couronnes en fer cornière $f f' f''$, sur lesquelles sont rivées des tôles concentriques à l'arbre. La première couronne f'' est à 1 mètre de diamètre, f' à 2 mètres et f à 3 mètres.

La voilure est composée de 32 voiles ou aubes (fig. 35) en

bois de sapin, d'une épaisseur de 7 millimètres. C'est un trapèze de 3^m50 de haut, ayant 0^m15 à la base B et 0^m83 en B', dont les bords *q* sont garnis de petites tôles. La section est à courbure variable, de façon à obtenir une forme parabolique.

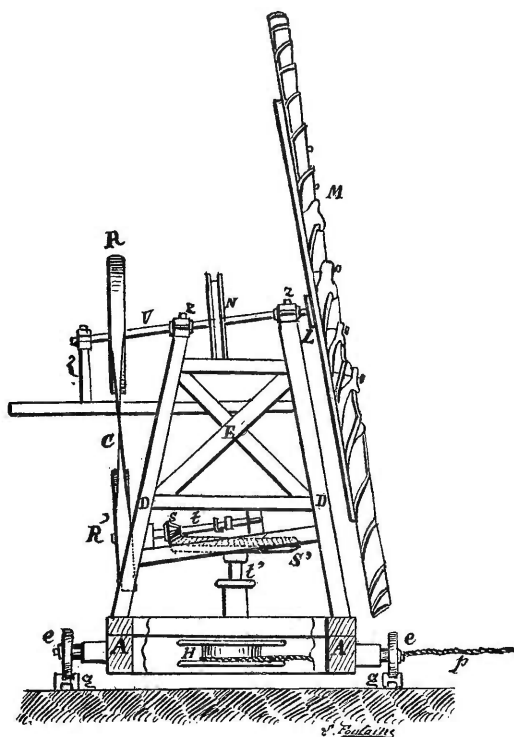


Fig. 31.— Vue de côté du moulin Lucet.

L'inclinaison de la corde du segment parabolique est de 35° avec le plan de la roue vers le centre B et de 12° seulement vers l'extrémité B'. La concavité de l'aube est maintenue régulière par quatre liteaux en frêne *iiii*, distants de l'extrémité B de 0^m50, 1^m50 et 2^m50. Chaque aile est découpée à la scie et pèse de 5 à 6 kilogr.

Les ailes sur la roue sont amovibles, on en place un plus ou moins grand nombre, suivant la puissance du vent.

Le mode de fixation est spécial. La tôle de la couronne *f* présente des ouvertures L L L (fig. 32 et 33), où s'engagent

les parties inférieures des aubes ; la tôle de la couronne f' a des entailles où reposent les aubes sur les courbes J J Enfin, la tôle f (fig. 34) présente également des entailles où viennent se loger les extrémités supérieures des aubes G. Celles-

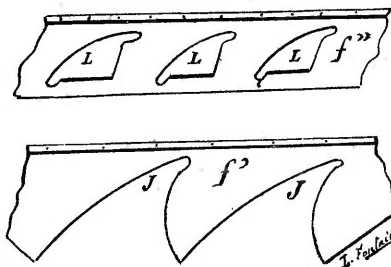


Fig. 32 et 33. — Tôles de support des aubes f' f'' .

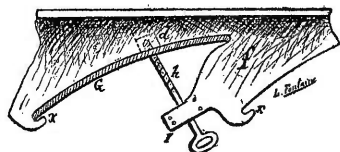


Fig. 34. — Mode de fixation des aubes sur la couronne extérieure f .

ci sont retenues par une saillie x et une vis de serrage h , passant par un trou pratiqué dans G et venant se visser en d .

Les ailes se glissent dans la roue facilement du sol, et un homme dans une minute peut placer quatre voiles et en retirer six ; il faut donc 8 minutes pour fixer les 32, et 5 à 6 minutes pour les enlever.

Organes de transmission. — La roue est fixée sur un arbre de transmission V, incliné à $1/10$ sur l'horizon et terminé par une poulie R. Celle-ci communique le mouvement de rotation à une deuxième poulie R', calée sur un arbre t , parallèle à l'arbre V. Un pignon conique S, muni d'un levier d'embrayage l' , engrène avec une couronne conique S', calée à l'extrémité de l'arbre t' du tambour de traction H.

Pour arrêter le mouvement ou en modifier l'allure, l'arbre de transmission V est muni d'un frein puissant N (fig. 30 et 31), constitué par un plateau à joues, embrassé par un ruban garni de sabots de bois doublés de cuir. L'extrémité a du ruban est fixe, l'extrémité b est reliée par une tringle o , articulée à un levier de pression l . L'absorption du travail de frottement est considérable et donne toute la sécurité voulue.

Application sur champ. — Le montage du moulin doit se faire sur l'une des fourrières de la pièce à défoncer ; pour les transports assez considérables, on doit le sectionner en

trois parties, pesant environ 2 tonnes chacune. Les galets reposent sur les rails et sont calés ; on fait un avancement à toutes les raies de 0^m50 environ, en employant un levier. Quatre rails suffisent pour un déplacement infini. La stabilité de la machine est très grande, vu son poids élevé de 6.000 kilogrammes.

Pour halier le moulin d'un champ à l'autre, on le rend automoteur. La défonceuse sert de point d'appui, elle est fixée en terre à une certaine distance du moulin et reliée à celui-ci par le câble de traction. Le moteur étant mis en marche et décalé, il fait enrouler le câble, qui l'appelle vers la charrue, avec une vitesse de 0^m40 par seconde. En déplaçant les rails et le point d'appui, on fait parcourir au moteur d'assez grandes distances en peu de temps.

L'orientation de la roue se fait assez facilement suivant les vents, car celle-ci doit toujours être frappée en avant. Pour cela, avec un cric, on soulève un bout du cadre de fondation, sous lequel on glisse au milieu deux plateaux portant un pivot. On adapte à quatre tourillons fixés au cadre inférieur des petits galets, sur lesquels tourne l'ensemble en le poussant à bras.

Le câble étant attaché à la défonceuse partant de l'extrémité du champ, on desserre le frein N ; la mise en marche s'effectue progressivement pour donner au câble une vitesse normale de 0^m15 à 0^m18 par seconde. Un guide-câble, placé à 5 ou 6 mètres du pylône, règle l'enroulement. La raie finie, on opère la sortie de terre de la défonceuse, qui va reprendre sa raie au bout du champ, en la traînant avec un cheval. Pendant ce temps, on avance le moulin d'une largeur de raie. Deux ouvriers seulement sont nécessaires aux manœuvres du défoncement.

On estime que ce moulin peut rendre les 50, 60 à 70 o/o du travail moteur produit par le vent. Comme la vitesse de ce dernier est très variable, il faut régler la surface de roue en proportion de cette vitesse, en adaptant le nombre voulu d'aubes.

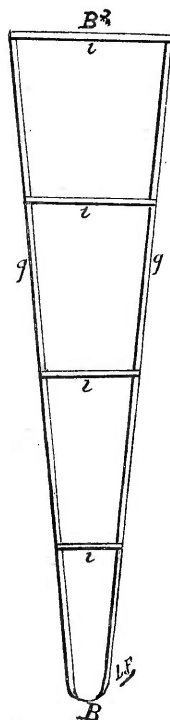


Fig. 35. — Aube du moulin Lucet.

En admettant une vitesse de vent de 7 mètres par seconde et un rendement de 50 o/o, on a comme travail fourni :

$$T = 0,50 \times 0,066 \times S \times V^3 = 0,50 \times 0,066 = \frac{3,1416 \times 8 \times 8}{4} \times$$

$$7 \times 7 \times 7 = 568,89 \text{ kilogrammètres.}$$

$$\text{Ou en chevaux-vapeur : } \frac{568,89}{75} = 7 \text{ chevaux 58.}$$

Dès que le vent dépasse 7 à 8 mètres par seconde, il faut enlever des aubes ; à la vitesse de 10 mètres, il n'en reste que 14, etc. Le démontage doit se faire symétriquement, c'est-à-dire par paire. Dans les renseignements que M. Lucet a bien voulu nous donner, nous trouvons qu'il a défoncé les terrains de ses deux propriétés et qu'elles portent aujourd'hui 45 hectares de vigne. Le labour a varié entre 0^m45 à 0^m75 de profondeur selon la nature du sol ; la surface défoncée par jour a été de 10 à 30 ares, suivant la vitesse du vent. D'après M. Lucet, le prix du défoncement par hectare est revenu entre 30 et 40 francs environ. Le prix approximatif du moulin est de 1.500 francs, sans charrue ni câble. Cet exemple ne saurait avoir trop d'imitateurs, car il offre l'avantage considérable d'utiliser un moteur absolument gratuit.

2° ETUDE DU TYPE HALLADAY

Ce moulin est aussi d'origine américaine, inventé par M. Halladay ; il est très répandu aux Etats-Unis, et de nombreuses applications en ont été faites en France. Il est caractérisé par sa roue motrice, formée de 12 secteurs indépendants, et par son gouvernail fixe placé à l'arrière du moulin. L'intensité de la force du moulin est non plus obtenue par un déplacement entier de la roue, mais par un déplacement automatique de chaque secteur moteur, suivant l'intensité du vent. *Le moulin fait constamment face au vent*, même par la tempête.

Les figures 36 et 37 donnent avec beaucoup de détails les vues de face et de côté du moulin Halladay, établi par le constructeur bien connu, M Schabaver, de Castres (Tarn).

Le moulin est monté sur une charpente, constituée par quatre montants A en fer cornière, entretoisés par des croix de Saint André A' ; l'ensemble forme un pylône rigide de 9 à 10 mètres de haut. Au sommet de celui-ci se trouve une plate-forme B, dont l'accès se fait par l'échelle b. A la plate-forme, sont boulonnés deux montants verticaux C en fer en U formant chaises, terminés par une couronne en fonte fixe C' Elle sert

de rail à l'ensemble du mécanisme qui se déplace pour l'orientation de la roue, en roulant sur 4 galets c^2 , à axes verticaux. Cette couronne porte en outre un solide rebord pour empê-

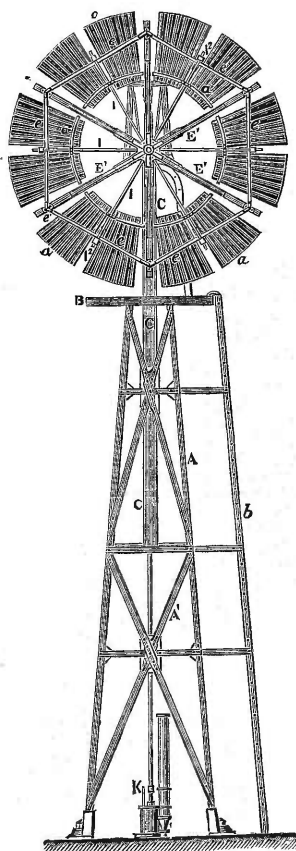


Fig. 36. — Vue de face du moulin Halladay.

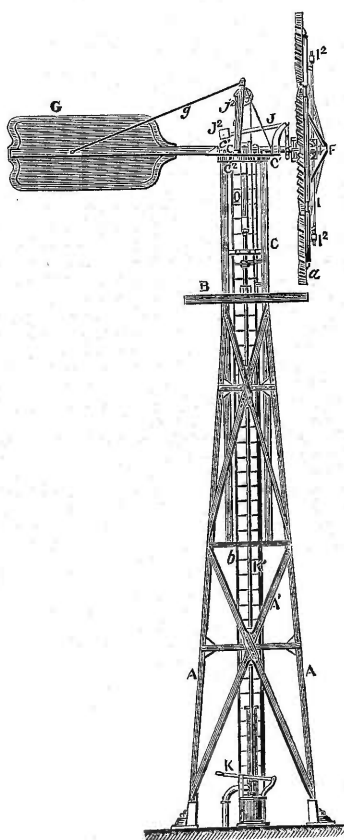


Fig. 37. — Vue de côté du moulin Halladay.

cher le soulèvement du mécanisme quand le vent souffle de bas en haut.

Sur C' , repose une deuxième couronne C^2 , avec laquelle sont venus de fonte deux paliers p et p , dans lesquels tourne l'arbre moteur P (fig. 38). Le gouvernail G forme prolongement avec P et est soutenu en porte-à-faux par un tirant g .

Roue motrice. — La roue motrice est clavetée sur l'arbre P

par une étoile en fonte E, portant 6 bras en bois E', soutenus par des jambes de force F', prenant point d'appui sur une couronne terminant P. L'ossature est maintenue par des barres en bois *e* montées sur un pivot, et formant un hexagone

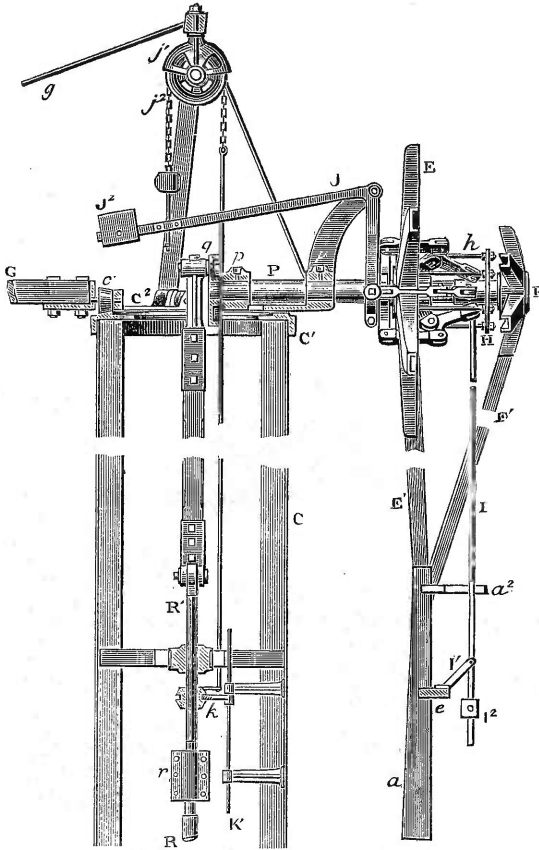


Fig. 38.— Détails du sommet du pylône.

régulier. Sur ces barres sont fixées des palettes en bois *a*, suivant un angle de 25° (fig. 39, chaque barre porte deux secteurs. Suivant la force du moulin, la roue a une surface variant de 4^m210 à 107^m2.

Régulateur d'intensité. — Le régulateur est constitué par une série de leviers, sous l'action de la force centrifuge, font osciller les secteurs autour des barres *e*. Nous nous ser-

virus des figures 38 et 40. Près de l'étoile E, est enfilé un manchon coulissant sur l'arbre P, muni de 6 entretoises *h* et de 6 branches verticales J'. Ces dernières portent des bielletes *i' i'*, commandant des leviers coudés *ii*, auxquels sont attachées des tiges I, garnies de contre-poids I², et pouvant faire osciller l'axe *e* des secteurs, par l'intermédiaire de fourchettes I'. Le manchon précédent porte une saillie sur laquelle s'engage un collier surmonté d'un levier coudé J, équilibré par un contre-poids J².

La roue étant en mouvement, sous l'action de la force centrifuge, les poids I² tendent à s'éloigner du centre de rotation et tirent par conséquent les tiges I et tout le système de leviers, les secteurs tendent à s'incliner vers *a*² et se mettre en parallèle au vent. Mais le contre-poids J² contre-balance l'action des masses I², et la voilure se maintient. Le réglage de la roue réside donc dans la position des contre-poids I² et J². Dans tous les cas, lorsque le vent atteint 10 à 12 mètres par seconde, l'équilibre du réglage est rompu, et la voilure se ferme comme un parapluie, les secteurs deviennent parallèles

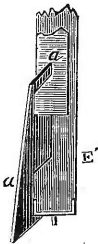


Fig. 39.

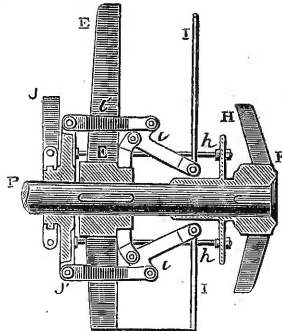


Fig. 40.

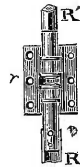


Fig. 41.

Fig. 39. — Forme des aubes du moulin Halladay. — Fig. 40. — Régulateur d'intensité du moulin Halladay. — Fig. 41. — Raccord des deux parties de la bielle.

au vent et prennent une position perpendiculaire à celle de la figure 38. Le moulin n'offre plus aucune prise au vent, quoiqu'il lui soit toujours perpendiculaire. Il reprend sa marche dès que la bourrasque est passée. Le système Halladay est le seul qui fasse face au vent constamment.

Mécanisme de transmission. — L'arbre moteur tourne avec un bon vent de 7 mètres par seconde, à raison de 60, 48, 44, 25 et 21 tours par minute, suivant les modèles. La rotation est

transformée en mouvement rectiligne alternatif, par un plateau-manivelle q , actionnant une pompe K par une bielle. Le plan d'oscillation changeant de position avec la direction du vent, et d'autre part, le piston de la pompe ne devant se déplacer que verticalement, on a sectionné la bielle en deux parties réunies par un manchon pivot (fig. 41). La tige supérieure R' est à section carrée, l'inférieure R est ronde; le manchon r , en deux parties, tourne autour de cette dernière.

Orientation. — Le vent, en agissant sur le gouvernail G , l'oblige à se déplacer, jusqu'à ce qu'il ait une position parallèle à son action. Il entraîne tout le mécanisme, et vient placer la roue perpendiculairement.

Arrêt. — Pour les graissages, le réglage et les réparations, le moulin est muni d'un appareil d'arrêt, manœuvré du pied du pylône. Il comprend une tringle K , avec raccord en k , relié par tringle à une chaîne j^2 , passant sur une poulie à gorge j' , attachée au levier J . En agissant sur l'ensemble, on soulève le contre-poids J^2 et le levier J , qui déplace à son tour le collier, et par suite fait ouvrir les secteurs et les met parallèles au vent.

Moulins américains à roue « Simplex ». — Les roues de ce genre ont été imaginées par M. John Titt, et ont leur axe de rotation incliné pour mieux utiliser l'action du vent. Celui-ci, en effet, ne souffle jamais parallèlement à la surface de la terre, mais suivant une direction oblique de haut en bas. Les lames sont montées à leurs deux extrémités sur deux pivots; la roue s'immobilise d'elle-même quand toutes les lames présentent leur tranche au vent, dès que celui-ci devient trop fort. Un levier à main permet d'obtenir instantanément ce résultat.

3^e classe

TURBINES ATMOSPHÉRIQUES

On a cherché à appliquer le principe des turbines hydrauliques à la construction des turbines atmosphériques. Ce sont des roues munies d'aubes courbes dont les unes sont directrices et fixes, tandis que les autres sont mobiles et motrices. Nous décrirons, dans ce groupe, la turbine de Bollée, à axe horizontal, et la turbine Rollason, à axe vertical; beaucoup d'autres systèmes ont été proposés, mais ils ont disparu.

Turbine atmosphérique Bollée. — Cette turbine, encore appelée « Eolienne », a été inventée par Auguste Bollée ; elle

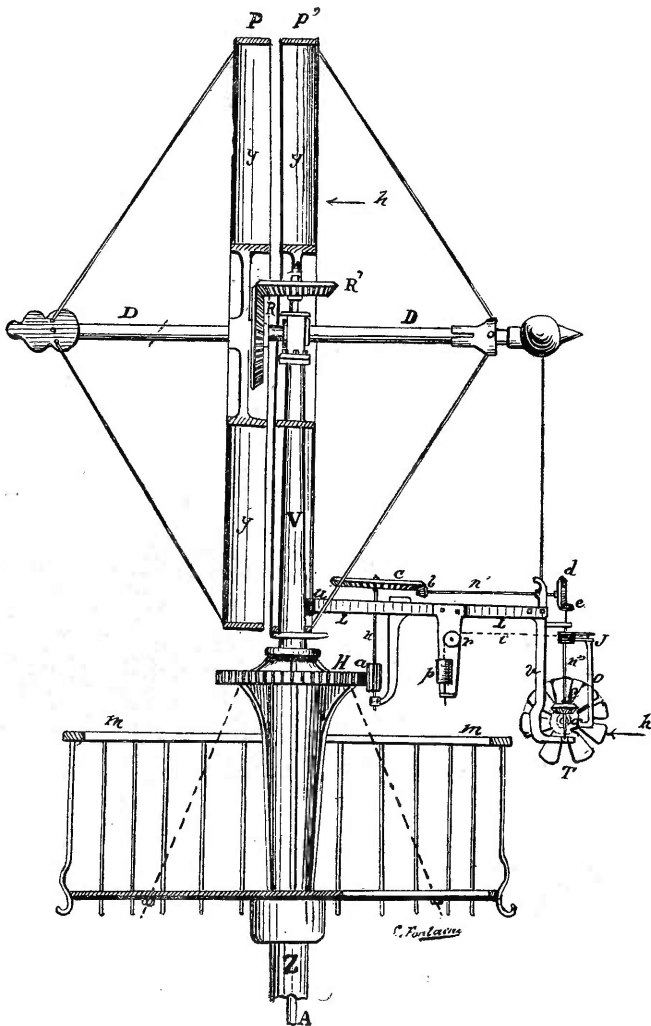


Fig. 42.— Coupe de la turbine Bollée.

est construite actuellement par M. E. Leuret, au Mans (Sarthe).

Elle se compose (fig. 42) de deux roues en tôle d'acier P et

P', portant des aubes courbes yy , placées en sens contraire ; ces roues sont montées sur un axe D D. L'ensemble du système repose sur un arbre creux et très fort V, pouvant tourner pour l'orientation, il repose inférieurement sur une colonne en fonte Z.

La roue P seule est mobile et tourne autour de D D, elle est munie d'un engrenage conique R, commandant un pignon R', calé à l'extrémité de l'arbre moteur A A. Des tiges en fer consolident les roues et forment un ensemble très robuste.

Orientation.— Le moteur se met en marche quand les aubes sont frappées perpendiculairement suivant la flèche h ; au contraire, il s'arrête quand les roues P et P' se trouvent dans la direction du vent. Le mécanisme d'orientation adjoint au moteur règle la marche automatiquement suivant la vitesse du vent.

Ce mécanisme comprend un bâti triangulaire L L, solidement fixé en u à la roue directrice P' ; il doit entraîner tout l'ensemble du moulin lorsqu'il s'oriente. Pour cela, un moulinet T, composé d'un certain nombre d'ailes gauches, et supporté par un bâti oscillant autour de son axe o , commande, par un engrenage conique g , un pignon f calé sur un arbre vertical n'' , dont le pivot repose sur un support v . L'arbre n'' se termine par un engrenage conique e , engrenant avec d fixé à un arbre horizontal n' , dont le pignon b actionne la roue cône c de l'arbre n . Celui-ci est muni inférieurement de l'engrenage a , prenant son point d'appui sur une couronne dentée fixe H.

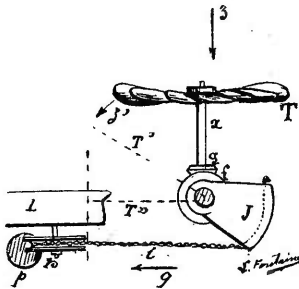


Fig. 43. — Principe de l'orientation et de la désorientation de la turbine Bollée.

Pour bien saisir l'orientation de la machine, il faut se représenter H immobile, donnant prise au mécanisme pour déplacer la masse de la turbine, autrement dit a tourne autour de H.

En supposant que le moulin et le moulinet soient parallèles au vent et que l'on veuille mettre en marche, on déclanche le moulinet T (fig. 43) qui décrit une rotation de 90° et vient se mettre perpendiculaire au vent suivant z . Il se met à tourner rapidement en commandant toute la série des engrenages. Ceux-ci font déplacer la turbine et l'appareil d'orientation autour de l'axe V. Le mouvement de rotation se continue

En supposant que le moulin et le moulinet soient parallèles au vent et que l'on veuille mettre en marche, on déclanche le moulinet T (fig. 43) qui décrit une rotation de 90° et vient se mettre perpendiculaire au vent suivant z . Il se met à tourner rapidement en commandant toute la série des engrenages. Ceux-ci font déplacer la turbine et l'appareil d'orientation autour de l'axe V. Le mouvement de rotation se continue

jusqu'à ce que les roues soient arrivées à être perpendiculaires au vent. A ce moment, la roue P se met en marche et le moulinet s'arrête parce qu'il est parallèle au vent, celui-ci n'a plus d'action sur sa tranche.

Si le vent vient à changer de direction, le moulinet se remet en marche jusqu'à ce que la turbine redevienne perpendiculaire.

Enfin, si la vitesse du vent dépasse 12 mètres par seconde, le moulin se désoriente. Le moulinet T est monté sur un tube x , auquel est claveté le pignon g ; le tube x est traversé par un coude de l'arbre o . Ce dernier porte un secteur J muni d'une gorge où s'attache une petite chaîne i , passant sur une deuxième poulie r et terminée par un contre-poids en plomb p . Celui-ci fait traction et maintient le moulinet au vent pour des vitesses inférieures à 12 mètres; mais, au delà, son effort devient inférieur et la pression du vent lui imprime une rotation suivant z' et lui fait prendre les positions T' et T". Dans cette dernière, le moulinet a décrit 90°, il est complètement replié et retenu par l'enclanchement.

Mais le vent frappe toujours perpendiculairement le moulinet, et comme la courbure des ailes a changé de sens, la rotation du mécanisme est inverse; tout l'ensemble de la turbine fait machine en arrière, jusqu'à ce que les roues et le moulinet soient parallèles au vent. L'appareil s'arrête et est désorienté, c'est-à-dire qu'il suit les changements de direction du vent.

Donc on peut régler la turbine pour des vitesses variables, en augmentant ou en diminuant le poids p , en ajoutant ou en retranchant des rondelles de plomb. Il suffit d'avoir fait fonctionner ce moulin pour en connaître toute la docilité.

Installation. — La turbine se monte ordinairement sur une colonne creuse en fonte Z (fig. 44), solidement boulonnée à des pattes noyées dans un massif en maçonnerie H. La colonne est sectionnée en plusieurs parties reliées entre elles par des colliers BB. L'ensemble est soutenu verticalement par huit haubans tt , formés de fortes tringles en fer, accrochées les unes aux autres et ancrées à des pattes SS, fixées dans des scellements en maçonnerie. Le tout est d'une solidité à toute épreuve et résiste aux plus grands vents.

Pour accéder à la turbine, un escalier métallique en spirale EE est fixé le long de la colonne, il aboutit à une plate-forme G, entourée d'une grille mm (fig. 42). Pour les graissages, une petite échelle accolée à la roue fixe permet d'atteindre les godets graisseurs. La hauteur de l'installation varie suivant

les lieux, citons les chiffres de 15, 17 à 18 mètres, comme étant les plus courants.

Transmissions. — L'arbre AA traversant la colonne se termine au bas par un engrenage conique, commandant un

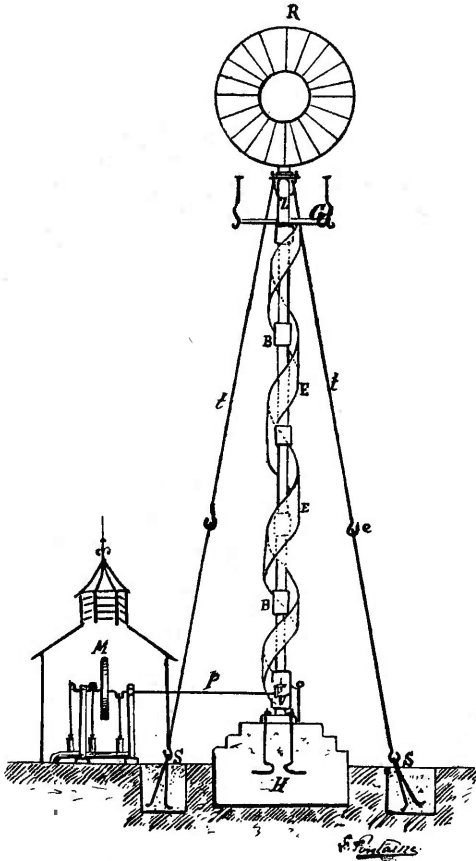


Fig. 44. — Installation d'une « Eolienne » commandant une pompe.

pignon V, calé à l'extrémité d'un arbre de couche *p*, se rendant dans un petit kiosque où est montée une pompe M. Celle-ci est munie de trois corps, à piston plongeur en bronze, dont les diamètres varient entre 32 mill. à 125 mill., les clapets sont également en bronze. Une poulie-volant régularise le mouvement des tiges des pistons.

Prix. — L'« Eolienne » se construit en trois modèles : le n° 1 avec turbine, transmissions, colonne, escalier, mécanisme des pompes, montage, coûte 3200 fr. ; le n° 2, 4800 fr. ; le n° 3, 5700 fr.

La turbine peut se monter sur pylône et être employée à commander des machines autres que des pompes.

Turbine Rollason. — Cette turbine, d'origine récente (1897), est construite en Angleterre par M. Rollason et représentée

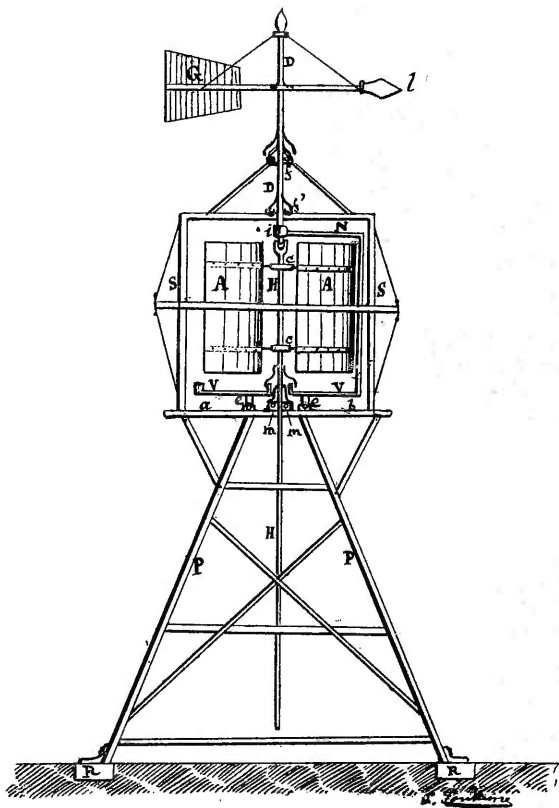


Fig. 45. — Coupe verticale de la turbine Rollason.

en France par M. Pollock, 7, rue Ambroise-Thomas (Paris). Le principe sur lequel est basée cette machine est nouveau ; la roue motrice est à axe vertical. Elle se compose (fig. 45)

d'un pylône prismatique PP, étré sillonné dans tous les sens et solidement boulonné à des blocs de fondation RR.

En *ab* se trouve une plate-forme supportant une cage ou tour ajourée SS. Dans celle-ci se trouve la roue motrice, constituée par cinq aubes courbes AA, solidement fixées en *cc* à l'arbre moteur HH. Cet arbre est supporté par des galets radiaux *mm*, tournant dans une cuvette circulaire remplie d'huile. Les aubes portent des règles inclinées dites directrices, qui servent à projeter la force du vent vers la périphérie.

L'appareil moteur se complète par une vanne régulatrice N, très ingénieuse. Elle consiste en un volet semi-circulaire, à lames en bois, portant inférieurement des bras VV, montés sur des galets *ee*, roulant dans une cuvette circulaire également remplie d'huile. La vanne est munie, en haut, d'un bras fixé en *i* à un axe vertical DD, reposant dans une crapaudine terminant l'arbre moteur HH. A la partie supérieure, se trouve clavetée une très forte girouette G, dont la pointe *l* indique la direction du vent; des galets à graisseurs *ff'* supportent l'ensemble.

La girouette sert de gouvernail et doit déplacer la vanne sur son chemin circulaire en amenant ses deux extrémités parallèles à la direction Gl (fig. 46). Le vent s'engouffre suivant la flèche *xxx*, agissant sur trois aubes *A₁*, *A₂* et *A₃*, grâce au grand vide placé au centre de la roue. Le volet N joue ici le rôle de coursier.

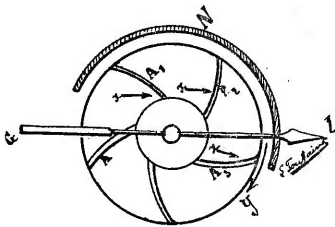


Fig. 46. — Mode d'action du vent dans la turbine Rollason.

Si la direction du vent vient à changer, la girouette

tend à se mettre parallèle à sa direction, mais en même temps elle entraîne dans son déplacement le volet N, de sorte que l'orientation se fait automatiquement.

La turbine se construit pour des diamètres de 2^m50 jusqu'à 12 mètres. D'après M. Rollason, pour une surface agissante de 28 mètres carrés et un vent de 28 kilom. à l'heure, la puissance utilisable est de 4 chevaux-vapeur.

Le moteur Rollason a été adopté pour l'éclairage électrique, la mouture des grains, l'élévation des eaux, etc.

Installations des Moulins à vent

Nous avons déjà étudié les conditions principales qui doivent présider pour déterminer la surface d'action à donner à la roue, pour une force donnée, en tenant compte de vitesses moyennes comprises entre 5 à 7 mètres par seconde. La hauteur du pylône est également réglée d'après la hauteur des obstacles environnants, elle doit toujours les dépasser de 4 mètres, pour que la roue motrice prenne le vent dans toutes les directions. C'est généralement sur ce point qu'on n'apporte pas assez d'attention, et nous avons souvent vu des moulins marcher d'une façon irrégulière à cause du manque de hauteur de la tour.

La première application que l'on peut faire du moulin à vent est l'élévation des eaux. Celles-ci peuvent être captées par puits creusés plus ou moins profondément, suivant la nature géologique du terrain et suivant la distance de la couche aquifère à atteindre. Les eaux souterraines proviennent des pluies qui, en ruisselant sur le sol, s'infiltrent dans les couches profondes en suivant les fissures des roches. Elles ne sont arrêtées que par les couches d'argile imperméables; constituant des réservoirs plus ou moins grands. Dans le creusage d'un puits, on doit donc atteindre ces couches imperméables et même en couper plusieurs pour obtenir le maximum de surface déversante. Dans les couches d'alluvion, on peut obtenir des puits instantanés en enfonçant avec un mouton des tubes d'acier vissés ensemble, la pompe est raccordée au sommet.

Le choix de la pompe est très important à considérer; on doit se baser sur ce point pratique : *les pompes n'aspirent l'eau qu'à 8 à 9 mètres de profondeur.*

Donc : 1° on placera pour un puits peu profond une pompe au niveau du sol, au centre du pylône. Elle peut être aspirante et foulante, ou aspirante élévatoire (fig. 47). Le type Pilter représenté se fixe par sa base sur des traverses, la tige du piston peut être mise en mouvement par le moulin ou par un balancier à main. Pour ces deux marches, on réunit le piston par des clavettes à l'un des leviers quelconques.

2° Si le puits est profond et que la couche d'eau à atteindre dépasse 8 mètres de hauteur, il faut placer la pompe dans le puits ou employer une noria ou une pompe à chapelet.

Nous avons donné dans la figure 21 une vue d'ensemble d'une installation pour puits profond. Quant au meilleur système de pompe aspirante et élévatoire, c'est la pompe dite

Siphon représentée en coupe verticale par la figure 48. L'eau arrive par le tuyau d'aspiration et remplit un espace annulaire, ce qui rend la pompe *indésamorçable*, puis elle pénètre

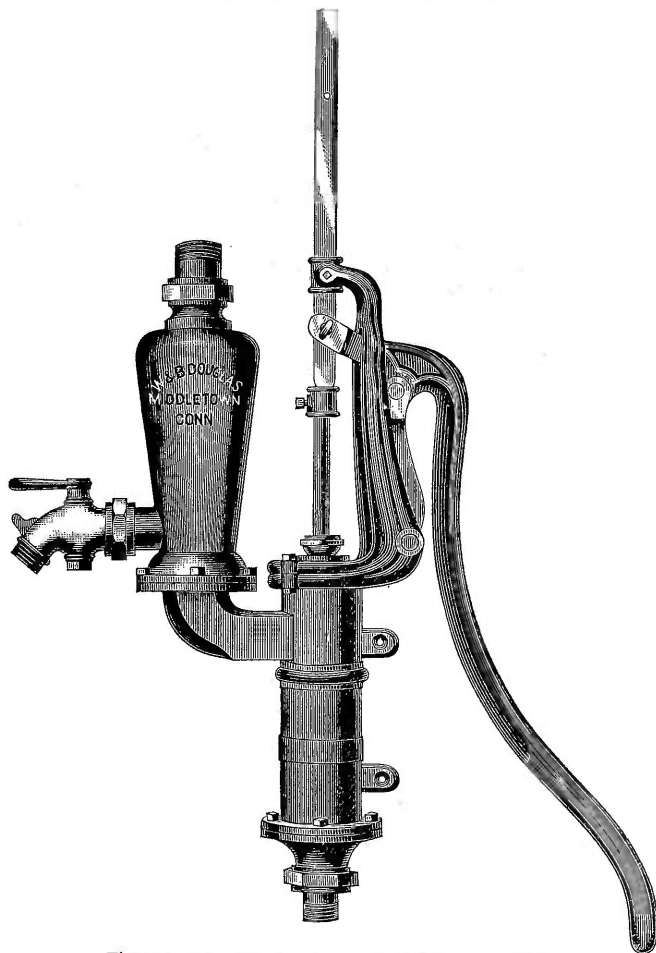


Fig. 47.— Pompe aspirante et élévatoire Pilter.

dans le corps par aspiration. Le piston en descendant laisse passer cette eau à sa partie supérieure par une soupape, puis en remontant il la soulève dans une cloche à air, qui fait matelas et la refoule dans le tuyau d'ascension, en passant par une soupape de retenue.

La tringle du piston ne travaille qu'à l'extension ; elle ne risque pas de se déformer. Parmi les bonnes pompes, il faut citer celles de MM. Durey-Sohy et Piltet.

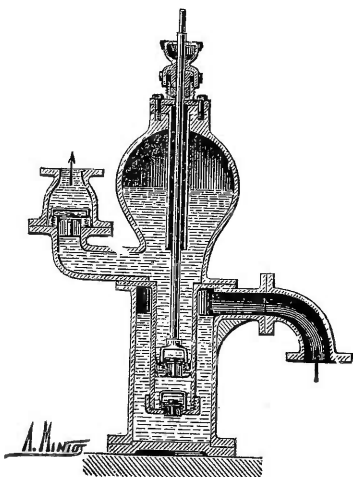


Fig. 48. — Coupe verticale d'une pompe « Siphon » Durey-Sohy.

Les pompes doivent donner 30 à 35 coups par minute ; on doit préférer les corps en bronze, l'usure est beaucoup moins rapide. Le diamètre du piston peut varier de 60 à 160 millim., celui des tuyaux de 40 à 80 millim.

Le volume d'eau théorique que pourrait élever une pompe par seconde, s'il n'y avait pas de pertes dues aux espaces nuisibles, aux fuites, est égal à la surface du piston, multipliée par la longueur de course et par le nombre de coups de piston. En raison des pertes, le volume réel d'eau élevée n'est que les 0,95 du volume théorique dans les bonnes pompes, et 0,90 à 0,80 dans les mauvais systèmes. On doit donc faire entrer ces coefficients dans les calculs des pompes que l'on veut accoupler au moulin à vent ou à tout moteur.

Exemple : Déterminer le diamètre à donner à un corps de pompe, devant élever 1,5 litres d'eau par seconde, la course étant de 0 m. 25, le coefficient pratique de 0,95, le nombre de coups de piston double par minute de 30. La pompe est aspirante et élévatoire.

Réponse. — En réalité, on doit calculer le corps de pompe pour un débit de 3 litres, car nous n'avons un coup de piston double que toutes les deux secondes.

Et, en faisant intervenir le coefficient pratique, on a comme volume réel du corps de pompe $\frac{3 \times 100}{95} = 3$ litres 157.

$$D \text{ où } V = \pi R^2 H = 0,003157 = 3,1416 \times R^2 \times 0,25.$$

$$\text{Et } R^2 = \frac{0,003157}{3,1416 \times 0,25} = 0^m,004021.$$

$$R = \sqrt{0,004021} = 0,0634.$$

$$D = 0,0634 \times 2 = 0,1268.$$

M. Hérisson, professeur à l'Institut agronomique, a fait des essais dynamométriques sur une pompe aspirante et élévatrice à simple effet, ayant un diamètre de piston de 75 millim. et 119 millim. de course, elle donnait 35 coups à la minute. Les rendements ont été les suivants :

Hauteur d'élévation totale	Hauteur de l'aspiration	Rendement.
5 mètres	2 m. 50	0,36
8 —	—	0,50
10 —	—	0,56
30 —	5 m. 50	0,65
50 —	—	0,67
70 —	—	0,70

D'après M. Hérisson, quand la vitesse de la pompe diminue, le rendement s'élève. Ainsi, une pompe donnant 21 coups par minute, au lieu de 35, avec un rendement de 0,36, donne 0,45 pour une élévation de 5 mètres.

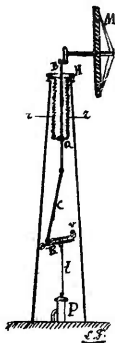


Fig. 49. — Modifications Hérisson.

M. Hérisson a apporté dans les moulins à vent deux perfectionnements qui méritent d'être signalés. Le premier (fig. 49) consiste à munir la bielle centrale B de deux ressorts à boudin *rr*, dits compensateurs, fixés d'une part à la partie tournante H, et d'autre part à la bielle en *a*. A la descente, ces ressorts travaillent à l'extension ; à la montée, ils restituent la puissance vive et permettent au moulin de passer les points morts. Par cette disposition, on emmagasine dans les ressorts le travail à vide, qui est ensuite utilisé à soulever la colonne d'eau.

D'après les observations de l'auteur, l'effort exercé par l'extension du ressort doit être les 2 tiers du poids de la colonne

d'eau à soulever, augmenté du poids du piston et de la bielle. Il a été observé qu'un moulin ne démarrant qu'avec un vent de 2 m. 50, démarre avec un vent de 1 m. 70 lorsqu'il est muni de ressorts.

La deuxième modification apportée par M. Hérisson consiste dans l'adoption d'un réducteur de course pour la commande du piston de la pompe. Ce dispositif consiste (fig. 49) en un levier R, commandé par *c*; une vis *v* permet de déplacer la tige *t* de la pompe P. Par un grand vent, on appelle *t* vers la droite de la figure; par un vent faible au contraire on la pousse vers la gauche. Sur une pompe de 460 millim. de course maximum, M. Hérisson a pu réduire celle-ci à 140 millimètres.

Le but visé dans cette modification est d'utiliser tout le travail que peut produire le moulin, et par les vents les plus variables.

Le moulin à vent peut parfaitement servir à l'irrigation des

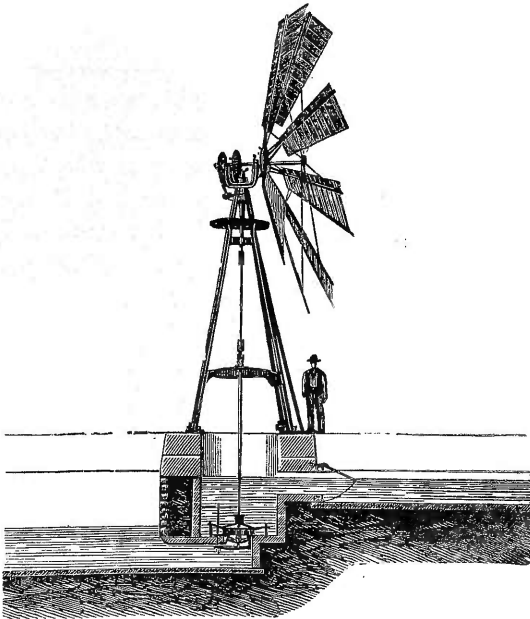


Fig. 50.— Installation d'un moulin à vent et d'un rouet Dellon pour l'irrigation ou la submersion.

prairies et des vignobles : le Bordelais et le Midi ont déjà fait de nombreuses applications. Mais c'est surtout en Amérique

qu'on a appliqué sur une vaste échelle ce moteur dans les prairies.

Il suffira ordinairement de faire déboucher le tuyau de refoulement de la pompe dans un canal d'amenée principal, pour que l'eau se répartisse ensuite dans les rigoles d'arrosage. Nous n'insistons pas sur les immenses avantages que l'eau peut produire au point de vue du rendement des cultures.

Dans certains cas, on aura avantage à employer les *rouets* comme machines élévatoires. Le Midi de la France offre beaucoup d'exemples comme celui représenté par la figure 50. Le moulin à vent et le rouet sont du système Dellon, construits par M. Ray, à Montpellier. Le pylône est installé sur un puits en maçonnerie, au fond duquel se trouve une sorte de turbine clavetée sur l'axe rotatif venant du moulin. La partie inférieure de l'axe repose sur une crapaudine noyée dans l'eau.

L'eau à élever arrive à la base du puits, elle est prise par la turbine dont les aubes courbes la projettent à la périphérie et la font refluer vers un canal d'évacuation supérieur.

Les élévations se font généralement pour des hauteurs comprises entre 3 à 8 mètres ; le rendement des rouets oscille entre 0,60 à 0,75.

Quand on veut emmagasiner de l'eau pour une installation, il faut employer un réservoir et lui donner une capacité égale au moins à 6 fois la quantité d'eau consommée par jour, pour obvier aux périodes calmes.

On peut se servir d'un bassin cimenté, placé à une altitude plus élevée que les bâtiments ou tout autre point où l'on veut envoyer de l'eau. Celle-ci est distribuée par des conduites ordinaires.

On peut employer un bassin en tôle galvanisée ou noire, monté sur un pylône plus ou moins haut, suivant la pression demandée (fig. 51). L'installation représentée sert à l'arrosage d'un jardin.

Enfin, le troisième système consiste à monter le bassin sur une plate-forme ménagée dans le pylône du moulin à vent (fig. 52). Cette installation est très pratique, et a reçu de nombreuses applications dans les villages alimentés d'eau par un moulin à vent.

Pour les puits profonds, on peut également employer les pompes à chapelet, dont la figure 53 montre un exemple de ce genre. Le moulin est établi sur le puits, dans lequel plonge un tuyau en cuivre aboutissant à un dégorgeoir. La chaîne sans fin, garnie d'obturateurs, passe sur une poulie à gorge,

animée d'un mouvement de rotation par un engrenage conique commandé par l'axe du moulin. La vitesse à donner à la chaîne est d'environ $0^m,80$ par seconde. Cette application est à recommander spécialement pour les irrigations.

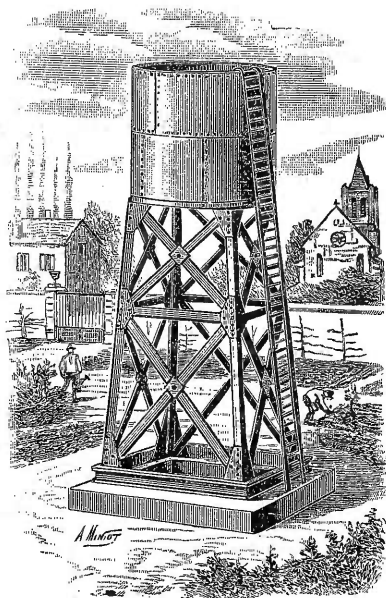


Fig 51. — Bassin monté sur pylône.

Le moulin à vent peut être aussi employé à l'épuisement des marais, des carrières, en faisant des roues puissantes, qui ont jusqu'à 10 mètres de diamètre, et peuvent fournir 10 à 20 chevaux de puissance. Dans le midi de la France, ces applications sont nombreuses dans les marais à eaux salées, sur les côtes de l'Océan, et surtout en Hollande. La figure 54 donne une vue d'ensemble d'un moulin à vent « Simplex » commandant une roue d'épuisement dans un marais.

Les Hollandais sont redevables de leur sol, depuis des siècles, au moulin à vent, car la mer tend à envahir leur territoire. Les espaces maintenus à sec sont appelés *Polders*. Les provinces de la Frise, de la Gueldre, etc., situées sur le littoral, sont couvertes de polders remplis de prairies, coupées de canaux dans tous les sens. Chaque polder renferme plusieurs moulins, commandant des machines élévatoires rejetant les eaux surabondantes dans des canaux secondaires, qui les

déversent dans des canaux principaux. L'aménagement hydraulique de ces contrées herbagères est donc des mieux comprises.

Le moulin hollandais (fig. 55) comprend une tour en bois, montée sur un massif en maçonnerie O O, dont la base communique avec un canal d'amenée M et un canal d'évacuation N. La carcasse de la tour est formée par des pièces de bois courbes GG, étré sillonnées solidement. La partie supérieure comprend une toiture oblique T, dont la base *f f* glisse sur une sorte de rail pour l'orientation. La charpente de ce toit supporte un arbre en bois A B, de 0^m,50 d'équarrissage, incliné à 10 à 15° à l'horizon. La tête extérieure est munie de quatre bras ou volants V V, sur lesquels sont fixées les voiles motrices. Sur A B est clavetée une roue à aluchons R, commandant une lanterne L, terminant un arbre en fer vertical H H. Celui-ci se prolonge jusqu'à une crapaudine inférieure et porte une deuxième couronne L' Il est inutile d'insister sur ce mode de transmission primitive, qui est semblable à

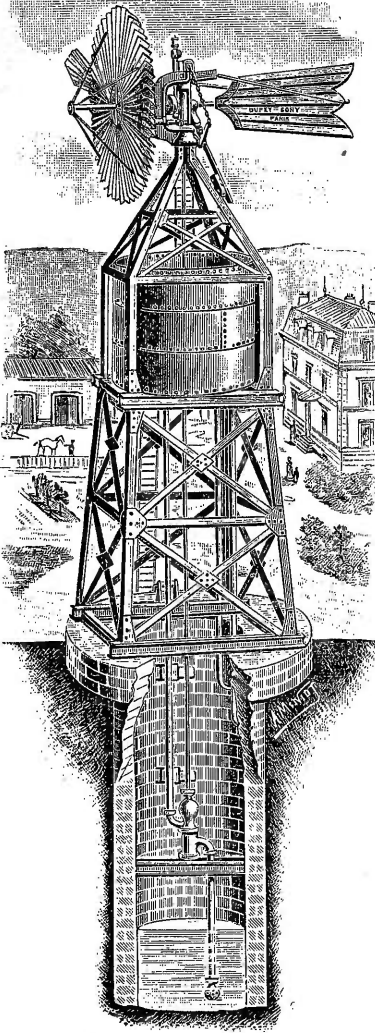


Fig. 52. — Bassin monté sur le pylône du moulin à vent Durey-Sohy.

celle des moulins anciens que nous avons déjà décrits. A

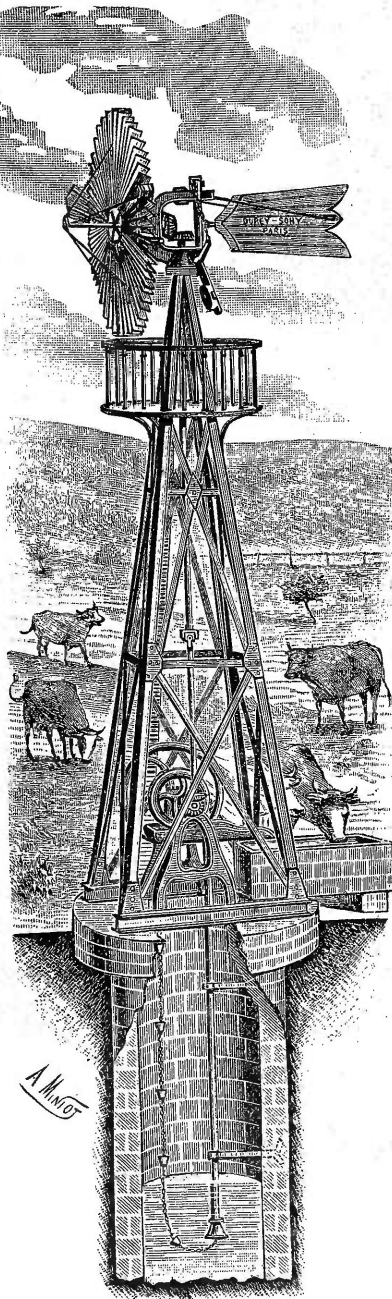


Fig. 53.— Installation d'un moulin à vent commandant une pompe à chapelet (Durey-Sohy).

l'arrière de la toiture est fixée une queue D, en plusieurs pièces de bois et qui sert à l'orientation de la voileure. Par un cabestan U, on appelle l'ensemble mobile vers un point fixe en tirant sur un câble. Pour ferler les voiles ou immobiliser

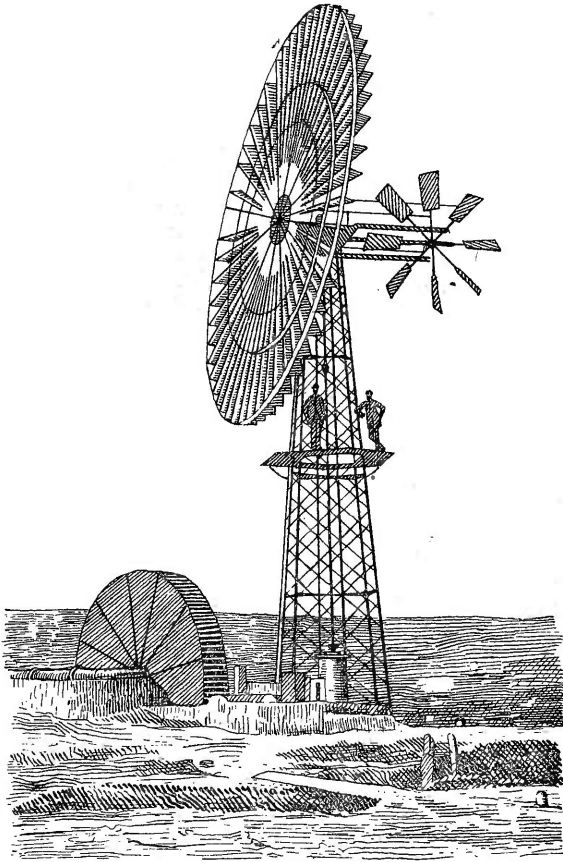


Fig. 54. — Moulin à vent « Simplex » commandant des appareils d'épuisement dans un marais.

le moteur, on fait appuyer un frein en bois S sur la couronne R, par l'intermédiaire d'un levier *t*, terminée par une corde *c*, sur laquelle on peut faire traction.

Les moulins hollandais commandent soit des roues à palettes, soit des vis. L'installation représentée par la figure

55 est une vis hollandaise E, dont l'axe repose inférieurement sur une crapaudine et en haut sur un collier; l'inclinaison est d'environ 30 degrés. La vis tourne au moyen d'un engrenage P, en prise avec L', dans un couloir semi-cylindrique *a b*.

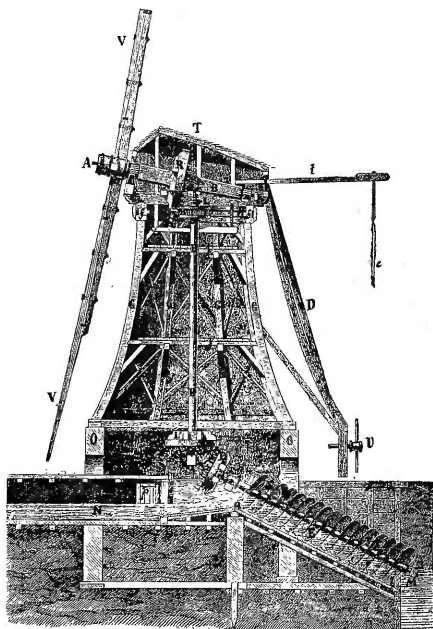


Fig. 53. — Moulin à vent hollandais commandant une vis.

L'eau est prise par la partie inférieure de la vis dans le canal de dessèchement M, elle est élevée dans le canal d'évacuation N. Pour éviter le retour de l'eau, le canal est fermé par des portes *p*. On emploie beaucoup la vis conique, plus étroite à la base qu'en haut; la vitesse de rotation est d'environ 18 tours par minute. La plupart des moulins de Hollande ont 27^m,20 de diamètre de voilure et élèvent par un vent moyen 250 litres d'eau par seconde à 2 mètres de haut.

Moulin à vent commandant des appareils d'intérieur de ferme.— En dehors de l'alimentation de l'eau pour une ferme, le moulin à vent peut être employé à la commande des appareils d'intérieur, tels que concasseur, hache-paille, etc. Quand le moteur est éloigné du bâtiment des instruments, on trans-

met le mouvement au moyen d'un câble métallique ou avec des *tringles à quadrants*. La transmission par câbles (transmission téléodynamique) (1) permet de mettre en mouvement

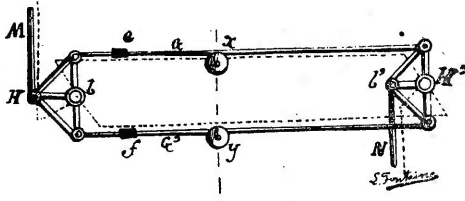


Fig. 56. — Transmission par triangles à quadrants.

des machines à rotation. La transmission à cadran ne peut servir qu'à commander des instruments à mouvement alternatif comme une pompe, une baratte, etc.

La transmission rigide à quadrants peut affecter plusieurs formes. La figure 56 en représente une dont la tige motrice du moulin est en M, et la tige de la machine à mettre en mouvement en N.

La transmission comprend deux croisillons HH', ayant leurs centres de rotation en $b b'$; ils sont réunis par deux tringles G G', munies de tendeurs $e f$. Pour assurer la rigidité de l'ensemble, on soutient, tous les 10 mètres, les tringles par des galets $x y$, fixés à des poteaux; elles roulent doucement dans les gorges. Les mouvements de va-et-vient de la bielle M sont transmis par oscillation à tout l'ensemble, et de là à la tige N.

On a employé autrefois, dans certaines installations du moulin Durand, des transmissions rigides ayant des articulations et cachées dans des conduites souterraines.

Installation d'un moulin à vent pour la commande d'une salle de préparation des aliments. — Les appareils à mettre en mouvement étant rassemblés dans une salle spéciale, l'installation la plus simple et la plus économique est de monter la roue motrice sur pylône prenant son appui sur la charpente de la toiture. La figure 57 montre un modèle adopté par M. Schabaver (Castres). Un engrenage d'angle commande la transmission principale, qui actionne par courroie un égre noir

(1) Pour ces transmissions, consulter notre premier fascicule (Coulet, à Montpellier).

de maïs, un concasseur alimenté par une chaîne à godets, une meule, etc.

Suivant la puissance de la roue motrice, on peut faire marcher simultanément tous les appareils; ou alternativement. On accède à une plate-forme pour opérer les graissages.

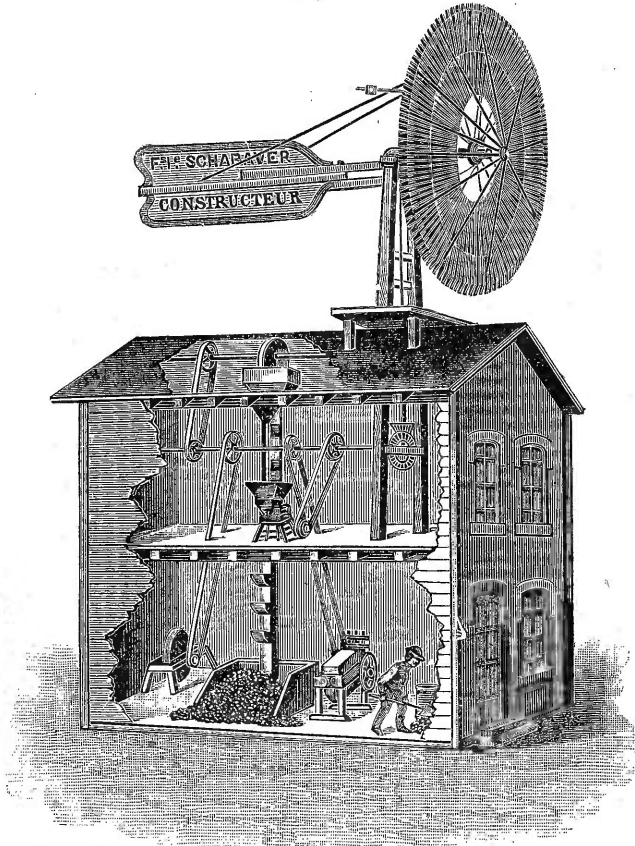


Fig. 57. — Atelier de préparation d'aliments commandé par un moulin Halladay (Schabaver, Castres)

Installations américaines. — Aux Etats-Unis, on construit généralement, à la base du pylône, un petit bâtiment où sont logés les instruments à mettre en mouvement. On installe ainsi de petites laiteries, au centre même des prairies; on y trouve une pompe dont l'eau est envoyée au refroidissement

des crémeuses logées dans un bac, et une baratte-tonneau à mouvement alternatif, commandée par une chaîne et deux tringles.

Une autre application fréquente est la commande des concasseurs à maïs. En effet, ces grains se récoltent en très grande abondance aux Etats-Unis, la mouture se fait d'une façon économique; les moulins sont alimentés par de grandes caisses contenant plusieurs hectolitres de grain, de sorte que la surveillance est très intermittente.

TABLE DES MATIÈRES

MOTEURS A VENT

	PAGES
Principe du moulin à vent.....	1
Historique des moulins à vent.....	2
Des vents en général.....	4
Vitesse et puissance des vents.....	5
Tableau donnant la vitesse et la pression des vents par mètre carré de voile.....	6
Anémomètres.....	6
Moulinet Robinson.....	6
Anémomètre Richard.....	7
Anémoscope.....	8
Anémo-cinémographe.....	8
Théorie de l'action du vent sur les ailes d'un moulin à vent.....	9
Détermination de la forme des aubes.....	10
Détermination du travail des moulins à vent.....	12
Exemple.....	13
Problèmes sur les moulins à vent.....	14
Classification des moulins à vent.....	14

Etude des différents moulins à vent

1^{re} CLASSE. — MOULINS A AILES

Moulin à vent ancien.....	15
Modification de Berton.....	18
Moulins à ailes autorégulateurs.....	19
Système Durand.....	19
Moulin de Formis-Benoit.....	20
Moulin Dellon.....	22

2° CLASSE. — MOULINS A ROUE

Etude du type « Eclipse »

Orientation des moulins à roue	25
Réglage de l'intensité et désorientation.....	25
Moteurs à roue à aubes planes.....	27
Système Durey-Sohy	27
Moulins à aubes courbes.....	30
Moulin « Idéal ».....	30
Modifications dans la transmission du système « Idéal »	33
Quantité d'eau élevée par l'« Idéal »	35
Système Durozoi	35
Moulin Lucet.....	37

Etude du type Halladay

Moulin Schabaver.....	42
Moulins américains à roue « Simplex »	46

3° CLASSE. — TURBINES ATMOSPHÉRIQUES

Principe d'une turbine atmosphérique.....	46
Turbine atmosphérique Bollée.....	47
Turbine Rollason.....	51

Installations des moulins à vent

Conditions d'installation d'un moulin à vent.....	53
Application du moulin à vent à l'élévation des eaux.....	53
Choix d'une pompe pour moulin à vent.....	53
Calcul du diamètre d'une pompe pour un débit donné	55
Modifications apportées aux moulins à vent par M. Hérisson....	56
Installation d'un rouet Dellon pour l'irrigation ou la submersion.	57
Installation d'eau comprenant un réservoir monté sur pylône..	58
Bassin monté sur le pylône du moulin.....	58
Installation d'une pompe à chapelet	59
Installation d'un moulin « Simplex » pour l'épuisement d'un ma- rais	59
Les Polders de Hollande.....	59
Moulin hollandais des polders.....	60
Moulin à vent commandant des appareils d'intérieur de ferme..	63
Transmissions téledynamiques et par tringles à quadrant.....	64
Installation d'un moulin à vent pour la commande d'une salle de préparation des aliments.....	64
Installations américaines.....	65

L'HYDRAULIQUE AGRICOLE

ET

LES MOTEURS HYDRAULIQUES

NOUVEAU TRAITÉ DE MÉCANIQUE AGRICOLE

V

L'HYDRAULIQUE AGRICOLE

ET LES

MOTEURS HYDRAULIQUES

PAR

L. FONTAINE

PROFESSEUR A L'ÉCOLE PRATIQUE D'AGRICULTURE DES FAURELLES

AVEC 80 FIGURES DANS LE TEXTE

MONTPELLIER
COULET ET FILS, ÉDITEURS
5, Grand'Rue, 5

PARIS
MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
120, boulevard Saint-Germain

1901

NOUVEAU TRAITÉ DE MÉCANIQUE AGRICOLE

HYDRAULIQUE

ET

MOTEURS HYDRAULIQUES

HISTORIQUE

L'idée d'employer le poids de l'eau à la mise en marche des roues hydrauliques remonte à la plus haute antiquité. Ce sont les besoins croissants de la mouture des grains nécessaires à la nourriture des hommes qui amenèrent ces derniers à perfectionner leurs moulins. Le génie humain, dès l'origine, ne cessa de chercher à asservir les forces naturelles à son empire.

L'écrasement des grains de blé, pour le réduire en farine, paraît dater, dans l'Europe occidentale, de l'époque robenhausienne. Le moulin primitif employé consistait en une pierre plate appelée meule dormante, recouverte du grain, sur lequel passait une autre pierre plate, animée à bras d'un mouvement de va-et-vient.

Les Grecs et les Romains employèrent ensuite le moulin à meule tournante muni d'une flèche, à laquelle s'attelaient des

NOUVEAU TRAITÉ DE MÉCANIQUE AGRICOLE

HYDRAULIQUE

ET

MOTEURS HYDRAULIQUES

HISTÓRIQUE

L'idée d'employer le poids de l'eau à la mise en marche des roues hydrauliques remonte à la plus haute antiquité. Ce sont les besoins croissants de la mouture des grains nécessaires à la nourriture des hommes qui amenèrent ces derniers à perfectionner leurs moulins. Le génie humain, dès l'origine, ne cessa de chercher à asservir les forces naturelles à son empire.

L'écrasement des grains de blé, pour le réduire en farine, paraît dater, dans l'Europe occidentale, de l'époque robenhausienne. Le moulin primitif employé consistait en une pierre plate appelée meule dormante, recouverte du grain, sur lequel passait une autre pierre plate, animée à bras d'un mouvement de va-et-vient.

Les Grecs et les Romains employèrent ensuite le moulin à meule tournante muni d'une flèche, à laquelle s'attelaient des

esclaves. Samson fut condamné à tourner la meule chez les Philistins, Plaute y fut également contraint à Rome. Les esclaves mouraient vite à ce métier.

Les Romains remplacèrent ensuite les esclaves par le cheval, ils appelèrent leur moulin *mola jumentaria*. Dans la suite, ils demandèrent aux cours d'eau la force motrice nécessaire pour moudre leurs grains, en important le *moulin à eau* d'Asie, qu'ils rencontrèrent dans l'empire de Mithridate, vers l'an 70 avant J.-C. Néanmoins, les Romains attribuèrent cette découverte à Bélisaire, pendant qu'il était assiégé dans Rome par les Goths (555).

C'est vers l'an 536 que l'on vit les premiers moulins flottants sur le Tibre ; ils devinrent plus nombreux au temps de Vitruve, de Pline, d'Arcadius et d'Honorius à Rome.

Les moulins à eau passèrent dans les Gaules ; il y en eut dès l'époque mérovingienne, quoique les moulins à bras ne fussent pas abandonnés. On ne renonça complètement à ces derniers qu'au XIII^e siècle.

Les roues hydrauliques, mises en mouvement par le flux et le reflux de la mer, datent du XI^e siècle. Les scieries mécaniques furent inventées en Allemagne vers 1352.

Stevinus posa les premiers principes de l'hydrostatique vers 1586, puis vinrent les travaux de Galilée en 1634. Mais c'est à Toricelli et à Daniel Bernouilli que revient l'honneur de la découverte des théorèmes de l'hydrodynamique.

Importance des moteurs hydrauliques en agriculture. — L'eau en coulant, suivant une pente naturelle et sous l'influence de la pesanteur, peut donner un certain travail ou puissance vive $\frac{PV^2}{2g}$. Comme la pesanteur est une force constante, l'eau peut fournir, sur tout le parcours qu'elle suit, de chute en chute, un travail constant. Qu'est-il utilisé de ces forces naturelles immenses ? Presque rien ! De distance en distance, le long des rivières, les usines s'alimentent à cette source de travail, mais dans une proportion infime. Car on ne doit pas perdre de vue que ce n'est pas une puissance vive accumulée dans l'eau que l'on utilise à la production du travail, mais bien la force de la pesanteur agissant sur une masse tombant d'une certaine hauteur ou chute. Le travail obtenu sera donc proportionnel à *la masse d'eau et à la chute*. D'après la statistique agricole de 1892, 11591 roues hydrauliques sont employées en agriculture.

Les cas sont nombreux et surtout dans les pays accidentés, à rivières et ruisseaux abondants, où l'on pourrait multiplier

les installations de ce genre de moteur. Le peu d'emploi que l'on fait de la force motrice de l'eau en agriculture provient en général de l'éloignement trop grand des fermes des cours d'eau. Beaucoup de propriétés, cependant, sont pourvues d'un ruisseau, où l'on pourrait aménager une chute.

Reste la question d'utiliser le travail. On peut l'employer à commander une petite usine (laiterie), des pompes pour élever l'eau destinée à l'irrigation. S'il faut transporter à distance cette puissance, on peut opérer par transmission téléodynamique (1) quand la distance est faible, ou par transmission électrique. Sur ce dernier point, un champ d'application immense est ouvert à l'agriculture, car la transformation de l'énergie hydraulique en électricité transportable à la ferme permettra d'exécuter les travaux agricoles avec la puissance des chutes d'eau, d'éclairer les bâtiments, de faire tourner les machines d'intérieur. Si nous parlons ainsi, c'est que la question est sortie du domaine des rêves, et que la conquête est faite et réalisée dans quelques exploitations françaises que nous étudierons au chapitre de l'électricité.

STATIQUE DES FLUIDES

Constitution des fluides. — Les fluides (de *fluere*, couler) sont des corps dont les molécules sont mobiles, tandis que chez les corps solides, ces molécules sont fixes, maintenues accolées les unes aux autres par des forces attractives, constituant la cohésion. Parmi les fluides, on en distingue deux sortes : 1^o les liquides ; 2^o les gaz et les vapeurs.

Les liquides ont leurs molécules très mobiles, ils sont peu compressibles ; en pratique, on les considère comme *fluides incompressibles*.

Les gaz sont également caractérisés par des molécules excessivement mobiles et répulsives, elles tendent à s'éloigner les unes des autres. Cette propriété constitue l'*élasticité* ou la *force expansive* des fluides élastiques. Les gaz sont en outre très compressibles.

Fluides parfaits. — Viscosité. — En admettant chez les molécules des fluides une mobilité poussée à l'extrême, on a ce qu'on appelle les *fluides théoriquement parfaits* ou *fluides parfaits*. La fluidité parfaite serait donc celle où aucune résis-

(1) Pour cette question, consulter notre premier fascicule. (Coulet, Montpellier).

tance ne se produirait dans le déplacement d'une portion de fluide sur une autre ou sur une surface solide. En réalité, la fluidité parfaite n'existe pas; il règne entre les molécules des liquides et des gaz une certaine dépendance appelée *viscosité*, et qui provoque des frottements que l'on ne peut négliger dans la plupart des cas, quand il s'agit de l'écoulement.

Division de l'étude mécanique des fluides

Chacun des groupes de fluides que nous avons donnés peut être étudié au repos (statique), ou en mouvement (dynamique). Pour les liquides, on a donc l'hydrostatique et l'hydrodynamique; l'ensemble constitue l'hydraulique.

Pour les gaz, on a la pneumostatique et la pneumodynamique; l'ensemble forme la pneumatique.

HYDRAULIQUE

Hypothèses admises en hydraulique. — Fluidité parfaite, incompressibilité. — On admet pour l'étude de l'hydraulique plusieurs hypothèses. La première est la fluidité parfaite; les molécules liquides glissent sans frottement les unes sur les autres et sur les parois des vases qui les renferment. Par suite, on peut les écarter sans dépense de travail. L'erreur commise en faisant l'hypothèse d'une fluidité parfaite est notable quand il s'agit de fluides en mouvement; elle est insensible quand il s'agit de fluides en repos.

Dans la seconde hypothèse, on admet que les liquides sont incompressibles, ce qui est sensiblement exact pour les pressions entre lesquelles nous avons à les considérer.

HYDROSTATIQUE

Principes fondamentaux sur l'équilibre des fluides

L'hypothèse de l'absence de frottement entre les molécules des fluides conduit aux principes fondamentaux suivants :

PRINCIPE I. — *La pression exercée par un fluide en chaque point de la paroi du vase qui le contient est normale à cette paroi.*

PRINCIPE II. — *La pression en un point donné d'une masse fluide est la même dans toute direction autour de ce point.*

PRINCIPE III, OU DE PASCAL.— *Un liquide transmet intégralement dans tous les sens et à toutes ses parties la pression exercée en un point quelconque de sa surface.*

Il y a lieu de faire les remarques suivantes :

1° La pression exercée en un point se transmet intégralement à l'intérieur du liquide aussi bien qu'aux parois du vase ;

2° Le principe d'égalité de pression en tous sens convient aux fluides élastiques comme aux liquides ;

3° La pression en un point est la pression totale (pression atmosphérique et pression transmise) qui s'exercerait sur l'unité de surface quelconque passant par ce point, si sur chaque élément de cette surface la pression conservait précisément la valeur qu'elle possède au point considéré. En appelant S la surface entourant et comprenant le point, et P la

pression totale, on aura $\frac{P}{S} =$ la *pression moyenne* sur cette surface et à la limite de ce rapport, lorsque S diminue indéfiniment, n'est autre chose que la pression au point considéré. Donc si p est la pression en un point pour une surface infiniment petite s comprenant le point, la pression sera $p s$.

Le principe de Pascal est appliqué dans la presse hydraulique.

Equilibre d'un fluide soumis à la seule action de la pesanteur

THÉORÈME 1^{er}. — *La surface libre d'un liquide soumis à la seule action de la pesanteur est horizontale.* — En supposant qu'elle soit inclinée en un endroit quelconque, les molécules de cette région glisseraient sous l'action de leur poids, qui se décomposerait en deux forces. L'une serait normale à la surface et détruite par l'incompressibilité du liquide, l'autre parallèle à la surface et entraînerait sans frottement les molécules jusqu'au point le plus bas.

THÉORÈME 2. — *En tous les points d'un même plan horizontal, la pression est la même.* Le plan est appelé *surface de niveau*.

THÉORÈME 3. — *La pression qui s'exerce en un point est égale à la pression qui s'exerce en un point supérieur, augmentée du poids du cylindre liquide ayant pour hauteur la distance des plans horizontaux qui passent par ces deux points.*

En désignant par ω la base du cylindre, par h sa hauteur, par π le poids du mètre cube de fluide, par p et p' les pressions par unité de surface à la base et au sommet du cylindre, on aura :

$$p \omega = p' \omega + \pi \omega h$$

où

$$p = p' + \pi h \quad (1)$$

Ce principe constitue la *loi hydrostatique*.

Remarque. — Si dans la formule (1) nous retranchons p' de p , nous obtenons une pression p'' , égale au poids du cylindre πh , soit

$$p'' = \pi h$$

d'où

$$h = \frac{p''}{\pi}$$

× Cette égalité est d'une importance considérable, car elle est d'une application constante dans les calculs d'hydrodynamique ; elle indique qu'une pression peut être représentée par une hauteur h d'un liquide. On appelle cette hauteur de liquide la *hauteur représentative d'une pression*. Ainsi, par exemple : la hauteur de mercure représentative de la pression atmosphérique est de 760 millimètres dans les conditions normales. Ceci indique que la pression atmosphérique par mètre carré, divisée par le poids du mètre cube de mercure, donne un quotient égal à 0^m,760.

THÉORÈME 4. — *En tous les points d'une même tranche horizontale, la densité du fluide est la même.*

THÉORÈME 5. — *Liquides superposés.* — *La surface de séparation de deux liquides superposés de densités différentes doit être plane et horizontale.*

APPLICATION DES THÉORÈMES PRÉCÉDENTS. — Dans une masse fluide en équilibre d'une grande étendue, la surface libre doit être en chaque point perpendiculaire à la verticale. De cette façon, la surface de niveau des mers doit être sphérique, chaque élément de la surface devant être perpendiculaire à un rayon de la sphère.

Pression sur les parois et le fond des vases — Vases communicants

THÉORÈME 6. — *La pression exercée par un liquide sur une paroi plane est égale au poids d'un cylindre liquide qui aurait pour base cette paroi et pour hauteur la distance du centre de gravité au niveau supérieur du liquide.*

Considérons (fig. 1) une portion de paroi plane AB d'un vase, et faisons abstraction de la pression atmosphérique. En appelant p , p' , p'' la pression par unité de surface exercée en chaque point A, D, B de cette paroi ; ω , ω' , ω'' les surfaces com-

prenant ces poids ; h, h', h'' leurs distances à la surface libre et π le poids spécifique du liquide, on a comme pressions partielles :

$$\begin{aligned} p \omega &= \pi \omega h \\ p' \omega' &= \pi \omega' h' \\ p'' \omega'' &= \pi \omega'' h'' \end{aligned}$$

La pression totale pour la surface considérée sera :

$$\Sigma p \omega = \pi (\omega h + \omega' h' + \omega'' h'' \dots)$$

La quantité entre parenthèses peut être remplacée par $S \times DD'$, S représentant la surface totale pressée AB , et DD' la distance du centre de gravité au niveau supérieur, de sorte que la pression totale

$$\Sigma p \omega = \pi \times S \times DD' \text{ c. q. f. d.}$$

Remarque. — En tenant compte de la pression atmosphérique p_0 , par unité de surface, on aura $(p_0 + \pi \times DD')$ S , pour expression de la pression totale supportée par la surface S .

PROBLÈMES. — 1° Une vanne rectangulaire est verticale et son bord supérieur est à fleur d'eau ; la hauteur de l'eau est de 1^m30, la largeur de vanne de 1^m20. Quelle est la poussée de l'eau ?

Réponse. — Surface pressée $1,30 \times 1,20 = 1^{\text{m}2} 56$.

Distance du centre de gravité à la surface $\frac{1,30}{2} = 0^{\text{m}} 65$

Pression $= \pi \times S \times DD' = 1000 \times 1,56 \times 0,65 = 1014 \text{ kgr.}$

2° Faire le même problème en supposant que la vanne soit inclinée de 45° sur l'horizon ?

Réponse. — Hypoténuse du triangle rectangle :

$$1,30 \times 1,30 + 1,30 \times 1,30 = 3^{\text{m}2} 38$$

Surface pressée $3,38 \times 1,20 = 4^{\text{m}2} 056$

Pression $= 1000 \times 4,056 \times 0,65 = 2636 \text{ kgr } 40$.

Le théorème que nous venons d'étudier offre une très grande importance pour le calcul de l'épaisseur des digues devant résister aux poussées des liquides qu'elles ont à soutenir.

COROLLAIRE. — *Pression sur le fond des vases.* — La pression exercée par un liquide pesant sur le fond horizontal du vase qui

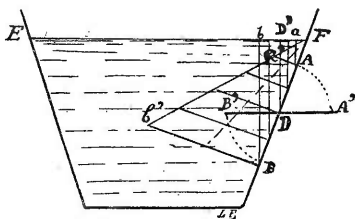


Fig. 1. — Pression sur les parois latérales des vases.

le contient est égale au poids d'une colonne de ce liquide ayant pour base la surface du fond et pour hauteur sa distance au plan de la surface libre.

THÉORÈME 7. — Centre de pression. — *Le centre de pression est situé au-dessous du centre de gravité.* Les pressions exercées par un liquide sur les différents points d'une paroi plane sont des forces parallèles, elles admettent par conséquent une résultante unique, appliquée en un point appelé *centre de pression*. Démontrons, en nous servant de la figure 1, que ce centre de pression est situé *au-dessous* du centre de gravité de la paroi.

Faisons tourner AB autour de son centre de gravité D, jusqu'à ce qu'elle devienne horizontale suivant A'B'. La pression supportée par A'B' et AB reste la même, seulement sur A'B', elle est répartie uniformément et la résultante unique passerait par le centre de gravité D. Ramenons A'D' dans sa position primitive AD, la poussée sur les éléments situés au-dessous de D augmente, tandis que la poussée sur les éléments situés au-dessus diminue. Forcément, le point d'application de la résultante définitive sera au-dessous de D.

Exemple de détermination géométrique du centre de pression. — Soit (fig. 2) un rectangle dont l'un des côtés est AB, retenant

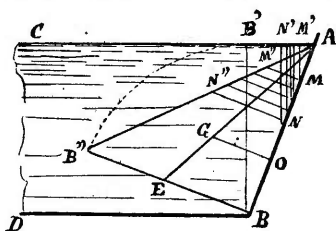


Fig. 2.— Détermination du centre de pression.

de l'eau à niveau A C. Prenons un élément MN de surface ω , la pression qu'il supporte est égale à une colonne liquide MNM'N'. Si à chaque point de cet élément, nous élevons des perpendiculaires MM' NN' égales à MM' et NN', nous obtiendrons une série de prismes tronqués ayant pour

bases les divers éléments de toute la surface AB. Le prisme triangulaire total ABB' a pour centre de gravité le point G, situé au tiers de la diagonale AE à partir de la base du triangle. En projetant G en O, on a le *centre de pression* situé au tiers de AB.

THÉORÈME 8. — Vases communicants. — *Pour un même liquide, les surfaces libres sont dans un même plan horizontal; pour des liquides superposés, les hauteurs des liquides au-dessus du plan de séparation sont en raison inverse de leurs poids spécifiques.*

Equilibre des corps plongés et des corps flottants

THÉORÈME 9. — *Tout corps solide en équilibre dans un fluide éprouve une poussée verticale de bas en haut, égale au poids du fluide déplacé et dont le point d'application se trouve sur la verticale du centre de gravité du corps.*

* HYDRODYNAMIQUE

L'hydrodynamique est, comme nous l'avons dit, l'étude des liquides en mouvement; on admet trois hypothèses :

1° **Hypothèse du régime permanent.** — Le régime est la manière d'être d'une masse fluide. On dit que le régime est *permanent*, lorsqu'en chaque point de la masse fluide passent à chaque instant des molécules possédant la même densité, soumises à la même pression et animées de la même vitesse. Ainsi soit un canal (fig. 3), dans lequel coule de l'eau; si nous prenons une molécule au point A de vitesse v , en passant en B elle prendra une vitesse v_1 , en C v_2 , etc. Les mêmes phénomènes se reproduisent pour la molécule qui suit la première, et ainsi de suite; on aura un *filet liquide* xy .

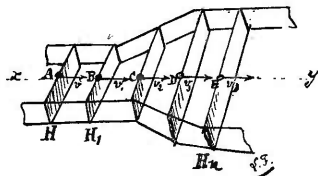


Fig. 3. — Hypothèse du régime permanent et du parallélisme des tranches.

De l'hypothèse du régime permanent, on déduit que pour deux sections H et H_n , perpendiculaires au courant, il doit passer le même volume d'eau. Ce qui s'exprime par la relation suivante :

$$\omega v = \omega' v'$$

ω et ω' surfaces de H et H_n , v et v' vitesses moyennes du courant dans les deux sections considérées; il faut forcément que v' soit moindre dans la tranche H_n que v dans la tranche H, celle-ci étant plus petite.

2° **Hypothèse du parallélisme des tranches.** — On admet, pour appliquer avec fruit le principe des puissances vives, que les molécules liquides formant les tranches H H_1 , etc. (fig. 3), perpendiculaires au courant, sont animées, dans chacune de ces tranches, de vitesses égales, leur mouvement est commun. Cette supposition est connue sous le nom d'*hypo-*

thèse du parallélisme des tranches. Elle n'existe pas en réalité, comme nous le verrons.

3^o **Hypothèse.** — On admet que la pression dans la masse liquide en mouvement varie suivant la *loi hydrostatique*.

✕ Calcul de la vitesse d'écoulement d'un liquide

L'eau ne se déplace qu'en vertu de la pesanteur, qui tend à la ramener au niveau des mers. Ce n'est en quelque sorte qu'une chute ou hauteur de charge h , exprimée en mètres par la différence de deux niveaux considérés. Le calcul de la vitesse d'écoulement, peut se déterminer avec la même formule que celle des corps tombant librement dans le vide. On a la formule de Toricelli

$$v = \sqrt{2gh}$$

C'est la *vitesse théorique*; la *vitesse réelle* est moindre, mais seulement de 0,01 à 0,02 de v , ceci est dû aux frottements.

Toricelli a démontré ce principe au moyen d'un vase qui porte son nom.

Lorsque l'écoulement se fait par un orifice noyé sur les deux faces, la hauteur de charge réelle donnant de la vitesse à l'écoulement de l'eau est égale à la différence des niveaux $h - h'$ dans les deux vases considérés. Donc:

$$v = \sqrt{2g(h - h')}$$

Exemple. — Déterminer la vitesse théorique d'écoulement de l'eau tombant d'une chute de 16 mètres?

Réponse :

$$v = \sqrt{2 \times 9,81 \times 16} = 17^m71$$

✕ Détermination du travail de l'eau en mouvement

On peut représenter le travail de l'eau en mouvement de deux manières: 1^o en se basant sur son poids; 2^o en employant le théorème des puissances vives $\frac{MV^2}{2}$.

1^o L'eau en s'écoulant par un orifice ou tombant d'une chute donne, par seconde, un certain volume Q (en mètres cubes), dont le poids est 1.000 Q . 1.000 kgr. étant le poids d'un mètre cube d'eau. Si cette eau tombe d'une hauteur H , le travail par seconde en kilogrammètres sera :

$$T = 1000 \text{ Q. H et en chevaux-vapeur,}$$
$$T = \frac{1000 \text{ Q. H.}}{75}$$

Exemple. — Soit à déterminer la force d'un cours d'eau, débitant 0^m350 d'eau par seconde, sous une chute de 3 mètres?

Réponse :

$$T = \frac{1000 \times 0,350 \times 3}{75} = 14 \text{ chevaux-vapeur.}$$

2^o Lorsque l'eau s'écoule librement, le travail ne peut s'évaluer qu'avec la formule

$$T = \frac{M V^2}{2}$$

mais la masse $M = \frac{P}{g}$; d'autre part, $P = 1000 \text{ Q.}$

On peut donc écrire une deuxième formule :

$$T = \frac{1000 \text{ Q. } V^2}{2g} = x \text{ kilogrammètres.}$$

$$T = \frac{1000 \text{ Q. } V^2}{75 \times 2g} = x' \text{ chevaux-vapeur.}$$

Avec la première formule $T = 1000 \text{ Q. H}$, on peut également obtenir la seconde, il suffit de chercher la valeur de H. En effet,

$$v = \sqrt{2gH},$$

d'où

$$v^2 = 2gH,$$

et

$$H = \frac{V^2}{2g},$$

on a alors

$$T = \frac{1000 \text{ Q. } V^2}{2g}$$

Exemple. — La Seine débite à Paris environ 150 m. c. d'eau par seconde, avec une vitesse moyenne de 0^m60, déterminer le travail?

Réponse :

$$T = \frac{1000 \times 150 \times 0,60 \times 0,60}{2 \times 9,81} = 2790 \text{ kilogrammètres,}$$

soit environ 40 chevaux.

× **Hauteur de charge et plan de charge.** — On entend par hauteur de charge la distance h qui sépare le niveau libre AB (fig. 4), ou plan de charge d'un liquide, au centre d'écoulement xy . La charge s'exprime en mètres. Cette expression est très importante, car elle est employée couramment.

× **Pertes de charge.** — On entend par pertes de charge une réduction dans la hauteur de charge. Ces pertes ont une influence sur la vitesse théorique d'écoulement $V = \sqrt{2gh}$, v' la vitesse pratique est égale à $v' = K\sqrt{2gh}$. Le coefficient K exprime la perte de charge et s'énonce en mètres. Les pertes de charge s'expriment par la formule $h = \frac{V^2}{2g}$.

Théorème de Bernoulli. — Le théorème de Bernoulli n'est que l'application du principe des puissances vives aux liquides en mouvement, il permet de trouver la vitesse et la pression en point donné d'une veine fluide. Considérons un vase (fig. 4) contenant de l'eau jusqu'en AB , et percé d'une ouverture CD ; si nous admettons un temps

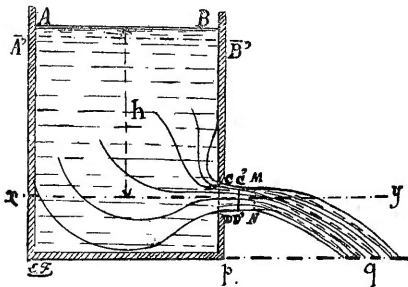


Fig. 4. — Théorème de Bernoulli.

d'écoulement très petit θ , il s'écoulera un volume d'eau $ABA'B'$ égal à $CDC'D'$

D'autre part, si nous appelons ω' et ω les surfaces AB et CD , V et v les vitesses en AB et CD , P le poids qui s'écoule dans l'unité de temps θ , on a :

$$\omega' V \theta = \omega v \theta = P \theta$$

d'où

$$\omega' V = \omega v, \text{ ou encore } \frac{\omega'}{\omega} = \frac{v}{V}$$

formule qui montre que si ω' est très grand par rapport à ω , V est très petit et négligeable par rapport à v .

Cherchons maintenant à déterminer la valeur de la puissance vive ou travail produit par la portion de liquide $ABA'B'$, portée en $CDC'D'$. Le volume $\omega'v\theta$ a traversé l'orifice, et le

niveau supérieur a parcouru un volume $\omega' V \theta$, l'accroissement de puissance vive du volume entier se réduit à la différence des puissances vives des volumes CD C' D' et A B A' B'. Cette différence est

$$\frac{1}{2} \frac{P \theta}{g} v^2 - \frac{1}{2} \frac{P \theta}{g} V^2.$$

Traitant le problème dans toute sa généralité, supposons que les pressions soient différentes en A B et en C D, et appelons-les p' et p .

Le travail de la première, pour le déplacement A B A' B' sur A B, sera $p' \omega' V \theta$ (travail positif).

Le travail résistant de la pression p sur C D sera $p \omega v \theta$ (travail négatif).

Et enfin le travail de la pesanteur est le même que si le volume A B A' B' s'était transporté dans la position C D C' D', sans que le reste ait changé de place. Si donc nous appelons h la distance verticale qui sépare les centres de gravité de ces deux volumes, ce travail aura pour expression $P \theta h$.

L'équation des puissances vives sera :

$$\frac{1}{2} \frac{P \theta}{g} v^2 - \frac{1}{2} \frac{P \theta}{g} V^2 = P \theta h + p' \omega' V \theta - p \omega v \theta \quad (1)$$

En simplifiant on a :

$$\frac{v^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} = h + \frac{p'}{\pi} - \frac{p}{\pi} \quad (2)$$

π représentant la densité du liquide (*).

L'équation précédente peut se mettre sous la forme

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\pi} = \frac{V^2}{2g} + \frac{p'}{\pi} + h. \quad (3)$$

Afin d'énoncer plus facilement le théorème, appelons z et z' (fig. 5) les distances des deux niveaux à un plan horizontal inférieur X Y, de telle sorte que $h = z' - z$. L'équation (3) s'écrira :

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\pi} + z = \frac{V^2}{2g} + \frac{p'}{\pi} + z' = \text{constante.} \quad (4)$$

Et si l'on se rappelle que $\frac{v^2}{2g}$ représente la hauteur génératrice due à la vitesse v , que $\frac{p}{\pi}$ représente la hauteur due à

(*) Dans la formule (2) on peut voir que tous les termes représentent des hauteurs, car $h = \frac{v^2}{2g}$, $h = \frac{V^2}{2g}$, $h = \frac{p'}{\pi}$, $h = \frac{p}{\pi}$ (Voyez remarque de la loi hydrostatique).

la pression, on pourra énoncer le théorème de Bernouilli de la façon suivante :

Si pour chaque point d'une veine fluide on fait la somme : 1° de la hauteur au-dessus du plan de comparaison ; 2° de la hauteur due à la vitesse ; 3° de la hauteur due à la pression, on trouve une somme constante.

L'interprétation du théorème de Bernouilli n'est autre que celle du théorème général des puissances vives. Elle exprime qu'en chaque point l'énergie disponible (potentielle et actuelle) est constante, et qu'à toute production de travail correspond une perte de puissance vive, et *vice versa*. Dans l'écoulement des liquides, ce principe de la conservation de l'énergie peut s'énoncer ainsi : *En dehors de l'accroissement de vitesse dû à la hauteur de chute, à tout accroissement de vitesse correspond une perte de pression ; et réciproquement, à toute diminution correspond une augmentation de pression, de telle sorte que la somme des hauteurs représentatives de la vitesse et de la pression reste constante.*

Construction graphique du théorème. — Considérons une veine liquide $c c'$ (fig. 5), et portons successivement au-dessus

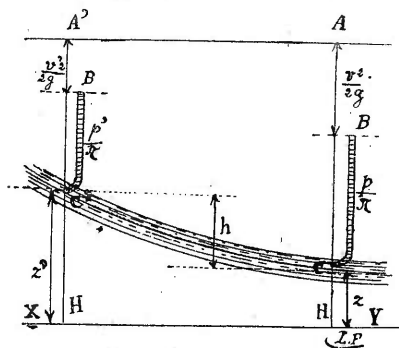


Fig. 5.— Théorème de Bernouilli. Représentation graphique.

du plan horizontal HH : 1° la quantité z ; 2° $\frac{p}{\rho}$, qui est la hauteur à laquelle s'élèverait le liquide dans le tube B implanté en ce point, et qu'on appelle *tube piézométrique* ; 3° enfin $\frac{v^2}{2g}$, hauteur à laquelle s'élèverait l'eau en vertu de sa vitesse v , si la veine arrêtait son cours brusquement en ce point. Faisons la même construction pour un autre point, en ajoutant

$z', \frac{p'}{\pi}, \frac{V^2}{2g}$ On voit que les sommets de toutes les verticales obtenues sont dans le même plan horizontal A A, appelé *plan de charge*. Ce plan peut être celui du niveau d'un réservoir à niveau constant alimentant l'écoulement, car la vitesse et la pression sont nulles à la surface de ce réservoir.

Les *tubes piézométriques* B B sont les hauteurs représentatives des pressions ; les valeurs $\frac{v^2}{2g}$ et $\frac{V^2}{2g}$ sont, au contraire, les hauteurs représentatives des vitesses.

DIVERS MODES D'ÉCOULEMENT DES FLUIDES X

Débit d'un écoulement. — On entend par *débit* ou *dépense*, la quantité Q de liquide écoulee dans une seconde par un orifice quelconque. Ce volume $Q = A V$. A représente la section d'écoulement, V la vitesse du liquide. Cette vitesse est égale à

$$v = \sqrt{2gh}$$

d'où

$$Q = A \sqrt{2gh}$$

Facteurs modifiant le débit d'un écoulement. — Pertes de charge, contraction de la veine. — Débit pratique. — Mais en pratique, on est loin d'obtenir le débit indiqué par la formule théorique, il doit être multiplié par un certain coefficient K. La formule pratique est donc

$$Q = K A \sqrt{2gh}$$

Le débit peut être affecté : 1° dans la vitesse d'écoulement V ; 2° dans la section d'écoulement A.

Donc, le coefficient pratique K peut représenter soit une perte de charge φ , ou à la fois par une perte de charge et une certaine contraction de coefficient m . K serait égal à $= \varphi m$.

1^{er} CAS. — *Perte de charge.* — La réduction de vitesse est due à une diminution de *hauteur de charge*, causée par les frottements des molécules d'eau contre les parois solides du vase ou des tuyaux. Ainsi, par exemple, une hauteur de charge de 10 mètres donne comme vitesse théorique :

$$v = \sqrt{2 \times 9,81 \times 10} = 14^m007$$

Si nous admettons que l'eau s'écoule par un tuyau de

20 mètres de long, dont la perte de charge soit de 0^m1751 par mètre, on aura comme perte de charge totale $0,1751 \times 20 = 3^m502$. La vitesse pratique sera :

$$V = \sqrt{2 \times 9,81 \times 10 - 3,502} = 11^m29.$$

Donc, nous le répétons, une perte de charge en hydraulique indique une diminution de hauteur de chute, exprimée par une colonne d'eau en mètres. Le travail est ainsi diminué, puisque dans la formule $T = \frac{P V^2}{2g}$, le terme V^2 devient moindre ainsi que la vitesse.

Un deuxième cas de perte de charge s'observe lorsqu'un filet liquide passe d'une faible section dans une grande section, et réciproquement. Ainsi (fig. 6), soient les tuyaux A et B, dont les sections sont respectivement $CD = \Omega$, $EF = \Omega'$. La veine CD, en arrivant en EF, s'élargit, mais en vertu de la permanence du mouvement, on a $\Omega V = \Omega' V'$

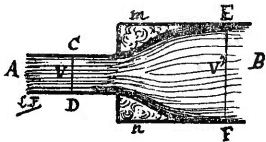


Fig. 6. — Pertes de charge dans l'élargissement de la veine.

La vitesse V' est forcément plus faible que V , puisque la section Ω' est plus grande que la section Ω .

Les puissances vives en CD et en EF seront respectivement $P \frac{V^2}{2g}$ et $P' \frac{V'^2}{2g}$, et la perte de puissance vive sera

$$P \frac{(V - V')^2}{2g}.$$

La perte de charge est alors $\frac{V^2}{2g} - \frac{V'^2}{2g}$

Toutes ces pertes sont dues au choc qu'éprouvent les molécules arrivant de CD, animées d'une vitesse V , et rencontrant en EF d'autres molécules animées d'une vitesse moindre V' , ce qui les force à glisser sur ces dernières, à tourbillonner et à remplir les coins en produisant des *remous*.

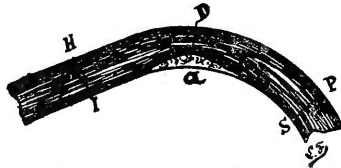


Fig. 7. — Pertes de charge aux coudes.

Les coudes, dans les tuyaux et dans les canaux, occasionnent également des pertes de charge et de puissance vive. Ainsi soit un tuyau coudé (fig. 7), l'eau remplit la section HI ; mais les filets liquides en arrivant au coude D sont

obligés de changer brusquement de direction ; ils frottent les uns sur les autres et la veine se rétrécit, en même temps qu'il se produit des tourbillonnements en *a*. Au delà, en P S, la veine s'épanouit et remplit à nouveau le tuyau.

On diminuera les pertes en donnant aux coudes le plus grand rayon possible.

Une des causes qui diminue le plus la charge et la puissance vive d'une veine liquide, sont les obstacles.

Soit une veine liquide GH venant frapper perpendiculairement un obstacle *xy* (fig. 8), elle se divise en deux parties dont les sections AB et A'B' se rétrécissent, puis vont en s'épanouissant en EF et E'F'.

2^me CAS. — Diminution de la section d'écoulement. — Contraction de la veine. — Coefficient de contraction. — La contraction de la veine s'échappant d'un orifice percé dans un vase ou

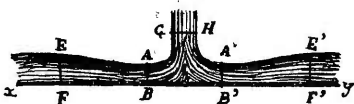


Fig. 8. — Pertes de charge dues aux obstacles.

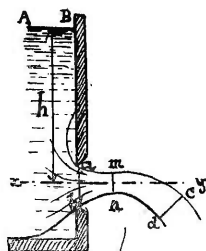


Fig. 9. — Contraction de la veine.

dans un réservoir contenant un liquide est le deuxième facteur qui vient diminuer le *débit*. En principe, toute la surface de l'orifice d'écoulement n'est pas remplie, il faut la multiplier par un *coefficient de contraction K*, pour avoir la *section réelle* d'écoulement. Ce coefficient varie suivant la forme des orifices, comme nous le verrons plus loin ; nous ne parlons ici que du principe.

Pour démontrer la contraction, prenons l'écoulement de la figure 9. Le niveau du liquide est en AB, distant de *h* du centre de gravité de l'orifice *ab*. Les filets liquides descendant de AB ne peuvent prendre instantanément une direction convergente vers l'orifice *ab*, la veine va en diminuant jusqu'à une certaine distance *mn*, après quoi elle se renfle et les filets deviennent parallèles. La partie *mn* prend le nom de *section contractée*.

On peut diminuer l'effet de la contraction en adaptant à l'orifice de sortie un tronç de cône épousant la forme de la

veine. Ainsi, pour l'écoulement en mince paroi, le coefficient de contraction est de 0,62, avec un ajutage tronconique il est de 0,98. Donc, le débit est accru.

Contraction incomplète. — *Formule de Bidone.* — La contraction de la veine est dite incomplète lorsqu'elle ne se fait que sur une partie de l'orifice; certains filets liquides sont parallèles au sens de l'écoulement. Bidone a donné la formule suivante pour la détermination du coefficient de contraction K, selon que l'orifice est rectangulaire ou circulaire :

$$K = 0,62 \left(1 + 0,1523 \frac{n}{p} \right) \text{ ou } K' = 0,62 \left(1 + 0,1279 \frac{n}{p} \right).$$

Dans laquelle n est la partie sur laquelle la contraction n'a pas lieu, p le périmètre total de l'orifice, 0,1523 et 0,1279 coefficients déterminés par l'expérience.

Ajutages. — On appelle *ajutage* une portion de tuyau que l'on adapte à un orifice en mince paroi, pour en augmenter le débit. Tous les ajutages donnent une perte de charge, mais ils diminuent dans une moins grande proportion la vitesse d'écoulement qu'ils n'accroissent la section contractée, de sorte qu'en définitive le débit est accru.

Importance de l'étude des modes d'écoulement. — La connaissance des divers modes d'écoulement des liquides est d'une importance capitale, car elle donne dans chaque cas le débit d'eau, qui peut être utilisé à la production du travail sous une chute donnée.

A. — ÉCOULEMENT EN MINCE PAROI

L'écoulement d'un liquide se fait en *mince paroi*, quand l'épaisseur de la paroi de retenue du liquide n'atteint pas *une fois et demie* la plus petite dimension de l'orifice, et qu'elle n'excède pas 5 ou 6 centimètres, de telle sorte que le liquide en sortant se détache complètement des bords de l'ouverture (fig. 9). Dans cet écoulement, la vitesse n'est pas modifiée, elle est égale à $\sqrt{2gh}$; la section est au contraire contractée et le coefficient à employer est 0,62. De sorte que le débit pratique est

$$Q = 0,62 \omega \sqrt{2gh}.$$

Quelques hydrauliciens prennent le coefficient moyen de 0,60.

Cet écoulement se vérifie au moyen du vase de Toricelli, et le jet du liquide décrit une parabole dans sa chute.

Exemple. — Quel est le débit : 1° d'un orifice circulaire percé en mince paroi de 0,10 de diamètre sous une charge de 6 mètres? 2° Calculer le débit pendant un écoulement de 2 heures.

Réponse :

$$1^{\circ} Q = 0,62 \times 3,1416 \times 0,10 \times 0,10 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 6} =$$

$$0^{\text{me}} 211315$$

$$2^{\circ} Q = 0,211315 \times 2 \times 3600 = 1521^{\text{me}} 46.$$

Remarque. — Dans l'écoulement des gaz en mince paroi, le coefficient de contraction est 0,65.

B. — ÉCOULEMENT PAR AJUTAGES

Les tuyaux des ajutages peuvent être cylindriques ou coniques. Dans ces derniers, on distingue les *convergen*ts et les *diver*gents.

a) **Écoulement par ajutage cylindrique.** — Si l'on adapte à l'orifice d'écoulement A B (fig. 10) un *ajutage* cylindrique C D ayant une longueur égale à 2 fois 1/2 le diamètre A B, l'écoulement a lieu à *gueule bée* ou à plein tuyau. La dépense théorique est

$$Q = \omega \sqrt{2 g h}$$

ω section A B, h hauteur de charge du niveau E F, au centre de gravité de l'orifice A B.

En réalité, la dépense n'est que

$$Q = 0,82 \omega \sqrt{2 g h}$$

0,82 = coefficient de contraction ou de dépense.

Le débit est affecté dans la diminution de vitesse due à une perte de charge. En effet, la contraction se fait dans l'intérieur de l'ajutage, la section minimum est en *ab*, puis au delà la veine s'épanouit pour occuper toute la section C D, les filets étant parallèles. Autour de la section contractée règne un anneau d'air à une pression inférieure à celle que l'atmosphère exerce en C D, c'est pourquoi cette contre-pression diminue la vitesse et détermine l'écoulement à *gueule bée*. Au bout d'un certain temps, l'air confiné en *ab* est entraîné et remplacé par un liquide tourbillonnant avec lenteur. Mais,

en somme, la vitesse d'écoulement n'est pas diminuée d'autant que la section est augmentée, et la dépense réelle se trouve accrue dans le rapport de 62 à 82.

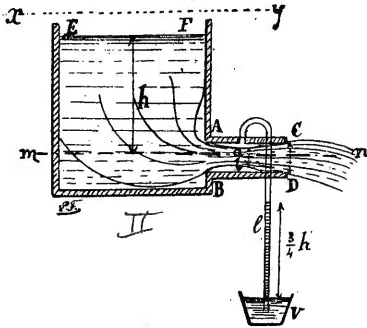


Fig 10. — Écoulement par ajutage cylindrique et expérience de Venturi.

Expérience de Venturi.
— La diminution de pression en ab se vérifie expérimentalement, comme l'a fait Venturi, en adaptant à l'ajutage, au-dessus de la chambre ab , un tube recourbé l (fig. 10) et plongeant par son extrémité inférieure dans un vase V rempli d'eau. A l'écoulement, l'eau s'élève dans

le tube à une hauteur égale à très peu près aux trois quarts de la charge h . Cette hauteur $\frac{3h}{4}$ mesure évidemment la différence entre la pression atmosphérique qui agit sur l'eau du vase et la pression qui s'exerce autour de la veine contractée.

Applications de cette dépression. — On trouve des applications de cette diminution de pression dans les soupapes de sûreté, dont le siège doit être aussi mince que possible, sans cela il se produirait des vibrations. Ce phénomène est aussi employé dans le barrage à poutrelles, il suffit d'en jeter une en amont du cours d'eau pour qu'elle vienne s'appliquer d'elle-même sur la précédente; mais le plus remarquable emploi se trouve dans le béliet hydraulique.

Détermination par le calcul de la vitesse d'écoulement et la pression en AB (fig. 10). — Appliquons le théorème de Bernoulli entre la surface du réservoir EF et la section contractée ab , en négligeant la vitesse à la surface du réservoir et prenant pour plan de comparaison le plan xy , appelons p la pression atmosphérique qui s'exerce en EF , p' la pression dans la chambre ab , v' la vitesse du liquide en ab . On aura l'équation

$$h + \frac{p}{\pi} = \frac{p'}{\pi} + \frac{v'^2}{2g} \quad (1)$$

Le théorème de Bernoulli est encore applicable entre la section ab et la section CD , pourvu que l'on tienne compte de

la perte $\frac{(v' - v)^2}{2g}$ de charge due au changement de section et de vitesse en *ab*, *v* représente la vitesse de sortie de l'eau ; l'équation est dans ce cas

$$\frac{p'}{\pi} + \frac{v'^2}{2g} = \frac{p}{\pi} + \frac{v^2}{2g} + \frac{(v' - v)^2}{2g} \quad (2)$$

En ajoutant les équations (1) et (2) membre à membre, on a

$$h + \frac{p}{\pi} + \frac{p'}{\pi} + \frac{v'^2}{2g} = \frac{p'}{\pi} + \frac{v'^2}{2g} + \frac{p}{\pi} + \frac{v^2}{2g} + \frac{(v' - v)^2}{2g}$$

En simplifiant et en remarquant qu'en *ab* et *CD* le débit est le même, c'est-à-dire $Q = 0,62 \omega v' = \omega v$, d'où $v' = \frac{v}{0,62}$, nous aurons

$$2gh = v^2 + \left(\frac{v}{0,62} - v \right)^2$$

$$2gh = v^2 + \frac{v^2}{0,3844} + v^2 - \frac{2v^2}{0,62}$$

$$2gh = 2v^2 + \frac{v^2}{0,3844} - \frac{2v^2}{0,62}$$

$$2gh = \frac{0,7688v^2}{0,3844} + \frac{v^2}{0,3844} - \frac{1,24v^2}{0,3844}$$

$$2gh = \frac{1,7688v^2}{0,3844} - \frac{1,24v^2}{0,3844}$$

$$2gh = \frac{0,5288v^2}{0,3844}$$

$$2gh \times 0,3844 = 0,5288v^2$$

$$v = \sqrt{2gh} \times \sqrt{\frac{0,3844}{0,5288}}$$

$$v = 0,85 \sqrt{2gh}$$

L'expérience ne donne que $0,82 \sqrt{2gh}$ pour cette vitesse.

De l'équation (1) on peut tirer :

$$\frac{p - p'}{\pi} = \frac{v'^2}{2g} - h, \text{ et en remplaçant } v' \text{ par } \frac{v}{0,62} \text{ et } v \text{ par } 0,82$$

$$\sqrt{2gh},$$

$$\text{on a } \frac{p - p'}{\pi} = \frac{0,82^2 \times 2gh}{2g \times 0,62^2} - h = 0,75h,$$

résultat en complet accord avec l'expérience de Venturi.

Calcul de la perte de charge. — Considérons le plan de comparaison mn (fig. 10), la charge totale exercée sur le centre de gravité de l'orifice AB se compose de h , plus charge atmosphérique $\frac{p}{\pi}$, tandis qu'en CD, cette charge se compose de

$\frac{p}{\pi}$, plus une fraction de la charge h , plus la perte charge.

Comme nous avons trouvé qu'en CD, $v = 0,82 \sqrt{2gh}$, la charge donnée par cette vitesse, en appliquant la formule $h = \frac{v^2}{2g}$, sera $\frac{0,82^2 \times 2gh}{2g}$. Et, d'après le théorème de Bernoulli, on aura

$$\frac{p}{\pi} + \frac{v^2}{2g} = \frac{p}{\pi} + \frac{0,82^2 \times 2gh}{2g} = \frac{p}{\pi} + 0,67h.$$

La perte de charge serait donc $0,33h$ ou environ $1/3$ de h .

b) Écoulement par un ajutage conique divergent. — Soit l'orifice AB (fig. 11), muni de l'ajutage CD, la charge est h ; une certaine contraction se produit. La section de AB est ω' , la section de CD ω . On aura comme vitesse de sortie en CD, $v = \sqrt{2gh}$.

et la dépense : $Q = \omega' v' = \omega v = \omega \sqrt{2gh}$.

Ce qui montre que, sous une charge h , la dépense varie proportionnellement à la section de sortie de l'ajutage. Cela porterait à croire que l'on peut rendre la dépense aussi grande que l'on voudrait, mais il n'en est pas ainsi. En effet, la vitesse du liquide à la sortie CD est moindre qu'en AB, puisqu'il remplit toute la section. Or l'axe de l'ajutage étant horizontal, la pesanteur n'agit aucunement sur le liquide, et par conséquent, la diminution de vitesse ne peut provenir que de la différence des pressions qu'il supporte en AB et en CD. Et comme la pression à l'endroit de la contraction ne peut devenir nulle, on conçoit que la dépense ne peut être augmentée indéfiniment. Mais, d'autre part, la pression en AB étant moindre que la pression atmosphérique qui s'exerce sur la surface MN, le liquide s'écoule plus vite que si les pressions en MN et en AB étaient égales, c'est pourquoi le débit est augmenté.

Le coefficient de dépense peut s'élever à 1,34 pour un angle de $4^{\circ}38'$ (Venturi) et un ajutage de $0^{\text{m}}46$. Les orifices diver-

gents sont peu employés, quelques coups légers peuvent faire détacher la veine de l'ajutage.

c) **Écoulement par un ajutage conique convergent.** — Dans ce cas, l'ajutage CD ab (fig. 12) est conique, la hauteur de charge génératrice est h . On observe dans l'écoulement

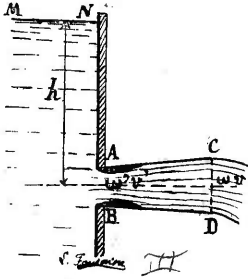


Fig. 11. — Écoulement par ajutage divergent.

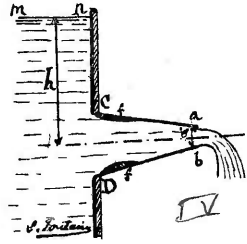


Fig. 12. — Écoulement par ajutage convergent.

une perte de charge en ff ainsi que l'épanouissement brusque de la veine, puis une contraction vers l'extrémité ab . Le coefficient de dépense varie suivant l'angle d'inclinaison que font les génératrice af et bf de l'ajutage. L'expérience montre que le coefficient augmente 0 à 12°, on prend dans les calculs le chiffre moyen de 0,90.

$$\text{D'où débit } Q = 0,90 \omega \sqrt{2 gh.}$$

C. — ÉCOULEMENT PAR UN ORIFICE SUIVI D'UN RÉSERVOIR OU D'UN CANAL

Si nous considérons deux réservoirs à niveaux constants AB et XY (fig. 13), nous voyons que H est la différence de niveau; les deux réservoirs communiquent par un orifice dont la section est petite en comparaison avec la surface des réservoirs. Nous pourrions donc appliquer les principes de l'hydrostatique pour déterminer la pression exercée en G sur le centre de gravité de l'orifice d'écoulement. Appelons p_a la pression atmosphérique sur AB et XY , h et h' les différences

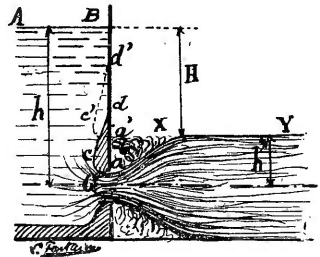


Fig. 13. — Écoulement par un orifice suivi d'un réservoir.

de niveau des deux plans par rapport à G ; par π la densité de l'air, on aura :

$$\text{Pression du côté A B} = h + \frac{p_a}{\pi};$$

$$\text{Pression du côté X Y} = h' + \frac{p_a}{\pi}.$$

La différence de ces deux pressions donne la hauteur à faire intervenir dans l'écoulement, soit

$$h + \frac{p_a}{\pi} - h' - \frac{p_a}{\pi} = H.$$

La vitesse d'écoulement sera donc :

$$V = \sqrt{2gH}.$$

Ainsi, il faut bien remarquer que quelle que soit la position de l'orifice noyé, la vitesse de sortie du liquide reste constante, puisqu'elle ne dépend que de la différence H des deux réservoirs.

Soit ω la section d'écoulement, la dépense ou débit $Q = 0,62 \omega \sqrt{2gH}$. Il faut remarquer que l'écoulement se fait en

mince paroi et que le coefficient de contraction à employer est 0,62.

Si on donne à l'orifice une forme évasée en employant des tasseaux arrondis C, la contraction ne se produit plus et le coefficient devient 0,98, d'où

$$Q = 0,98 \omega \sqrt{2gH}.$$

Exemple. — Soit à déterminer le débit par seconde d'un orifice noyé suivi d'un réservoir de 1^m20 de long sur 0^m10 de haut, la hauteur de niveau étant de 4 mètres dans le premier réservoir et de 0^m35 dans le second. On tiendra compte de la contraction.

Réponse :

$$Q = 0,62 \times 1,20 \times 0,10 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,65} = 0^{\text{m}}10527.$$

Si nous élevons le tasseau $a c d$ (fig. 13) jusqu'en $a' b' c'$, de façon que l'arête a' se trouve au niveau même du canal de fuite, les formules précédentes peuvent encore s'appliquer ; la vitesse des filets est toujours $\sqrt{2gH}$. Si la contraction n'est pas évitée, on a :

$$(1) \quad Q = 0,62 \omega \sqrt{2gH}, \text{ et en évitant la contraction}$$

$$(2) \quad Q = 0,98 \omega \sqrt{2gH}.$$

La formule (1) est encore celle des vannes verticales ; si on incline la vanne à 45°, le coefficient de contraction n'est plus que de 0,80. D'où $Q = 0,80 \omega \sqrt{2gH}$ (3). Quelques hydrauliciens emploient également le coefficient de contraction 0,75.

D. ÉCOULEMENT PAR DÉVERSOIRS

L'eau s'écoule en *déversoir* lorsqu'on barre une rivière, par exemple avec un mur dont la partie supérieure porte le nom de *seuil*. L'eau s'amasse en amont dans le *bief supérieur*, puis passe sur le seuil et tombe dans le *bief d'aval*. On a les *déversoirs ordinaires* et les *déversoirs noyés*.

1° **Écoulement par un déversoir à large seuil.** — Le barrage présente un seuil FF (fig. 14) suffisamment large pour considérer l'écoulement dans la section *ab* comme se faisant en filets parallèles. Rien ne sera modifié si l'on admet qu'une paroi *ac* surmonte le liquide, et nous retombons dans le cas de l'écoulement par un orifice suivi d'un canal. En tous les points de *ab*, la vitesse de l'eau sera $\sqrt{2gH}$; H représente

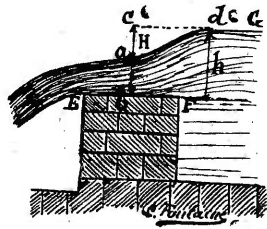


Fig. 14. — Écoulement par déversoir à large seuil.

la différence de niveau *ac* entre le point *a* et le point *d*.

En appelant L la largeur du déversoir, *h* la hauteur *bc* du niveau supérieur de l'eau au-dessus du seuil, le débit sera :

$$Q = L(h - H) \sqrt{2gH} \quad (1).$$

H n'est pas connu, mais on admet que la différence de niveau *ac* s'établit de façon à correspondre au maximum de débit. L'expérience prouve que ce maximum est atteint lorsque

$$H = \frac{h}{3}.$$

En substituant cette valeur dans (1), on a :

$$Q = L \left(h - \frac{h}{3} \right) \sqrt{2g \frac{h}{3}}$$

$$Q = \frac{3 L h - L h}{3} \times \sqrt{2 g \frac{h}{3}}$$

$$Q = \frac{2 L h}{3} \times \sqrt{\frac{2 g h}{\sqrt{3}}}$$

$$Q = \frac{2 L h \sqrt{2 g h}}{3 \times 1,732}$$

$$Q = 0,385 L h \sqrt{2 g h} \quad (2).$$

Lesbros et d'autres expérimentateurs ont cherché à vérifier cette formule théorique, ils ont été conduits à admettre le coefficient de dépense de 0,34, d'où la formule pratique à employer pour le débit d'un semblable déversoir est

$$Q = 0,34 L h \sqrt{2 g h} \quad (3).$$

2° Déversoir en mince paroi. — Ordinairement, le seuil des déversoirs se fait en biseau, alors la vitesse n'est plus constante dans la section *a b*, la dépense se trouve augmentée. Pour petits déversoirs et moins larges que le cours d'eau, le coefficient de dépense donné par Poncelet et Lesbros est 0,40. D'où

$$Q = 0,40 L h \sqrt{2 g h} \quad (1). \text{ (Petits déversoirs, } 0^m20).$$

Pour les déversoirs de largeur égale à celle de la rivière, Morin a donné le coefficient 0,44. D'où

$$Q = 0,44 L h \sqrt{2 g h} \quad (2). \text{ Déversoirs ordinaires des usines.}$$

Quelquefois on prend le coefficient moyen 0,42.

Détermination de la charge dans les déversoirs ordinaires. — Nous avons vu que la hauteur de charge produisant l'écoulement de l'eau est *h*, ou une différence de niveau entre le plan du seuil et un point *G* (fig. 14) placé à 4 ou 5 mètres en amont du barrage où l'eau est horizontale. Avec un niveau et une mire dont on placera le pied successivement en *a* sur le barrage et en *G* au niveau de l'eau, on aura la hauteur *h* demandée.

Si l'on ne possède pas ces appareils, on pourra employer la formule $h = 1,178 h'$ quand le barrage est aussi large que le cours d'eau, et $h = 1,254 h$ quand le barrage est moins large ; $h' = a b$, ou l'épaisseur de la tranche d'eau qui passe sur le seuil, on la mesure avec un mètre.

3° **Déversoir en mince paroi noyé.** — Un déversoir M (fig. 15) est dit *incomplet*, ou *noyé*, lorsque le niveau de l'eau dans le bief d'aval V se trouve au-dessus de la crête du barrage. On peut considérer ce genre d'écoulement comme composé de deux orifices, dont l'un A B formant déversoir, l'autre B C constituant un écoulement en mince paroi.

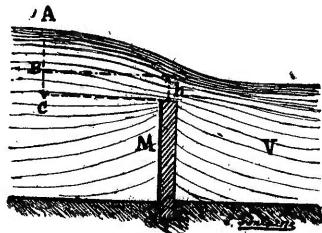


Fig. 15. — Écoulement par déversoir noyé.

Le débit du premier sera

$$q = 0,443 L (H - h) \sqrt{2g(H - h)}.$$

Le débit du second sera

$$q' = 0,62 L h \sqrt{2g \left(H - \frac{h}{2} \right)}$$

Nous rappelons que la hauteur de charge sur le deuxième orifice se fait sur le centre de gravité de cet orifice et qu'il est égal à $H - \frac{h}{2}$.

D'où la dépense totale $Q = q + q' = 0,443 L (H - h) \sqrt{2gH - h} + 0,62 L h \left(\sqrt{2g \left(H - \frac{h}{2} \right)} \right)$. L = la longueur du déversoir.

Exemple. — Quel est le débit d'un déversoir en mince paroi de 2^m 50 de long, la dénivellation h entre le seuil et un point pris à 4 mètres en amont est de 0^m 20?

Réponse. — En appliquant la formule $Q = 0,443 l h \sqrt{2g h}$, on a

$$Q = 0,443 \times 2,50 \times 0,20 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,20} = 0^{\text{m}^3}, 438.$$

E. — ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS

Les canaux sont des voies artificielles établies pour la navigation, pour l'alimentation d'eau des villes ou pour l'irrigation. Ils sont formés de tronçons, dans lesquels la section et la pente sont uniformes. Le mouvement de l'eau dans chaque

tronçon est uniforme et permanent, c'est-à-dire qu'à chaque instant il passe la même quantité d'eau, animée d'une même vitesse.

Les rivières et tous les cours d'eau naturels en général ont un cours irrégulier ; leur section et leur pente changent d'un point à un autre. Cependant, on peut considérer leur écoulement comme étant également permanent et semblable à celui des canaux, car chaque molécule qui vient passer en un point y prendra la même vitesse que celle qui l'a précédée. Mais cette vitesse n'est plus uniforme, elle varie le long d'un même filet ; c'est pourquoi nous verrons, lors du jaugeage des cours d'eau, qu'il faut prendre à plusieurs endroits du cours, la vitesse correspondante pour avoir une *vitesse moyenne* u .

Résistances qui retardent le mouvement de l'eau dans les canaux. — Le mouvement des liquides dans les canaux donne naissance à deux espèces de résistances : 1^o la *cohésion* que les molécules éprouvent entre elles, retardant leur changement de position ; 2^o l'*adhérence* aux corps solides fait éprouver à ces molécules une certaine résistance pour s'en détacher.

L'existence de ces deux sortes de résistances se trouve vérifiée dans les cours d'eau naturels. En effet, la vitesse de ceux-ci reste sensiblement uniforme, quelle que soit la pente ; il faut donc nécessairement que dans ce mouvement il se crée des forces *retardatrices croissant avec la vitesse*, de manière à faire équilibre à la force *accélératrice de la pesanteur*, sans quoi cette vitesse irait en s'accéléralant. Au point de vue du frottement, les liquides sont donc complètement différents des solides ; dans les premiers, *le frottement varie avec la vitesse*, tandis que dans les seconds *le frottement est indépendant de la vitesse*.

Enfin, le frottement dans les liquides est *indépendant de la pression* sous laquelle se fait l'écoulement. Ils se comportent à cet égard tout différemment des solides, chez lesquels le frottement dans le mouvement dépend de la pression. On a pu tirer les lois expérimentales suivantes, pour l'écoulement de l'eau dans les canaux :

1^o *La résistance croît avec la vitesse d'écoulement.* — Cette résistance est proportionnelle à une certaine fonction de la vitesse, que nous désignerons par $f(u)$.

2^o *Elle est proportionnelle au nombre de molécules en contact avec la paroi, ou à la surface mouillée.* — Si l est la longueur du canal, X le périmètre mouillé, la résistance sera proportionnelle à lX .

3° Elle est indépendante de la pression.— Ce principe, qui est tout l'opposé de celui des solides, est d'abord assez difficile à admettre. Néanmoins, si l'on réfléchit que les liquides sont incompressibles et que, dans les solides, au contraire, le frottement est produit par la compression, par la pénétration des corps en contact, on reconnaît que l'indépendance des pressions et du frottement dans les liquides n'est pas contraire à la logique.

4° La résistance dépend de la nature des parois. — Avant Darcy et Bazin, Prony et ses successeurs admettaient que la résistance était indépendante de la nature de la paroi. Mais il n'en est pas ainsi, car Darcy montra que la résistance d'un tuyau recouvert d'un dépôt est double de celle que présente un tuyau neuf en fonte de même diamètre.

Inégalité de vitesse des divers filets liquides dans un canal

Dans la section d'écoulement d'un canal ou d'une rivière (fig. 16), la vitesse des différents filets n'est pas la même partout. En effet, les filets *a* qui touchent les parois du canal NN frottent, leur vitesse est par suite réduite. Les filets qui viennent ensuite en *b* ont une tendance à couler plus vite, mais les premiers *a* réagissent, il en résulte une diminution de vitesse. De sorte qu'en poursuivant le raisonnement précédent, la vitesse maximum devra se trouver sur la verticale passant par l'axe de la section d'écoulement. Ce point devrait se trouver théoriquement à la surface, mais on a observé qu'il était en *m* et au-dessous de cette ligne. Jusqu'ici on n'a pas donné de théorie satisfaisante pour expliquer ce déplacement. Les uns admettent que

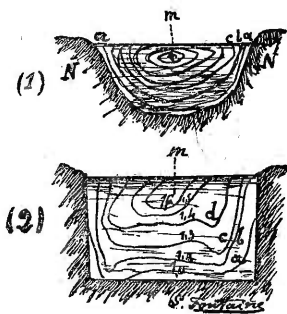


Fig. 16. — Vitesses d'écoulement de l'eau dans un canal.

c'est la résistance opposée par l'air, mais on a observé que lorsque le vent souffle dans la direction de l'écoulement, le point *m* ne change pas. Le filet liquide de vitesse maximum passant en *m* porte le nom de *fil de l'eau*. Si, théoriquement, on réunit les différents points où la vitesse est semblable, on obtient des lignes concentriques (1) (fig. 16), mais il n'en est pas ainsi pratiquement, comme l'a démontré l'ingénieur Ritter, qui, dans un écoulement régulier par buse en plan-

ches, a relevé les courbes de vitesses irrégulières *a b c d...* (2) (fig. 16).

Mais ce qu'il importe de connaître pour le calcul du débit d'un canal, c'est la *vitesse moyenne* d'écoulement *u* et la section ω .

Vitesse moyenne u. — La vitesse moyenne d'un cours d'eau peut se déterminer de deux manières : 1° pratiquement au moyen de certains procédés ou d'appareils spéciaux ; 2° en fonction de la section du canal, du périmètre mouillé et de la pente par mètre.

Nous ne décrivons pas maintenant les procédés employés en pratique pour déterminer la vitesse *u* directement.

Si nous appelons *V* la vitesse maximum, et *W* la vitesse minimum, c'est-à-dire au fond du canal, on a :

D'après Prony $u = 0,80 V$ pour les petits cours d'eau, et
 $u = 0,62 V$ pour les grands cours d'eau, et
 $u = 0,60 V$ pour les cours d'eau où les herbes sont abondantes.

D'après Du Buat $W = 2 u - V$.

Or, on admet que $V = 1,25 u$, par suite

$$W = 2 u - 1,25 u = 0,75 u$$

$$\text{D'où } u = \frac{W}{0,75} = \frac{1}{0,75} = 1,33.$$

Il faut donc se rappeler que la vitesse moyenne est égale à $0,80 V$ de la vitesse maximum, et à $1,33 W$ de la vitesse minimum au fond.

Expression de la résistance à l'écoulement des liquides.—

Soit π la densité du liquide,

l la longueur du canal,

x le périmètre mouillé,

$f(u)$ la fonction de la vitesse moyenne du liquide suivant laquelle varie la résistance. La résistance totale sera $\pi l x f(u)$. C'est cette formule, mesurant le frottement de l'eau contre les parois du canal, qui a servi à de Prony, Bazin, etc., à calculer en dehors des méthodes expérimentales, la valeur de *u*.

Formule pratique fondamentale. Comme le mouvement de l'eau dans un canal est uniforme, il faut qu'il y ait équilibre entre les forces accélératrices et les résistances. Nous connaissons les premières $\pi l x f(u)$. Cherchons les deuxièmes. Soit *P*, le poids de l'eau dans la section *CD*, ce poids n'agit pas entièrement au déplacement du liquide, la composante *N*

est annulée, F seule agit dans le sens de l'écoulement. Sa valeur est en appelant ω la section du canal.

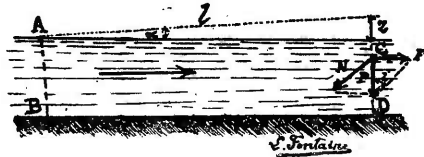


Fig. 47.— Ecoulement de l'eau dans les canaux.

$$\pi \omega l \times \sin i.$$

Mais $i = \alpha$. On peut donc écrire que

$$\pi \omega l \times \sin i = \pi \omega l \frac{z}{l} = \pi \omega z.$$

L'équation d'équilibre devient :

$$\pi \omega z = \pi l X f(u) \text{ ou en supprimant } \omega \text{ dans les deux facteurs,}$$

$$\frac{\omega}{X} \times \frac{z}{l} = f(u).$$

Le rapport de ω (section) sur X (périmètre mouillé) donne le rayon moyen R; $\frac{z}{l}$ exprime la pente par mètre I.

L'équation du mouvement est alors

$$R I = f(u)$$

Pour déterminer $f(u)$ il faut avoir recours à l'expérience.

Formule de Prony et de Saint-Venant.— De Prony et de Saint-Venant ont pris pour expression :

$$f(u) = a u + b u^2$$

La formule générale devient $R I = a u + b u^2$

Dans laquelle R = rayon moyen, I pente par mètre, u vitesse moyenne, a et b deux coefficients, dont

$$a = 0,0000444.$$

$$b = 0,000309.$$

En remplaçant a et b par leurs valeurs, on a :

$$R I = 0,0000444 u + 0,000309 u^2. \text{ D'où,}$$

$$u = - \frac{0,0000444}{0,000618} \pm \sqrt{\frac{R I}{0,000309} + \frac{0,0000444^2}{0,000618^2}}$$

$$u = - 0,07185 \sqrt{0,005163 + 3236,20 R I}$$

ou à peu près $u = 56,86 \sqrt{R I} - 0,072.$

Formule d'Eytelwein. — L'Allemand Eytelwein donne comme valeur de a , 0,000024 et de b , 0,000366.

Formule de Darcy et de Bazin. — Darcy, en 1850, et Bazin, en 1858, ont donné la formule suivante :

$$RI = b_1 u^2.$$

Ces expérimentateurs ont tenu compte de la nature des parois du canal ; le coefficient b varie en outre avec le rayon. En appelant α et β deux constantes fournies par l'expérience, on a

$$b_1 = \alpha + \frac{\beta}{R}$$

Le tableau suivant donne la valeur de α et de β suivant les parois :

NATURE DES PAROIS	α	β
Parois très unies ; ciment lissé, bois raboté, etc...	0,00015	0,0000045
Parois unies ; pierres de taille, briques, planches, etc.	0,00019	0,0000133
Parois peu unies ; en maçonnerie de moellons...	0,00024	0,0000600
Parois en terre ; petits cours d'eau, rivières, fleuves, etc.....	0,00028	0,0003500

D'où l'on tire que $RI = \left(\alpha + \frac{\beta}{R} \right) u^2$, ou $\frac{RI}{u^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}$
 $u = \sqrt{\frac{RI}{\alpha + \frac{\beta}{R}}}$ On prend souvent pour valeur de $b_1=0,0004$,
 $\frac{RI}{R}$ d'où $RI = 0,0004 U^2$.

Formule de Tadini. — L'ingénieur italien Tadini a proposé la formule simplifiée comme valeur de la vitesse moyenne

$$u = 50 \sqrt{RI}$$

Certains ingénieurs ont proposé pour les canaux moyens les formules

$$u = 40 \sqrt{RI} \text{ ou } 35 \sqrt{RI}$$

On démontre théoriquement que c'est un canal ayant 2 de base pour 1 de hauteur, qui donne le moins de frottement, et par suite le débit le plus élevé.

D'après la nature du fond du canal, on déterminera la vitesse W à adopter, car on ne doit pas dépasser la limite à laquelle le sol serait dégradé. Voici ces limites :

NATURE DES PAROIS	Limite de la vitesse de fond W
Terre détremée brune.....	0,076
Argile tendre	0,152
Sable.....	0,305
Gravier.....	0,609
Cailloux.....	0,614
Pierres cassées, silex.....	1,220
Cailloux agglomérés, schistes tendres.. . . .	1,520
Roches en couches.....	1,830
Roches dures.. . . .	3,050
Canaux de navigation (afin de retarder la décomposition des matières organiques)... ..	0,02 à 0,05

S'il y a une limite de vitesse pour éviter les dégradations, il y a aussi une vitesse minima pour éviter que les dépôts contenus par les eaux ne tombent dans le canal, ce qui en diminuerait la section. Dans le cas d'eaux très boueuses, on serait obligé de faire des curages répétés.

Voici, suivant les eaux, la limite qu'on ne doit pas dépasser :

Pour troubles légers, la vitesse doit être au moins de 0^m08 par seconde ;

Pour matières argileuses en suspension, 0,15 à 0,16 par seconde ;

Pour sables, 0,30 par seconde ;

Pour graviers, 0,60 par seconde ;

Pour cailloux, 0,62 par seconde.

Ces chiffres doivent être pris en considération ; quand on ouvre des canaux ouverts, ils règlent la pente à donner à l'écoulement suivant le fond où l'eau coule.

Tables calculées des valeurs de $\frac{R I}{u^2}$

On a construit des tables qui donnent immédiatement la

valeur de $\frac{RI}{u^2}$, c'est-à-dire la valeur du deuxième terme de la formule de Bazin, soit A. On a donc $\frac{RI}{u^2} = A$, d'où

$$u = \sqrt{\frac{RI}{A}}$$

Il faut, dans la pratique, déterminer R, ou rayon moyen, en cherchant la section du canal et en la divisant par le périmètre mouillé. I, ou pente par mètre, se détermine par le nivellement du parcours du cours d'eau.

Ces tables, comme celles de Claudel reproduites ci-après, simplifient beaucoup les calculs, elles donnent les valeurs de rayon moyen R, entre 0^m01 à 6 mètres.

(Voir les tables)

TABLEAU des valeurs de $\frac{RI}{u^2}$ fournies par les quatre formules types de Bazin pour des valeurs du rayon R comprises entre 0^m01 et 6 mètres

VALEUR DE R	VALEURS DE $\frac{RI}{u^2}$				VALEUR DE R	VALEURS DE $\frac{RI}{u^2}$			
	PAROIS très unies	PAROIS unies	PAROIS peu unies	PAROIS en terre		PAROIS très unies	PAROIS unies	PAROIS peu unies	PAROIS en terre
0,01	0,000600	"	"	"	0,46	0,000160	0 000219	0,000370	0 001041
0,02	0,000375	0,000855	"	"	0,47	0,000160	0,000218	0,000368	0 001023
0,03	0,000300	0,000633	"	"	0,48	0,000159	0,000218	0 000365	0 001009
0,04	0,000262	0,000522	"	"	0,49	0,000159	0 000217	0,000362	0 000994
0,05	0,000240	0,000456	0,001440	"	0,50	0 000159	0,000217	0,000360	0 000980
0,06	0,000225	0,000412	0,001240	"	0 51	0 000159	0,000216	0,000358	0 000966
0 07	0,000214	0,000380	0,001097	"	0,52	0,000159	0,000216	0 000355	0 000953
0,08	0 000206	0 000356	0,000990	"	0,53	0 000158	0,000215	0 000353	0,000940
0,09	0,000200	0,000338	0,000907	"	0 54	0,000158	0 000215	0 000351	0,000928
0,10	0,000195	0,000323	0,000840	0,003780	0,55	0,000158	0 000214	0,000349	0 000916
0,11	0,000191	0,000311	0,000785	0 003462	0 56	0 000158	0,000214	0 000347	0 000905
0,12	0,000188	0,000301	0,000740	0 003197	0,57	0,000158	0,000213	0 000345	0 000894
0,13	0,000185	0,000292	0,000702	0,002972	0,58	0,000158	0 000213	0,000343	0 000883
0,14	0,000182	0,000285	0 000669	0 002780	0,59	0,000158	0 000213	0 000342	0 000873
0 15	0 000180	0,000279	0,000640	0,00 613	0,60	0,000158	0 000212	0 000340	0 000863
0,16	0,000178	0,000273	0 000615	0,002468	0,61	0,000157	0 000212	0,000338	0 000854
0,17	0 000176	0,000268	0,000593	0,002339	0,62	0 000157	0,000211	0,000337	0,000845
0,18	0,000175	0,000264	0,000573	0,002224	0,63	0 000157	0 000211	0,000335	0,000836
0,19	0,000174	0,000260	0,000556	0 002122	0,64	0,000157	0,000211	0,000334	0,000827
0,20	0,000172	0,000256	0,000540	0,002030	0,65	0,000157	0,000210	0 000332	0,000818
0,21	0,000171	0,000253	0,000526	0,0019 7	0,66	0,000157	0,000210	0,000331	0,000810
0,22	0,000170	0,000250	0 000513	0,001871	0,67	0,000157	0,000210	0,000330	0 000802
0,23	0,000170	0,000248	0,000501	0,001802	0,68	0,000157	0,000210	0,000328	0 000797
0,24	0,000169	0,000245	0 000490	0,804738	0,69	0 000157	0,000209	0,000327	0,000795
0,25	0,000168	0,000243	0,000480	0,001680	0 70	0,000156	0,000209	0,000326	0,000780
0,26	0,000167	0,000241	0 000471	0,001626	0,71	0,000156	0,000209	0,000325	0 000773
0,27	0,000167	0,000239	0,000462	0,001576	0,72	0,000156	0 000208	0,000323	0 000766
0,28	0,000166	0,000237	0,000454	0,001530	0,73	0,000156	0,000208	0,000322	0,000759
0,29	0 000166	0,000236	0,000447	0,304 487	0,74	0,000156	0 000208	0,000321	0,000753
0,30	0,000165	0,000234	0,000440	0,001447	0,75	0,000156	0,000208	0,000320	0,000747
0,31	0 000165	0,000233	0 000434	0,001409	0 76	0,000156	0,000208	0,000319	0,000741
0,32	0,000164	0,000232	0,000428	0,001374	0 77	0,000156	0,000207	0,000318	0,000735
0,33	0,000164	0,000230	0,000422	0,001341	0,78	0,000156	0,000207	0,000317	0,000729
0,34	0,000163	0,000229	0,000416	0,001309	0,79	0,000156	0,000207	0,000316	0,000723
0,35	0,000163	0,000228	0,000411	0,001281	0,80	0,000156	0,000207	0,000315	0,000718
0,36	0,000163	0,000227	0,000407	0,001252	0 81	0,000156	0,000206	0,000314	0 000712
0,37	0,000162	0,000226	0,000402	0,001226	0 82	0,000155	0,000206	0,000313	0 000707
0,38	0,000162	0,000225	0,000398	0,001201	0,83	0,000155	0,000206	0,000312	0,000702
0,39	0,000162	0,000224	0,000394	0,001177	0 84	0,000155	0,000206	0,000311	0,000697
0,40	0,000161	0,000223	0,000390	0,001155	0,85	0,000155	0,000206	0,000311	0,000692
0,41	0,000161	0,000222	0,000386	0,001134	0,86	0,000155	0 000205	0,000309	0 000687
0,42	0,000161	0,000222	0,000383	0,001113	0,87	0,000155	0 000205	0 000308	0,000682
0,43	0,000160	0,000221	0,000380	0,001094	0,88	0,000155	0,000205	0 000307	0,000678
0,44	0,000160	0,000220	0,000376	0 001075	0,89	0,000155	0,000205	0,000307	0,000673
0,45	0,000160	0,000220	0,000373	0 001058	0,90	0,000155	0 000205	0,000306	0,000669

VALEURS DE R	VALEURS DE $\frac{RI}{u^2}$				VALEURS DE R	VALEURS DE $\frac{RI}{u^2}$			
	PAROIS très unies	PAROIS unies	PAROIS peu unies	PAROIS en terre		PAROIS très unies	PAROIS unies	PAROIS peu unies	PAROIS en terre
0,91	0,000155	0,000205	0,000306	0,000665	1,70	0,000153	0,000198	0,000275	0,000486
0,92	0,000153	0,000204	0,000305	0,000660	1,72	0,000153	0,000198	0,000275	0,000483
0,93	0,000155	0,000204	0,000305	0,000656	1,74	0,000153	0,000198	0,000274	0,000481
0,94	0,000155	0,000204	0,000304	0,000652	1,76	0,000153	0,000198	0,000274	0,000479
0,95	0,000155	0,000204	0,000303	0,000648	1,78	0,000153	0,000197	0,000274	0,000477
0,96	0,000155	0,000204	0,000303	0,000645	1,80	0,000153	0,000197	0,000273	0,000474
0,97	0,000155	0,000204	0,000302	0,000641	1,82	0,000152	0,000197	0,000273	0,000472
0,98	0,000155	0,000204	0,000301	0,000637	1,84	0,000152	0,000197	0,000273	0,000470
0,99	0,000155	0,000203	0,000301	0,000634	1,86	0,000152	0,000197	0,000272	0,000468
1,00	0,000155	0,000203	0,000300	0,000630	1,88	0,000152	0,000197	0,000272	0,000466
					1,90	0,000152	0,000197	0,000272	0,000464
1,02	0,000154	0,000203	0,000299	0,000623	1,92	0,000152	0,000197	0,000271	0,000462
1,04	0,000154	0,000203	0,000298	0,000617	1,94	0,000152	0,000197	0,000271	0,000460
1,06	0,000154	0,000203	0,000297	0,000610	1,96	0,000152	0,000197	0,000271	0,000458
1,08	0,000154	0,000202	0,000296	0,000604	1,98	0,000152	0,000197	0,000270	0,000457
1,10	0,000154	0,000202	0,000295	0,000598	2,00	0,000152	0,000197	0,000270	0,000455
1,12	0,000154	0,000202	0,000294	0,000592					
1,14	0,000154	0,000201	0,000293	0,000587	2,10	0,000152	0,000196	0,000269	0,000447
1,16	0,000154	0,000201	0,000292	0,000582	2,20	0,000152	0,000196	0,000267	0,000439
1,18	0,000154	0,000201	0,000291	0,000577	2,30	0,000152	0,000196	0,000266	0,000432
1,20	0,000154	0,000201	0,000290	0,000572	2,40	0,000152	0,000196	0,000265	0,000426
1,22	0,000154	0,000201	0,000289	0,000567	2,50	0,000152	0,000195	0,000264	0,000420
1,24	0,000154	0,000201	0,000288	0,000562	2,60	0,000152	0,000195	0,000263	0,000415
1,26	0,000154	0,000200	0,000287	0,000558	2,70	0,000152	0,000195	0,000262	0,000410
1,28	0,000154	0,000200	0,000287	0,000553	2,80	0,000152	0,000195	0,000261	0,000405
1,30	0,000153	0,000200	0,000286	0,000549	2,90	0,000152	0,000195	0,000261	0,000401
1,32	0,000153	0,000200	0,000285	0,000545	3,00	0,000152	0,000194	0,000260	0,000397
1,34	0,000153	0,000200	0,000285	0,000541	3,10	0,000151	0,000194	0,000259	0,000393
1,36	0,000153	0,000200	0,000284	0,000537	3,20	0,000151	0,000194	0,000259	0,000389
1,38	0,000153	0,000199	0,000283	0,000534	3,30	0,000151	0,000194	0,000258	0,000386
1,40	0,000153	0,000199	0,000283	0,000530	3,40	0,000151	0,000194	0,000258	0,000383
1,42	0,000153	0,000199	0,000282	0,000526	3,50	0,000151	0,000194	0,000257	0,000380
1,44	0,000153	0,000199	0,000282	0,000523	3,60	0,000151	0,000194	0,000257	0,000377
1,46	0,000153	0,000199	0,000281	0,000520	3,70	0,000151	0,000194	0,000256	0,000375
1,48	0,000153	0,000199	0,000281	0,000517	3,80	0,000151	0,000194	0,000256	0,000372
1,50	0,000153	0,000199	0,000280	0,000513	3,90	0,000151	0,000193	0,000255	0,000370
1,52	0,000153	0,000199	0,000279	0,000510	4,00	0,000151	0,000193	0,000255	0,000368
1,54	0,000153	0,000199	0,000279	0,000507	4,25	0,000151	0,000193	0,000254	0,000362
1,56	0,000153	0,000199	0,000278	0,000504	4,50	0,000151	0,000193	0,000253	0,000358
1,58	0,000153	0,000198	0,000278	0,000502	4,75	0,000151	0,000193	0,000253	0,000354
1,60	0,000153	0,000198	0,000277	0,000499	5,00	0,000151	0,000193	0,000252	0,000350
1,62	0,000153	0,000198	0,000277	0,000496	5,25	0,000151	0,000193	0,000251	0,000347
1,64	0,000153	0,000198	0,000277	0,000493	5,50	0,000151	0,000192	0,000251	0,000344
1,66	0,000153	0,000198	0,000276	0,000491	5,75	0,000151	0,000192	0,000250	0,000341
1,68	0,000153	0,000198	0,000276	0,000488	6,00	0,000151	0,000192	0,000250	0,000338

Pente des canaux. — Pour les *canaux d'amenée* destinés à alimenter les moteurs hydrauliques, on doit ménager la pente le plus possible pour avoir à l'usine la chute la plus grande. On donne généralement 0^m10, 0^m15 et 0^m20 par kilomètre.

Profil des canaux. — La section d'un canal n'est pas, en général, arbitraire, on lui donne le plus souvent la forme d'un trapèze, ou d'un rectangle quand il est taillé dans les roches dures. Quelquefois pour les petits canaux maçonnés on donne la forme demi-circulaire, mais ce profil est d'une exécution difficile et partant plus coûteuse. Dans les pays montagneux, l'aménagement des chutes d'eau peut se faire au moyen d'un canal en planches A B, à section rectangulaire, ou mieux avec un tuyau en fonte, soutenu dans les parties vallonnées par de solides pieux ou par des pylônes en maçonnerie 1, 2, 3, 4, etc. (fig. 18). La chute est en C, et actionne la roue hy-

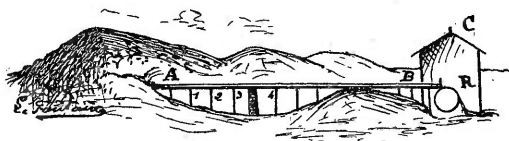


Fig. 18.— Canalisation en pays montagneux.

draulique R ou une turbine. Ces canalisations, en partie aériennes, sont abondantes dans l'Est de la France, en Suisse, en Allemagne, etc.

Dans un canal creusé dans le sol, on distingue (fig. 19) une

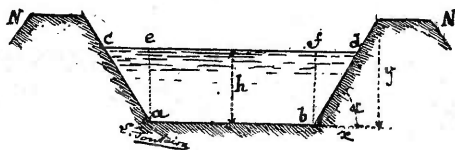


Fig. 19.— Profil en travers d'un canal.

base *a b*, appelée *plafond*, deux côtés *a c* et *b d*, appelés *berges* ou *talus*, dont la pente est imposée par la nature du terrain. On évalue cette pente par le rapport $\frac{y}{z}$ et si l'on prend comme hauteur constante l'unité, une pente de $\frac{1}{2}$ sera celle qui aura 1^m de haut sur 2^m de base. Voici les pentes à donner en déblai dans les différents cas de la pratique suivant le terrain :

	Pentes	Angles du talus
Pour les roches.....	ligne verticale	»
Pour l'argile pure.....	$\frac{1}{0,33}$	»
Pour la terre argileuse.....	$\frac{1}{0,50}$	64°
Pour la terre franche.....	$\frac{1}{1}$	45°
Pour la terre sablonneuse..	$\frac{1}{1,50}$ à $\frac{1}{2}$	26 à 27°

Les parties du canal dont les talus sont en remblai ont des pentes moins fortes à cause du pelletage qui diminue la cohésion. En règle générale, pour un même terrain, si la pente pour les berges en déblai est de $\frac{1}{m}$, pour les talus en déblai elle sera de $\frac{1}{m + \frac{m}{2}}$.

On s'efforcera de faire le tracé du canal en *profil d'équilibre*, c'est-à-dire que les parties en remblai soient égales aux parties en déblai.

Hauteur de l'eau dans un canal. — On donne en général une hauteur d'eau h (fig. 19) égale à la moitié de la largeur du plafond $a b$. D'où $h = \frac{1}{2} a b$, quelquefois $h = a$; et $a b$ est rarement plus grand que $20 h$. Ceci explique pourquoi dans la table des valeurs de $\frac{Ri}{u^2}$, il n'y a pas de valeur de R supérieure à 6 m., ni inférieure à 0^m01.

Calcul des dimensions à donner à un canal d'un débit déterminé. — Applications de la formule $R I = b_1 u^2$.

De tout ce qui précède sur l'écoulement de l'eau dans les canaux, on peut en tirer une application pratique dans les calculs relatifs à l'établissement d'un canal dont le débit $Q = A V$. $Q =$ débit en mètres cubes, A section en m^2 , V vitesse en m . Donc, pour un débit déterminé, si A augmente, on pourra diminuer la vitesse V et par suite la pente I par mètre, mais les travaux de terrassement seront plus considérables; si, au contraire, on augmente V en donnant une

plus grande pente I, on diminue la section du canal et les frais de creusage. La chute que l'on veut conserver à l'usine est donc le point capital à observer pour régler la pente par mètre à donner au canal. Les formules de Prony, de Bazin, de Tadini, permettent de résoudre les problèmes que comportent les canaux, savoir : 1° Recherche du débit d'un canal, connaissant sa section, la hauteur d'eau et la pente par mètre ; 2° recherche de la pente, connaissant la section du canal, la hauteur d'eau et le débit ; 3° recherche de la section, connaissant le débit et la pente par mètre.

PREMIER PROBLÈME. — *Recherche du débit.* — Soit (fig. 20) un canal A B C D, creusé en terre franche, ayant 2 m. au pla-

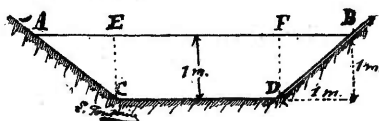


Fig. 20.— Coupe d'un canal.

fond et 1 mètre d'épaisseur d'eau h , la pente par mètre est de 0^m0005 , soit $\frac{5}{10}$ de millimètre. Trouver le débit par seconde.

Réponse. — Il faut d'abord chercher la section S et le périmètre mouillé P , pour obtenir le rayon moyen R .

La section $S =$ rectangle C E F D + 2 triangles rectangles isocèles A E C et F B D.

$$S = 2 \times 1 + 2 (1 \times 0,5) = 3 \text{ mètres carrés.}$$

$$\text{Le périmètre mouillé } P = A C + C D + D B.$$

$$C D = 2 \text{ mètres}$$

$$B D = \sqrt{2} = 1,414$$

$$A C = \sqrt{2} = 1,414$$

$$\text{D'où } P = 2 + 1,414 + 1,414 = 4^m828.$$

$$\text{Rayon moyen } = \frac{S}{P} = \frac{3}{4,828} = 0^m6213.$$

$$\text{Et } R I = 0,6213 \times 0,0005 = 0,0003106.$$

D'autre part, en consultant la table des valeurs de $\frac{R I}{u^2}$, on trouve pour un rayon R de 0^m62 la valeur $0,000845$.

$$\text{Par conséquent, } \frac{0,0003106}{u^2} = 0,000845,$$

$$u^2 = \frac{0,0003106}{0,000845} = 0,367$$

$$u = \sqrt{0,367} = 0^m60$$

(1) Le débit $Q = u \times S = 0,60 \times 3 = 1^m60$ ou 1800 litres par seconde.

Si l'on n'avait pas de table, on emploierait l'une des formules simplifiées que nous avons données. Prenons celle de Tadini

$$u = 50 \sqrt{RI}$$

$$\text{On a } u = 50 \sqrt{0,6213 \times 0,0005} = 0^m88.$$

$$(2) \text{ Et } Q = 0,88 \times 3 = 2^m64$$

Avec la formule $u = 35 \sqrt{RI}$ on a :

$$u = 35 \sqrt{0,6213 \times 0,0005} = 0^m61.$$

$$(3) \text{ Et } Q = 0,61 \times 3 = 1^m84.$$

DEUXIÈME PROBLÈME. — *Recherche de la pente.* — Un canal a une section d'écoulement de 3 m. carrés et un rayon moyen de 0^m62, le débit est de 3^m50, trouver la pente ?

D'après la formule du débit, $Q = u \times S$, on tire

$$u = \frac{Q}{S}, \text{ et dans l'exemple}$$

$$u = \frac{3,50}{3} = 1^m16.$$

D'après la table (page 35), on voit que pour un rayon R de 0^m62, la valeur de $\frac{RI}{u^2}$ est de 0,000845. D'où en remplaçant

R et u^2 par leur valeur, on a :

$$\frac{0,62 \times I}{1,16 \times 1,16} = 0,000845.$$

$$I = \frac{0,0011365}{0,62} = 0^m0018.$$

Si nous déterminons cette pente au moyen de la formule

$u = 35 \sqrt{RI}$, on a :

$$1,16 = 35 \sqrt{0,62 I}. \text{ Et en effectuant,}$$

$$0,787 \sqrt{I} = 0,03314$$

$$\sqrt{I} = \frac{0,03314}{0,787}, \text{ et}$$

$$\sqrt{I} = 0,042$$

$$I = 0,042 \times 0,042 = 0^m 001764.$$

On voit que les deux formules donnent à peu de chose près les mêmes résultats. Généralement on détermine la pente d'un canal par nivellement.

TROISIÈME PROBLÈME. — *Recherche de la section.* — Dans ce problème, on donne le débit par seconde et la pente par mètre, on demande de déterminer la section. La solution ne peut être trouvée que par tâtonnement.

Supposons que le débit du canal soit de 716 litres, la pente est de $0^m 0003$ par mètre, le talus a une inclinaison de $\frac{1}{1,5}$

Prenons arbitrairement une section et une hauteur d'eau : 1 m. pour hauteur d'eau ; 2 m. pour largeur de plafond. Cherchons u pour cette section.

$$\text{Section } S = 2 \times 1 + 2 (0,5 \times 1,5) = 3^m 250$$

$$\text{Périmètre mouillé } P = 2 + 2 \sqrt{1 + 2,25} = 5^m 60$$

$$\text{Rayon moyen } R = \frac{3,5}{5,6} = 0^m 625$$

Pour un rayon de 0,62, $\frac{RI}{u^2} = 0,000845$. On a alors,

$$\frac{0,625 \times 0,0003}{u^2} = 0,000845$$

$$u^2 = \frac{0,0001875}{0,000845} = 0,2218$$

$$u = \sqrt{0,2218} = 0^m 47$$

$$Q = 0,47 \times 3,50 = 1^m 645.$$

La section est donc bien trop grande ; on recommence les calculs avec 1 m. de plafond et $0^m 80$ de hauteur d'eau. On a :

$$S = 2 \text{ mètres carrés}$$

$$P = 4^m 40$$

$$R = 0,454$$

A un rayon de 0,45, $\frac{RI}{u^2} = 0,001058$.

$$\text{D'où } u^2 = \frac{0,0001362}{0,001058} = 0,1287$$

$$u = \sqrt{0,1287} = 0,358$$

$$Q = 0,358 \times 2 = 0^m 716.$$

Si on manque de table, on applique la formule $u = 35 \sqrt{R I}$.

Pour notre cas, en conservant les dernières dimensions du canal, on a $u = 35 \sqrt{0,454 \times 0,0003} = 0,406$.

Et $Q = 0,406 \times 2 = 0 \text{ m. c. } 812$.

F. — ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LES TUYAUX

Les tuyaux peuvent être considérés comme des canaux à section cylindrique. L'écoulement de l'eau dans ceux-ci se fait dans des conditions spéciales se rapprochant beaucoup de celle des canaux. Les filets liquides constituant la colonne d'eau ne se déplacent pas avec la même vitesse. En effet, si nous considérons le tuyau T (fig. 21), nous voyons que les

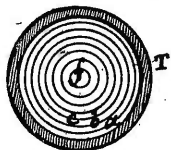


Fig. 21. — Coupe d'un tuyau montrant les zones des vitesses du liquide.

filets de la couche *a*, touchant la paroi, éprouvent de la part de celle-ci un certain frottement qui retarde leur glissement. La couche *a* réagit à son tour sur la couche *b*, qui a une vitesse plus grande ; *b* réagit sur *c* et ainsi de suite. Toutes ces forces retardatrices vont en diminuant, et au centre du tuyau en *f* on trouve le filet ayant le maximum de vitesse.

Il y a donc une vitesse moyenne *u*, qui doit être seule employée dans les calculs.

Débit théorique et débit pratique d'un tuyau. — Perte de charge par mètre et charge effective. — Charge totale par mètre. — Le débit *Q* d'un tuyau de conduite est en fonction de la vitesse d'écoulement *V* et de la section ω . Donc, théoriquement, $Q = V \omega$. *V* se détermine par la formule $\sqrt{2gH}$,

dans laquelle *H* représente la *charge théorique*, mesurée du niveau libre du liquide *ab* au plan d'écoulement *xy* de l'orifice ω (fig. 22). La section ω se détermine par les formules πR^2 ou $\frac{\pi D^2}{4}$.

Mais le débit pratique est moindre que le débit théorique. Voyons lequel des deux facteurs du débit qui est diminué. Quand le régime est établi, le tuyau coule à *gueule bée*, ce n'est donc point la section qui est modifiée. Ce ne peut être que la vitesse *V*. En effet, comme nous l'avons vu, il se pro-

duit des frottements contre les parois du tuyau qui ralentissent le déplacement. Donc, ces frottements absorbent une certaine charge H' qui s'exprime en mètres, et la charge effective employée à déplacer l'eau sous une vitesse moyenne u est égale à $H - H' = h$.

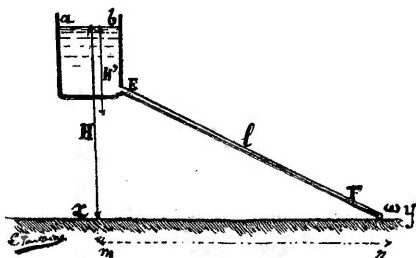


Fig. 22. — Perte de charge dans les tuyaux.

La charge H' est appelée *perte de charge*, et si la longueur du tuyau est l , la perte de charge par mètre sera $\frac{H'}{l}$; on ne l'emploie jamais. Au contraire, la charge par mètre nécessaire à l'écoulement est $\frac{H}{l}$, comprenant : 1° la charge effective pour déplacer le liquide ; 2° la perte de charge par mètre. Dans les livres, on désigne souvent ces deux points sous le nom de *perte de charge*. On ne fait entrer en pratique que la *charge totale par mètre*.

Pour mieux nous faire comprendre, prenons un tuyau de 500 m. de long, dans lequel on veut obtenir une vitesse de 2 m., la perte de charge par mètre est de 0^m,08, trouver la charge ?

$$\text{En tombant dans le vide, l'eau aurait besoin de } h = \frac{V^2}{2g} = \frac{2 \times 2}{2 \times 9,81} = 0^{\text{m}},203 \text{ de charge.}$$

Les frottements absorbent en perte de charge $0,08 \times 500 = 40^{\text{m}},203$.

Quand un tuyau est à son régime d'écoulement, la vitesse est uniforme et la *perte de charge totale est égale à la charge totale*.

Maintenant, nous appelons tout particulièrement l'attention du lecteur sur ce point : que l'écoulement se fasse de *haut en bas* ou de *bas en haut*, pour un même tuyau, la charge totale reste la même. Ce qui revient à dire que, si une charge de

40 mètres agit sur le haut d'une conduite, il faudra que la puissance exercée sur le piston d'une pompe donne une charge de 40 mètres pour produire l'écoulement en sens contraire. Dans les deux cas le travail est le même.

Evaluation du frottement dans les tuyaux. — L'équation d'équilibre entre les pressions et les résistances dans un tuyau est donnée, comme pour un canal, par l'expression :

$$\pi \omega z = \pi l X f(u),$$

d'où en supprimant π dans les deux termes, on peut écrire que

$$\frac{\omega}{X} = \frac{z}{l} = f(u)$$

dans laquelle ω représente la section du tuyau, X le périmètre mouillé, $\frac{z}{l}$ la perte de charge totale par mètre, f coefficient de frottement dépendant de la vitesse moyenne u . Cette égalité n'exprime la perte de charge totale par mètre que si la conduite est rectiligne; si elle présentait des coudes, des étranglements, la perte de charge serait plus grande.

Dans les tuyaux, le rapport $\frac{\omega}{X}$ ne donne que la moitié du rayon r , car on a :

Section $r = \pi R^2$, et circonférence $X = 2 \pi R$

$$\text{d'où } r = \frac{\omega}{X} = \frac{\pi R^2}{2 \pi R} = \frac{R}{2}.$$

Formule pratique de Prony. — De Prony, de la discussion de 51 expériences de Dubuat, Bossut et Couplet, a conclu à la formule suivante en remplaçant les termes $\frac{\omega}{X} \times \frac{z}{l} = f(u)$ par leur valeur :

$$\frac{1}{2} R I = a u + b u^2 \quad (1)$$

$$\text{ou } \frac{D J}{4} = a u + b u^2 \quad (2)$$

Nous substituons dans la deuxième égalité $\frac{D}{4}$ pour $\frac{R}{2}$ et J à I .

Enfin, a et b sont deux coefficients de frottement, le premier = 0,0000173, le deuxième 0,000348. On aura donc :

$$\frac{D J}{4} = 0,0000173 u + 0,000348 u^2.$$

En effectuant cette équation du second degré, il vient

$$u = \sqrt{0,0062 + 2871,44 \frac{D J}{4}} - 0,025,$$

$$\text{ou à peu près } u = 53,58 \sqrt{\frac{D J}{4}} - 0,025 \quad (a)$$

Connaissant u , le débit sera égal à la section S multipliée par u .

$$Q = S u \text{ ou } \frac{\pi D^2}{4} u \quad (b)$$

Et la perte de charge totale par mètre J est

$$J = 4 \left(\frac{a u + b u^2}{D} \right)$$

Eytelweein a donné comme coefficients :

$$a = 0,000222$$

$$b = 0,00028$$

Prony a établi une table donnant les valeurs de $\frac{1}{4} D J$ de la formule (2). Une autre table, calculée par Claudel, dont nous donnons un extrait, permet de trouver rapidement, sans tâtonnement, les dépenses et les charges totales par mètre de longueur, pour des tuyaux de différents diamètres avec des écoulements variables. La première colonne de cette table est commune à tous les diamètres indiqués ; la deuxième indique la dépense obtenue en multipliant la section de chaque tuyau par les vitesses moyennes ; la troisième donne la charge totale par mètre de longueur de conduite, calculée d'après la table de Prony, en divisant par $\frac{1}{4} D$ les valeurs de $\frac{1}{4} D J$, correspondant aux vitesses moyennes de la première colonne de la table.

Applications de la formule de Prony dans la pratique. —

La formule de Prony permet en pratique de résoudre trois problèmes, comme celle de Darcy que nous verrons plus loin : 1° Recherche du débit d'un tuyau de diamètre et de charge donnés ; 2° recherche de la pente ou perte de charge pour un débit et une longueur de tuyau donnés ; 3° recherche du diamètre d'un tuyau pour un débit et une longueur donnés. Nous ne nous occuperons ici que des problèmes 1 et 3.

1° RECHERCHE DU DÉBIT. — *Soit une conduite de 0^m,15 de diamètre, la charge totale est de 2 mètres ; la conduite a 500 m. de long, trouver son débit ?*

Réponse. — La charge totale par mètre est $\frac{2}{500} = 0^m,004$. En cherchant dans la table calculée de Prony (page 46), nous voyons que pour une charge de 4^{mm}87, le débit par seconde

TABLE calculée d'après la formule de Prony, relative à l'établissement des tuyaux de conduite d'eau. (CLAUDEL)

VITESSES MOYENNES D'ÉCOULEMENT	0 ^m 07		0 ^m 10		0 ^m 12		0 ^m 15		0 ^m 20		0 ^m 25		0 ^m 30		
	DIAMÈTRE de la conduite 0 ^m 05	SECTION de la conduite 0 ^m 0019635	0 ^m 00384846	0 ^m 007854	0 ^m 01130976	0 ^m 0176715	0 ^m 031416	0 ^m 0490875	0 ^m 070686	Dépenses en litres par seconde	Charges en millimètres par mètre de conduite	Dépenses en litres par seconde	Charges en millimètres par mètre de conduite	Dépenses en litres par seconde	Charges en millimètres par mètre de conduite
0.01	0.0196	0.016	0.0385	0.0119	0.0785	0.0083	0.1131	0.0069	0.176	0.005	0.314	0.004	0.490	0.706	0.002
0.10	0.1963	0.44	0.3848	0.298	0.785	0.208	1.131	0.0173	1.76	0.139	3.14	0.104	4.90	7.06	0.069
0.20	0.392	1.39	0.769	0.994	1.570	0.695	2.262	0.58	3.53	0.463	6.28	0.347	9.81	14.13	0.231
0.30	0.589	2.92	1.154	2.088	2.356	1.461	3.392	1.22	5.30	0.974	9.42	0.73	14.72	21.20	0.48
0.40	0.785	5.01	1.539	3.580	3.144	2.506	4.523	2.08	7.06	1.67	12.56	1.25	19.63	28.27	0.83
0.50	0.981	7.65	1.924	5.470	3.927	3.829	5.654	3.19	8.83	2.55	15.70	1.94	24.54	35.34	1.27
0.60	1.178	10.86	2.309	7.758	4.712	5.430	6.785	4.52	10.60	3.62	18.84	2.71	29.45	42.44	1.81
0.70	1.374	14.62	2.693	10.444	5.497	7.311	7.916	6.09	12.37	4.87	21.99	3.65	34.36	49.48	2.43
0.80	1.570	18.94	3.078	13.828	6.283	9.470	9.047	7.89	14.13	6.31	25.13	4.73	39.27	56.54	3.15
0.90	1.767	23.81	3.463	17.010	7.068	11.907	10.478	9.92	15.90	7.93	28.27	5.95	44.17	63.61	3.96
1.00	1.963	29.24	3.848	20.890	7.854	14.623	11.30	12.18	17.67	9.74	31.41	7.31	49.08	70.68	4.87
1.20	2.356	41.78	4.618	29.845	9.421	20.891	13.57	17.40	21.20	13.92	37.69	10.44	58.90	84.82	6.96
1.40	2.748	56.54	5.387	40.391	10.995	28.274	15.83	23.56	24.74	18.84	43.98	14.13	68.72	98.96	9.42
1.60	3.141	76.54	6.157	52.329	12.556	36.770	18.09	30.64	28.27	24.51	50.26	18.38	78.54	113.09	12.25
1.80	3.534	92.76	6.927	66.260	14.137	46.382	20.35	38.65	31.80	30.92	56.54	23.19	88.35	127.20	15.46
2.00	3.927	114.21	7.696	81.582	15.708	57.107	22.61	47.58	35.34	38.07	62.83	28.55	98.17	141.3	19.03
2.20	4.319	137.89	8.466	98.497	17.278	68.948	24.88	57.55	38.87	45.96	69.11	34.47	107.90	155.5	22.98
2.40	4.712	163.80	9.236	117.003	18.849	81.902	27.14	68.25	42.44	54.60	75.39	40.95	117.80	169.6	27.30
2.60	5.105	191.94	10.006	137.102	20.420	95.971	29.40	79.97	45.94	63.98	81.68	47.98	127.60	183.7	31.99
2.80	5.497	222.31	10.775	158.793	21.991	111.155	31.66	92.62	49.48	74.10	87.96	55.57	137.40	197.9	37.05
3.00	5.890	254.90	11.545	182.075	23.562	127.453	33.92	106.21	53.01	84.96	94.24	63.72	147.20	212.0	42.48

est de 12,37. Cette dépense n'est obtenue qu'avec un tuyau neuf, en fonte par exemple ; au bout d'un certain temps l'intérieur s'enduit d'incrustations calcaires, qui diminuent notablement le débit, comme nous le verrons dans la formule de Darcy.

2° RECHERCHE DU DIAMÈTRE D'UN TUYAU POUR UN DÉBIT DONNÉ. — Soit une conduite de 500 mètres de long, partant d'un réservoir, la charge totale est de 2 mètres, le débit doit être de 8 litres par seconde ; trouver le diamètre de tuyau à adopter ?

Réponse. — La charge totale par mètre est $\frac{2}{500} = 0^m,004$. On cherche sur la table le plus petit diamètre capable de débiter 8 litres par seconde, sans que la charge dépasse 4 millimètres par mètre.

On trouve ainsi :

Diamètre du tuyau ..	0 ^m 10	Charge ..	3,829	Débit ..	3 ^l 937
— ..	0 12	— ..	3,19	— ..	5 654
— ..	0 15	— ..	3,62	— ..	10 60

Le diamètre doit être compris entre 0^m12 et 0^m15, il convient de le fixer à 0^m14, à cause des incrustations qui se produisent.

Si l'on ne possède pas de table, on calculera par tâtonnement, en se donnant un diamètre arbitraire. Puis avec la formule de Prony $u = 53,58 \sqrt{\frac{DJ}{4}} - 0,025$, ou avec $u = 20 \sqrt{DJ}$,

on obtiendra la vitesse moyenne u . Multipliant cette vitesse par la section du tuyau proposé, on verra si le débit s'approche en plus ou en moins de celui que l'on cherche.

REMARQUE IMPORTANTE. — Dans l'élévation des eaux au moyen d'une pompe, il est très important de proportionner le diamètre du tuyau de refoulement avec la hauteur d'élévation, au point de vue de la dépense d'installation du moteur.

Ainsi, par exemple, si l'on veut élever à 8 mètres, 8 litres d'eau par seconde au moyen d'une machine à vapeur, la conduite ayant 1000 mètres de long, il faudra, avec des tuyaux de 0^m05, 0^m10 et 0^m20 de diamètre, les puissances suivantes :

1° *Tuyau de 0^m08.* — La charge totale par mètre est de 0^m19 environ, soit pour la conduite une charge totale de

$$0^m19 \times 1000 = 190 \text{ mètres}$$

La charge d'élévation étant de. $\frac{8}{190} =$

La charge totale est de..... 198 mètres

Le travail mécanique théorique sera de $8 \times 198 = 1.584$ kilogrammètres.

2° *Tuyau de 0^m10.* — Charge par mètre, 0^m14.
 Charge de la conduite, $0,14 \times 1000 = 140$ mètres
 Charge d'élévation..... 8
 Charge totale.... 148 mètres
 Travail mécanique $8 \times 148 = 1.184$ kilogrammètres.

3° *Tuyau de 0^m20.* — Charge par mètre, 0,00053.
 Charge de la conduite, $0,00053 \times 1000 = 0^m53$
 Charge d'élévation..... 8
 Charge totale..... 8^m53
 Travail mécanique $8 \times 8,53 = 68,24$ kilogrammètres.

Ainsi, dans les trois cas pris comme exemples, la machine à vapeur devra déployer 21,12, 15,79 et 0,90 chevaux-vapeur.

Donc, dans l'établissement d'une conduite d'eau, on devra dresser un tableau des prix des tuyaux et des machines, pour différents diamètres, en tenant compte des intérêts, de l'amortissement, du capital engagé et des frais d'entretien annuels. La comparaison des cas entre eux permettra de faire le choix du diamètre le plus convenable à adopter.

Formule de Darcy. — En 1857, Darcy fit à Dijon de nombreuses expériences pour vérifier les données de Prony, qui n'avait tenu compte dans leur établissement que de la vitesse d'écoulement.

Les expériences de Darcy ont mis en lumière que la nature et l'état des surfaces des tuyaux influent sur leur débit, que le diamètre des conduites influe également sur la dépense.

Il en a déduit la formule suivante :

$$\frac{DJ}{2} = b_1 u^2. \text{ (a)}$$

$$b_1 = 0,000507 + 0,00001294.$$

De la formule fondamentale on tire les trois suivantes :

Diamètre du tuyau	Pente	Vitesse moyenne
$D = \frac{2 b_1 u^2}{J}$	$J = \frac{2 b_1 u^2}{D}$	$u = \sqrt{\frac{JD}{2 b_1}}$

On emploie ces trois formules à défaut de tables, mais on a soin de doubler la valeur de b_1 , soit $0,001014 + 0,00002588$, parce que les dépôts ne tardent pas à diminuer la section d'écoulement et à réduire la charge. C'est donc sur ces données qu'il faut calculer le diamètre des conduites devant fonctionner pendant longtemps.

Les formules précédentes se représentent aussi par les

suivantes, en employant un coefficient α , calculé dans la table ci-dessous :

$$\begin{array}{l} \text{Perte de charge} \\ \text{par mètre} \\ J = \alpha Q^2 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Diamètre} \\ \text{du tuyau} \\ \alpha = \frac{J}{Q^2} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Débit} \\ Q = \sqrt{\frac{J}{\alpha}} \end{array}$$

Tableau des valeurs de D, de b₁ et α

DIAMÈTRES D	VALEURS de b ₁	VALEURS de α	DIAMÈTRES D	VALEURS de b ₁	VALEURS de α
0,05	0,000765	15874	0,14	0,000599	72,222
0,06	0,000722	6020,9	0,15	0,000593	50,639
0,07	0,000691	2663,1	0,16	0,000587	36,301
0,08	0,000668	1321,9	0,17	0,000583	26,626
0,09	0,000650	713,81	0,18	0,000578	19,836
0,10	0,000636	412,42	0,19	0,000575	15,059
0,11	0,000624	251,25	0,20	0,000571	11,571
0,12	0,000614	160,01	0,21	0,000568	9,0185
0,13	0,000606	105,84	0,22	0,000563	7,1092

Applications de la formule de Darcy. — On peut, comme avec la formule de Prony, résoudre les trois problèmes :

1^{er} PROBLÈME. — *Recherche du débit d'un tuyau.* — Soit une conduite de 0^m15 de diamètre, la charge totale est de 2 mètres, la conduite a 500 mètres de long, trouver le débit ?

Réponse. — On a pour D = 0^m15, $\frac{J}{Q^2} = 50,639$ (table précédente).

La charge par mètre étant de $\frac{2}{500} = 0^m004$,

$$Q^2 = \frac{0,004}{50,639} = 0,000078$$

$$Q = \sqrt{0,000078} = 0^m00883 \text{ ou } 8 \text{ litres } 830.$$

En appliquant la formule $u = \sqrt{\frac{JD}{2b_1}}$, on trouve comme

vitesse 0^m52, qui multipliée par la section du tuyau donne un débit de 9 litres 18.

On peut encore appliquer la formule $u = 20 \sqrt{DJ}$. Dans le cas, on aurait $u = 0^m48$. Et Q = 8 litres 432.

2^e PROBLÈME. — *Recherche du diamètre d'un tuyau.* — Soit une conduite de 500 m. de long, devant débiter 8 litres 83 par seconde, la charge totale est de 2 m., trouver le diamètre du tuyau ?

$$\text{Réponse. — } \alpha = \frac{J}{Q^2} = \frac{0,004}{0,00883^2} = 50,639$$

En cherchant sur la table, on trouve que $\frac{J}{Q^2} = 50,639$, $D = 0^m15$. Si l'on n'a pas de table, on agit par tâtonnement en se donnant un diamètre quelconque, et on cherche la vitesse u avec l'une des formules $u = \sqrt{\frac{JD}{2b_1}}$, ou $u = 20 \sqrt{DJ}$. Con-

naissant la vitesse moyenne, on multiplie par la section du tuyau, on voit si le diamètre est trop grand ou trop petit. On prend d'autres diamètres, etc.

3^e PROBLÈME. — *Recherche de la perte de charge totale par mètre.* — Soit une conduite de 500 mètres de long, de 0^m15 de diamètre débitant 8 litres 83 par seconde, trouver la perte de charge totale par mètre ?

Réponse. — $J = \alpha Q^2$, en cherchant dans la table on trouve que $J = 50,639 \times (0,00883)^2 = 0^m 003947$.

D'où charge totale pour la conduite = $500 \times 0,003947 = 1^m9735$.

Si on n'a pas de table, on se sert de la formule $u = 20 \sqrt{DJ}$

Vitesses limites de l'eau dans les tuyaux. — Théoriquement, avec un diamètre donné, on pourrait obtenir un débit aussi grand que l'on voudrait, en donnant à l'eau une vitesse suffisante, puisque Q est fonction de la section ω et de la vitesse u . Mais pratiquement, on ne dépasse pas 3 m. par seconde et même 2 m. pour les gros tuyaux, afin d'éviter les coups de bélier qui se produiraient lors de la fermeture des robinets, amenant la rupture du tuyau.

Il faut pourtant, dans le cas d'eau chargée de sable ou de limon, que la vitesse ait une valeur suffisante pour entraîner ces substances et les empêcher de se déposer sur les parois ; cette vitesse peut être estimée à 0^m15 pour les argiles, 0^m30 pour les sables, 0^m60 pour le gravier.

Quand on est dans l'obligation d'établir une conduite avec une charge trop forte, donnant une vitesse d'écoulement supérieure à 3 m. par seconde, on interpose sur le trajet du tuyau un diaphragme, absorbant une certaine charge par frottement.

Importance des pertes de charge dans l'établissement d'une conduite au point du vue du travail mécanique absorbé. — Quand on veut établir une conduite d'eau, on ne doit pas perdre de vue ces deux grands principes :

1° *La charge J par mètre de longueur est en raison inverse du diamètre ;*

2° *La dépense ou le débit par seconde est proportionnel à la section de la conduite ou au carré du diamètre.*

PROBLÈME. — Au moyen d'une machine à vapeur, on se propose d'élever 21^m60 d'eau par heure à 20 mètres de haut, au-dessus du niveau du puisard des pompes, la conduite a 1500 m. de long, de diamètre constant. Quel diamètre faut-il donner à la conduite, sachant qu'elle n'alimente aucun branchement sur son parcours ?

Réponse. — Le débit par seconde des pompes sera de 6 litres. Si l'on n'avait à considérer que les frais d'établissement de la conduite, il est évident que l'on devrait adopter le plus petit diamètre pouvant débiter 6 litres d'eau par seconde, sans que la vitesse dépasse 3 m. Mais comme la charge augmente en raison inverse du diamètre du tuyau, la puissance de la machine s'élèvera. Pour résoudre le problème convenablement, il faut dresser un tableau des prix d'établissement pour différentes conduites et pour les machines qu'elles nécessitent, en faisant intervenir l'intérêt du capital engagé, l'entretien, etc.

Le plus petit diamètre dont on pourra faire usage est, d'après la table de Prony (page 46), de 0^m07, lequel, pour une dépense de 6 l. 157, exige une charge de 0^m052529 par mètre de longueur de conduite. La charge pour 6 litres s'obtient par une simple proportion : On remarque que pour une différence de 0 l. 770 des deux dépenses successives 6 l. 927 et 6 l. 157 de la table, la différence de charge totale par mètre de longueur de conduite est 0^m066260 — 0^m052529 = 0^m013731. La différence entre 6 l. 927 et 6 litres est 0 l. 927, la différence de charge x sera donnée par la proportion :

$$0,770 : 0,927 = 0,013721 : x$$
$$x = 0^m,01653.$$

La charge correspondant à la dépense de 6 litres est donc : 0,052529 — 0,016530 = 0^m035999.

Pour les 1500 mètres de conduite, la charge sera 1500 × 0,035999 = 53^m998, auxquels il faut ajouter les 20 mètres d'élévation, ce qui donne une charge définitive de 73^m998. Comme on doit élever 21^m60 ou 21600 litres d'eau à l'heure, le tra-

vail effectif de la machine, non compris le frottement des pompes, devra être de $53,998 \times 21600 = 1166356$ kilogrammètres. Soit en chevaux-vapeur : $\frac{1166356}{270000} = 4$ chevaux 31 par heure.

PROBLÈME GÉNÉRAL D'UNE DISTRIBUTION D'EAU. — Soit une conduite d'eau principale A D (fig. 23), de diamètre uniforme,

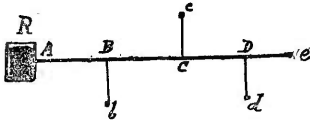


Fig. 23. — Plan d'une distribution d'eau.

partant du réservoir R et alimentant dans son parcours différents embranchements B C D, de débits déterminés, sur lesquels sont placés des robinets. On demande de déterminer les diamètres des conduites. Ce problème ne peut se résoudre que par tâtonnements

successifs, en prenant des diamètres arbitraires de A en D, et en calculant les pertes de charge. On devra conserver aux robinets *b c d e* une hauteur de charge de 0^m10, 0^m20, 0^m30 pour que l'eau s'écoule.

Le diamètre arbitraire de A en D étant connu, la charge totale A e donnée par nivellement et les débits des robinets *b c d e* également posés, voyons comment on procède.

De A en B, on calcule la perte de charge en multipliant la perte de charge par mètre par la longueur A B. En retranchant cette perte de la *charge théorique* du point B, obtenue par nivellement, on a la *charge réelle* au point B, charge qui doit être suffisante pour élever l'eau au robinet *b*. On détermine ensuite la perte de charge de B en C ; celle-ci, ajoutée à celle de A en B, donne la perte de charge totale de A en C, qui, retranchée de la charge théorique en C, donne la charge réelle en ce point. Cette charge doit être suffisante pour produire l'écoulement au robinet *c*. On continue ainsi pour les autres parties de la conduite ; si la charge réelle en D était trop faible pour produire l'écoulement au robinet *e*, on prendrait un diamètre plus grand ; dans le cas contraire, on diminuerait ce diamètre.

Prenons un exemple numérique pour appliquer le problème dans toute son étendue, nous nous servirons des données suivantes :

Distance :	A B.....	20 mètres.
	A C.....	35 —
	A D.....	50 —
	A e.....	70 —

Charge sur l'orifice :	B	0 ^m 68
	C.....	1 90
	D.....	1 60
	e	2 20
Débit par seconde du robinet :	<i>b</i>	3 litres.
	<i>c</i>	4 —
	<i>d</i>	13 —
	<i>e</i>	5 —
Longueur du branchement :	B <i>b</i>	6 mètres.
	C <i>c</i>	10 —
	D <i>d</i>	5 —
Surcharge sur l'orifice :	<i>b</i>	0 ^m 10
	<i>c</i>	0 20
	<i>d</i>	0 30
	<i>e</i>	0 40

La conduite devra donc avoir un débit maximum, en supposant les robinets coulant ensemble, de $3 + 4 + 13 + 5 = 25$ litres.

Fixons le diamètre de la conduite principale à 0^m15, la charge correspondante pour un débit de 25 litres est, d'après la table de Claudel (page 46), comprise entre 0^m018 à 0^m024, soit environ 0^m021 par mètre:

La perte de charge de A en B est donc de $20 \times 0,021 = 0^m42$
 La charge théorique en B est de 0 68
 La charge réelle en B est 0,68 — 0,42 0 26

Comme on doit avoir au robinet *b* une surcharge de 0^m10, il ne reste plus que 0^m16 de charge pour produire l'écoulement, soit une charge de $\frac{0,16}{6} = 0^m026$ par mètre dans la conduite

B *b*. En consultant la table on voit qu'un tuyau de 0^m07, sous une charge de 0^m013528, donne un débit de 3^{lit}07, ce qui est suffisant.

De B en C la longueur est de $35 - 20 = 15$ mètres.

Le débit est de $4 + 13 + 5.....$ 22 litres.

Pour un diamètre de 0^m15 et un débit de 22 litres, la charge par mètre est de 0^m015088, soit pour B en C :

Perte de charge de B en C = $0,015088 \times 15 = 0^m23$
 Perte de charge de A en B.... 0 42
 Perte de charge de A en C = $0,23 + 0,42... 0 65$
 Charge théorique en C..... 1 90
 Charge réelle en C $1^m90 - 0,65..... 1 25$

La surcharge nécessaire en *c* devant être de 0^m20, il reste

comme charge $1,25 - 0,20 = 1$ m. 05. La conduite C c ayant 10 mètres, la charge par mètre est de 0 m. 105 ; la table donne pour un débit de 3 litres un diamètre de tuyau de 0 m. 05 bien suffisant.

De C en D, la longueur est de $50 - 35 = 15$ mètres.

Le débit est de $13 + 5 = 18$ litres.

Pour un débit de 18 litres, la conduite de 0 m. 15 exige par mètre une charge de 0 m. 024, soit pour C en D :

Perte de charge de C en D..... $15 \times 0,024 = 0$ m. 36.

Perte de charge de A en C..... 0 m. 65.

Perte de charge totale de A en D $0,36 + 0,65 = 1$ m. 01.

Charge réelle en D... $1,60 - 1,01 = 0$ m. 59.

La surcharge en *d* devant être de 0 m. 30, il reste comme charge 0 m. 59 - 0 m. 30 = 0 m. 29. La conduite D d a 5 m., ce qui donne une charge de 0 m. 058 par mètre. Le débit devant être en *d* de 13 litres, nous voyons sur la table qu'une charge de 0 m. 057 donne 15¹⁷ pour 0 m. 10 de diamètre ; donc c'est ce tuyau qu'il faut adopter.

Enfin de D en *e*, la distance est de $60 - 50 = 10$ mètres.

La perte de charge de A en D est 1 m. 01.

La surcharge en *e* étant de 0 m. 40.

La charge théorique de A en D étant de. 2 m. 20.

il reste comme charge réelle de D en *e* 2 m. 20 - (1 m. 01 + 0 m. 40) = 0 m. 79.

La conduite D e ayant 20 mètres, la perte de charge par mètre sera $\frac{0,79}{20} = 0$ m. 039, qui pour un débit de 5 litres

correspond à un diamètre de tuyau de 0 m. 07.

En résumé, les conduites auraient :

A D..... 0 m. 15 de diamètre.

B b..... 0 m. 07

C c..... 0 m. 05

D d..... 0 m. 10

D e..... 0 m. 07

Des conduites en général et leur installation

Les anciens n'employaient dans la conduite des eaux que les canaux découverts ou souterrains, ayant une pente déterminée ; plus tard vinrent les *conduites forcées*, dans lesquelles l'eau s'écoule avec une certaine pression.

Les conduites que l'on peut employer aujourd'hui dans le

transport des eaux sont de deux sortes : 1° les *conduites flexibles*; 2° les *conduites rigides*.

Les conduites flexibles, en caoutchouc ou en toile, ne peuvent être utiles que dans les arrosages à la main. Pour ce qui nous occupe, nous n'insisterons que sur les conduites rigides permanentes ou temporaires.

L'épaisseur des parois d'un tuyau pour résister aux pressions intérieures est donnée par la formule

$$e = \frac{h D}{2 R},$$

dans laquelle e est l'épaisseur du tuyau en millimètres ; h , pression intérieure du tuyau exprimée en mètres de hauteur d'eau ; D , diamètre du tuyau en mètres ; R , résistance à la traction de la matière dont est composé le tuyau, exprimée en kgr. par millimètre carré de section.

Pour la fonte, la résistance absolue à la traction varie de 12 à 14 kgr. par millimètre carré, mais en pratique on prend comme coefficient de sécurité 3 et même 2 kgr.

Ordinairement on évalue l'épaisseur des tuyaux au moyen des valeurs contenues dans le tableau ci-dessous :

Fonte	{	coulée horizontalement	$e = 0m.010 + 0,00200 D n.$
		coulée verticalement...	$e = 0, 008 + 0,00160 D n.$
Fer.....			$e = 0, 003 + 0,00086 D n.$
Cuivre laminé.....			$e = 0, 004 + 0,00147 D n.$
Plomb.....			$e = 0, 005 + 0,00242 D n.$
Zinc.....			$e = 0, 004 + 0,00620 D n.$
Bois.....			$e = 0, 027 + 0,03230 D n.$
Pierres naturelles.....			$e = 0, 030 + 0,00363 D n.$
Pierres artificielles, béton, ciment, terre cuite.....			$e = 0, 040 + 0,00538 D n.$

Dans ces données, e = épaisseur du tuyau en mètres ;

D = diamètre du tuyau en mètres ;

n = pression à laquelle on essaye les tuyaux en atmosphères.

Ainsi, si nous prenons une conduite en fonte essayée à 10 atmosphères, on aura comme épaisseur :

1° Tuyau coulé horizontalement $e = 0m.01 + 0,002 \times 10 \times D.$

2° Tuyau coulé verticalement $e = 0m.008 + 0,0016 \times 10 \times D.$

Le coulage vertical des tuyaux donne donc une plus grande homogénéité, ce qui permet de réduire l'épaisseur. Etudions maintenant les différentes conduites.

Conduites en fonte. — La fonte est encore la matière la

plus employée aujourd'hui dans les conduites forcées d'eau ou de gaz. On obtient des tuyaux par tronçons de 1 à 2 m., pour des diamètres intérieurs de 0 m.03 jusqu'à 2 mètres. Dans les usages agricoles, les diamètres les plus employés sont ceux de 0 m.06 à 0 m.20 ; le poids par mètre courant varie de 14 à 56 kilogr.

Chaque tronçon est relié au suivant par des joints spéciaux que nous passerons en revue ; mais, en principe, ils doivent être *étanches et élastiques*, pour éviter les fuites lors des affaissements du sol sur lesquels la conduite repose, ou lorsque des variations de température déterminent des dilatations dans le sens de la longueur.

Pour réunir deux portions de conduite, lorsque la distance est trop inférieure à une longueur de tuyau, on emploie des *bouts fondus séparément* ; pour les branchements de canalisations secondaires sur la principale, on se sert de *manchons à tubulure latérale* à une ou deux prises, droites ou inclinées. Si la section vient à changer de diamètre, on raccorde par un *bout conique* ; enfin, dans les courbes, les deux sections de la canalisation sont reliées par des coudes au $\frac{1}{4}$, au $\frac{1}{6}$ ou au $\frac{1}{8}$ de circonférence, de rayon variable. Pour préserver la fonte des oxydations, on plonge les tuyaux dans un bain de coaltar fondu.

Joints. — Le système de raccord le plus ancien dans les tuyaux en fonte est celui dit à *emboîtement et cordon* (*). L'une des extrémités (femelle) du tuyau porte un emboîtement, dans lequel vient se loger l'extrémité (mâle) du suivant, munie au bout d'un anneau venu de fonte appelé *cordon*. Un jeu de 1 centimètre est laissé entre les deux tuyaux pour la dilatation, jeu que l'on répartit au moyen de petites cales en bois. Puis on introduit au fond une corde goudronnée que l'on chasse de force au moyen d'un matoir. Un espace de 0 m.04 est laissé pour couler du plomb fondu. Cette opération se fait de la façon suivante : la corde étant introduite dans l'espace annulaire, on lute tout autour avec de la glaise, puis on retire doucement la corde en tirant l'une de ses extrémités, en laissant un petit trou par lequel on verse le

(*) Cependant, sous Louis XIV, on employait déjà les joints à brides avec rondelle de cuir gras ou de plomb.

plomb fondu avec une cuillère. Le refroidissement à peu près obtenu, on enlève la glaise, et avec un matoir on mate le joint de façon que le plomb remplisse tout l'espace. Les conduites bien faites sont parfaitement étanches, mais on a reconnu que, dans beaucoup de cas, le plomb se détachait de l'emboîtement et que souvent des tronçons se brisaient, par suite du peu d'élasticité de l'ensemble.

C'est pour cette raison que l'on emploie, aujourd'hui, les joints en caoutchouc vulcanisé, donnant des conduites élastiques ne craignant pas les affaissements du sol et, par suite, assurant une étanchéité parfaite ; enfin la pose ne nécessite aucun ouvrier spécial.

Bien des systèmes à *joint rapide* sont employés, nous en citerons quelques-uns.

MM. Bigot-Renaux (63, rue Michel-Bizot, Paris) emploient le tuyau à emboîtement avec triple cordon, où est emprisonné un anneau de caoutchouc.

Mais généralement, dans les autres systèmes, les extrémités des tuyaux portent des *brides* munies de boulons de serrage.

Le système Petit, construit par la Société des hauts-fourneaux et fonderies de Brousseval (Haute-Marne), peut être considéré comme le premier donnant un joint hermétique et élastique. Si nous considérons (fig. 24) deux tuyaux H et N,

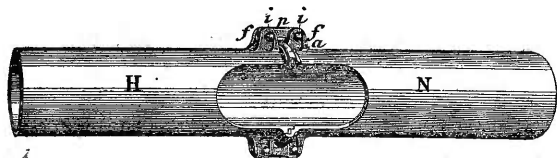


Fig. 24. — Tuyaux en fonte avec joint Petit.

nous voyons qu'ils portent à leurs extrémités des oreilles verticales *ff*, réunies deux à deux par une patte *n* et des broches *ii*. Entre le bout mâle H et le bout femelle N, on introduit une rondelle de caoutchouc *a*. Les modèles les plus courants ont un diamètre intérieur de 0 m. 04 à 0 m. 30. Des applications nombreuses ont été faites du tuyau Petit; dès 1863 et 1864, M. Alphan fit exécuter pour la ville de Paris la canalisation de Vincennes, qui compte actuellement un développement de 60 kilom. Il faut citer, au point de vue agricole, la canalisation du plateau Vexin normand, qui alimente d'eau potable 48 communes, dont l'ensemble développe 180 kilom.

Le joint Lavril est également très répandu, il n'est qu'une modification du précédent. Le bout femelle du tuyau porte une bride venue de fonte et percée de deux trous pour le passage de boulons. Une bague en caoutchouc est comprimée par une contre-bride appelée par serrage ; ce n'est en définitive qu'un presse-étoupe.

Toutes ces conduites à joint en caoutchouc vulcanisé se comportent admirablement bien dans le sol.

Tuyaux en fer étiré. — Les tuyaux en fer sont employés pour les petites canalisations, le diamètre intérieur varie de 0 m. 012 à 0 m. 08, dans ces conditions le prix du mètre courant est de 0 fr. 80 à 12 fr. Les extrémités sont taraudées, et le raccord se fait avec un manchon fileté.

Tuyaux en tôle. — On emploie pour les conduites souterraines des tuyaux en tôle d'acier plombée sur les faces, puis roulée pour en former un tuyau qui est rivé et soudé suivant une génératrice. Pour préserver la conduite de l'oxydation, on l'enduit à l'intérieur d'une couche de bitume minéral, et à l'extérieur de bitume ordinaire mélangé de sable. Le joint est conique et se fait avec de la filasse imprégnée de graisse mélangée à de la plombagine en poudre.

Les tuyaux en tôle galvanisée sont légers et très employés dans les chantiers d'épuisement, d'irrigation et de submersion. Les joints employés sont à rondelles de caoutchouc et permettent de déplacer rapidement les conduites, qui sont alors distribuées temporairement sur le sol.

Tuyaux en cuivre. — Ces tuyaux sont peu employés, à cause de leur prix élevé ; on ne s'en sert que pour les pompes placées sur puits. Quand la conduite fait des coudes, on est obligé de remplir le tuyau de coaltar fondu, puis de le frapper avec un maillet de bois pour le courber. En plaçant ensuite le tuyau sur le feu il se vide.

Tuyaux de plomb. — Les tuyaux de plomb sont très employés comme branchements sur la conduite générale, et se rendent à une borne-fontaine ou à un robinet situé dans un local.

Ce genre de tuyau se courbe facilement et se soude rapidement. On l'obtient par compression à la presse hydraulique, on ne doit pas dépasser une pression de 0^m325 par millimètre carré de section. Voici quelques chiffres sur les modèles de tuyaux employés à Paris :

Diamètres	}	13	20	25	27	30	35	40	45	50	60	81	108
en millimètres													
Épaisseur	}	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	8	8
en millimètres													

Tuyaux en grès vernissé. — Les tuyaux en grès vernissé sont très employés aujourd'hui dans les conduites forcées. Voici le procédé de fabrication employé par M. L. Couturier, à Écuise (Saône-et-Loire). La pâte est formée d'argile fine, mélangée de sable siliceux; après le moulage, les tuyaux sont desséchés, puis cuits au four à gaz dont la température est d'environ 1700 degrés. A cette température, on projette du chlorure de sodium humide, qui donne des vapeurs, lesquelles, au contact des parois argileuses, dégagent de l'acide chlorhydrique. Il se forme un silicate de soude qui, combiné au silicate d'alumine de l'argile, produit un vernis fusible, lequel s'étend sur toute la surface du tuyau et le rend inaltérable.

La figure 25 montre le tuyau Couturier, l'une des extrémi-



Fig. 25. — Tuyau en grès vernissé.



Fig. 26. — Jonction conique.

tés présente un emboîtement à rainures, où vient se loger l'extrémité droite du tuyau voisin. Le joint se fait au ciment

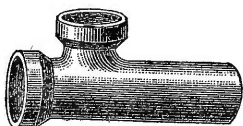


Fig. 27. — Branchement droit.

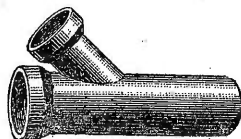


Fig. 28. — Branchement oblique

lent, recouvert par un *solin*. Les modèles se construisent pour des diamètres intérieurs de 0 m. 05, 0 m. 08, 0 m. 10 à 0 m. 50,



Fig. 29. — Coude au 1/4.



Fig. 30. — Coude au 1/8.

les longueurs varient entre 1 mètre, 0 m. 60, 0 m. 75; les prix oscillent entre 1 fr. 20 à 30 fr. le mètre.

Quand la conduite change de diamètre, on emploie une jonction conique (fig. 26); pour les branchements, on se sert des tuyaux (fig. 27 et 28), enfin, dans les déviations, on place des coudes au $\frac{1}{4}$ au $\frac{1}{8}$ au $\frac{1}{16}$ (fig. 29 et 30).

Tuyaux en ciment. — Ces tuyaux peuvent être également employés pour les conduites, mais ils sont très lourds. Le ciment est mélangé à du sable fin et l'ensemble forme un mortier que l'on coule dans des moules verticaux.

Depuis quelques années, on fabrique pour les grandes canalisations des tuyaux en ciment armé, qui rivalisent, comme solidité et durée, avec les tuyaux en fonte. Le principe de la construction est le suivant : l'âme du tuyau est formée d'un cylindre en tôle d'acier étamée, de 1 à 4 millimètres d'épaisseur, autour de laquelle on place des fils de fer profilés en croix, les uns sont suivant les génératrices du tuyau, les autres en spirale. Cette armature est enrobée dans une bonne couche de ciment coulé.

Robineterie d'une conduite. — A chaque point où l'on a amené l'eau par une canalisation, il faut placer un robinet ou une borne-fontaine. Les robinets employés sont du type à *boisseau* ou à *vanne* avec vis de déplacement; on les fait en cuivre avec brides de raccord ou avec vis. Les bornes-fontaines ont une carcasse en fonte, à l'intérieur de laquelle se trouve logé le tuyau d'arrivée, que l'on munit d'un robinet ou de deux clapets avec repoussoir, ou avec un piston à levier démasquant l'ouverture de sortie. On adjoint à la borne-fontaine un *souillard* à grille, permettant l'évacuation des eaux de trop-plein.

La conduite maîtresse doit être munie d'un robinet de décharge, permettant d'interrompre l'arrivée de l'eau dans la canalisation lorsqu'on veut faire des réparations.

Tracé, pose et essai d'une conduite. — Quand le terrain le permet, on fera un tracé droit jalonné par des piquets; s'il y a des courbes, on les réduira en une série de lignes droites, les coudes seront indiqués par des repères. Il faut surtout éviter les point hauts, où s'accumule l'air dissous ou entraîné par l'eau. Dans ces points *singuliers* d'une conduite, le matelas d'air diminue la section d'écoulement; il faut placer des robinets d'échappement d'air, ou des bouchons à vis, que l'on ferme lorsque le régime d'écoulement est établi. Si la pression n'est pas trop grande, on se contente d'un tube droit ou d'un petit trou percé dans la conduite.

Le terrassement n'offre rien de particulier, mais avant la pose des tuyaux, il faut établir un fond d'appui aussi solide que possible pour éviter les affaissements du terrain qui entraînent souvent des cassures. Dans les grandes conduites, on fait un balast en pierres cassées ou en gravier.

Si l'on emploie une conduite en poterie devant traverser des haies et à plus forte raison des bois, il faut la remplacer dans ces endroits par des tuyaux en fonte. En effet, les racelles des arbres attaquent le ciment des joints et pénètrent dans la conduite, formant des *queues de renard* qui l'obstruent.

Avant de re fermer les tranchées, il faut faire l'essai de la canalisation à la presse hydraulique. L'une des extrémités est solidement bouchée, tandis que l'autre reçoit l'eau de la pompe; la pression s'élève à 10, 15 et 20 atmosphères, suivant les charges pour lesquelles la conduite a été calculée. Tous les joints sont visités pour voir s'il n'existe pas de fuites; dans le cas où il se produirait des suintements, il faudrait serrer le joint ou le mater s'il est au plomb.

Calcul de la force motrice d'un cours d'eau

Après avoir étudié les différents cas suivant lesquels l'eau s'écoule, nous pouvons appliquer ces données à la détermination de la *force absolue* d'un cours d'eau sur lequel on veut installer un récepteur hydraulique.

Le travail d'une chute d'eau a pour expression $T = PH$, dans laquelle P est le poids de l'eau en kgr.; H , la hauteur de chute en mètres. On obtient x kilogrammètres. C'est de cette force, de la quantité d'eau et de la hauteur de chute que dépendra le choix du récepteur hydraulique à établir.

Celui qui sera appelé à résoudre le problème qui nous occupe devra donc déterminer :

- 1° Le jaugeage du cours ;
- 2° La hauteur de chute utilisable.

Jaugeage des cours d'eau. — Jauger un cours d'eau, c'est chercher la quantité de mètres cubes d'eau qu'il débite par seconde. Le débit Q est en fonction de la section ω et de la vitesse moyenne u ou $Q = \omega u$. Le problème du jaugeage comporte donc la détermination de la *section* et de la *vitesse*.

Détermination de la section. — Si le cours d'eau a été creusé à main d'homme, son profil est généralement un trapèze dont la surface se détermine facilement, en mesurant les deux bases et la hauteur de l'eau.

Généralement, le profil du cours d'eau n'est pas défini géométriquement comme le montre la figure 31. Pour déterminer la section d'écoulement, on tend en travers de la rivière une perche ou une corde AB, sur laquelle on a établi des nœuds *a b c d* de distance en distance, tous les mètres par

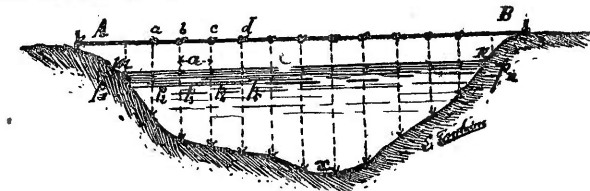


Fig. 31.— Mesure de la section d'écoulement d'une rivière.

exemple. L'opérateur, monté sur un bateau ou sur une longue perche jetée en travers du cours d'eau, prend avec une sonde ou avec une simple perche la profondeur de l'eau aux différentes verticales *a b c d*...

A une échelle convenue, on reporte toutes ces distances sur une feuille de papier, et par les extrémités des ordonnées, on fait passer une courbe continue qui représente le contour *m n x* de la section.

On peut ensuite évaluer l'aire de cette section, en la considérant comme formée d'une somme de trapèzes, ayant pour hauteur la distance de deux nœuds et pour bases deux ordonnées consécutives. On peut également employer la formule de Th. Simpson, pourvu qu'il y ait un nombre impair d'ordonnées. Si *a* représente la distance de deux ordonnées, *p*₁ et *p*_{*n*} les perpendiculaires extrêmes qui sont nulles dans notre cas, *p*₂, *p*₄, *p*₆... les perpendiculaires de notre rang pair et *p*₃, *p*₅, *p*₇... les perpendiculaires de rang impair, on aura :

$$S = \frac{a}{3} [p_1 + p_n + 4(p_2 + p_4 + p_6 \dots) + 2(p_3 + p_5 + p_7 \dots)]$$

Le planimètre donne rapidement la surface de la section. Comme le profil d'un cours d'eau est très variable, il est bon de prendre plusieurs sections à différents endroits, pour avoir une moyenne d'écoulement.

Détermination de la vitesse. — La détermination précise de la vitesse moyenne *u* est longue et difficile. Il faudrait, en effet, mesurer la vitesse en tous les points d'une même section transversale et multiplier chaque vitesse par la section élémentaire correspondante. La somme de tous ces produits donnerait le débit total. On peut employer plusieurs procédés :

1° La formule de Prony $u = 56,86 \sqrt{RI} - 0,072$, 2° la formule de Bazin $RI = b_1 u^2$ ou la formule $u = 35 \sqrt{RI}$.

Mais, généralement pour les petits cours d'eau, on utilise la *méthode des flotteurs*. Le flotteur employé doit être lesté de façon que sa partie supérieure arrive au niveau de la surface, afin qu'il ne donne pas prise à l'action du vent. Plusieurs dispositifs sont adoptés; on a des flotteurs formés d'une boule de cire, d'un tube de liège lesté à la base par du plomb et en haut par de la cire; une petite bouteille de un décilitre de capacité environ, contenant des cailloux et munie d'une courte ficelle reliée à un bouchon nageant à la surface; ou enfin c'est un cylindre de bois plus léger que l'eau. Dans tous ces cas, ce que l'on recherche, c'est de placer le flotteur dans la partie où les filets liquides représentent le maximum de la vitesse d'écoulement.

Pour opérer dans la partie du cours d'eau présentant la moyenne de la section d'écoulement, on plante sur les berges, à 200 mètres de distance par exemple, deux piquets H H', ou on tend deux cordeaux ff' (fig. 32). L'opérateur jette le flotteur



Fig. 32. — Méthode des flotteurs.

M en amont de H, pour qu'il prenne la vitesse de régime et note exactement l'heure à laquelle il passe, au moyen d'un chronomètre; puis il se transporte en H', où il prend également l'heure du passage du flotteur à ce point. En supposant qu'il ait mis 5 minutes 10 secondes pour parcourir 200 mètres, la vitesse d'écoulement sera :

$$V = \frac{200}{310} = 0 \text{ m. } 645.$$

Comme la vitesse moyenne est les 0,80 de V, on aura

$$u = 0,645 \times 0,80 = 0^{\text{m}}516.$$

Une seule épreuve du flotteur serait insuffisante, il faut la renouveler plusieurs fois, et prendre la moyenne des secondes que met le flotteur pour parcourir la distance des deux sections extrêmes.

Détermination de la vitesse au moyen des moulinets. —

On emploie certains appareils pour la détermination directe de la vitesse d'écoulement de l'eau dans les cours d'eau à différentes profondeurs. On a, en premier lieu, les moulinets qui donnent la vitesse de l'eau en fonction du nombre de tours qu'ils exécutent dans un courant donné, chaque tour de l'appareil étant multiplié par un certain coefficient, pour avoir la distance parcourue par l'eau.

On a, en premier lieu, le moulinet de Woltmann, qui est le plus ancien et dont on peut se procurer des modèles chez MM. Demichel, Cabasson, etc.

En principe, ce moulinet se compose (fig. 33) d'un bâti métallique cintré H H, fixé à un long pieu R, muni à l'arrière

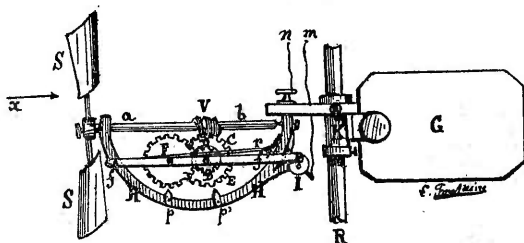


Fig. 33. — Moulinet de Woltmann.

d'un gouvernail G, permettant d'orienter l'ensemble de l'appareil perpendiculairement au courant x . En avant se trouve une roue à ailettes droites ou gauches S S, calées sur un arbre horizontal $a b$. Celui-ci porte une vis sans fin V, qui commande un compteur à engrenages. La première roue C avance d'une dent quand l'arbre $a b$ a fait un tour, et elle a 50 dents et peut inscrire 50 unités. Il faudra que le moulinet fasse 50 tours pour que la roue C en fasse un. L'axe de C porte un petit pignon D de 10 dents, qui engrène avec une roue F de 100 dents qui inscrit les dizaines et les centaines. Pour avoir le nombre de tours, on multiplie les dizaines inscrites sur la roue F, soit 5, par le nombre de dents de la roue C, et l'on ajoute les unités inscrites à C, soit 6. On aura donc

$$n = 5 \times 50 + 6 = 256 \text{ tours.}$$

Chaque roue est graduée et porte un zéro comme repère. Réduit à ces organes, le moulinet serait d'un maniement difficile pour la lecture. On le munit d'un appareil interrupteur, qui consiste en un support ff'' , oscillant en f , commandé par un excentrique I et deux ficelles $m n$. En tirant m , le levier ff'' descend sous l'action d'un ressort r et les engrenages sont

arrêtés par des taquets p et p' ; le moulinet tourne à vide; si au contraire on tire n , les rotations s'enregistrent.

Méthode opératoire. — Pour se servir de l'appareil en question, on commence par fixer le collier K sur le support R , à la profondeur à laquelle on veut avoir la vitesse du courant, les zéros des roues sont mis en regard des arrêts p et p' . Ceci fait, on descend l'appareil dans l'eau, et le gouvernail G oriente immédiatement le moulinet. Les ailettes motrices SS sont frappées perpendiculairement et se mettent à tourner, le compteur est débrayé. Quand la vitesse de régime est obtenue, on embraye le compteur en ayant soin de noter l'heure du départ sur une montre à secondes ou sur un chronomètre; on laisse ainsi marcher l'appareil pendant une minute, puis on arrête en observant l'heure. L'appareil est retiré de l'eau et on fait la lecture du nombre de tours. La vitesse s'obtient avec la formule suivante employée en pratique :

$$v = a + b \times n,$$

dans laquelle a et b sont des coefficients de tarage; n , le nombre de tours du moulinet par seconde. Baumgarten donna, en

1848, la formule $v = C + \sqrt{A + \frac{B}{n^2}}$ on se contente de la

première. Il est bon de diviser la section de la rivière en un certain nombre de parties verticales et de prendre dans chacune les vitesses à la surface, au milieu et au fond; la moyenne arithmétique de ces vitesses donne la vitesse moyenne u .

Tarage du moulinet. — Les constructeurs emploient, pour déterminer le coefficient de tarage du moulinet, le procédé suivant: Sur un lac ou un étang dont la surface est tranquille, on fixe le moulinet à l'avant d'un bateau pour qu'il ne soit pas influencé par les remous. Puis on déplace l'embarcation aussi régulièrement que possible, en faisant généralement la traction de la rive avec un câble et un treuil. On peut également employer un chariot, à l'avant duquel on attache le moulinet; l'ensemble est déplacé sur les bords d'un canal en tôle rempli d'eau de 30 à 40 mètres de long.

Le temps de l'expérience est soigneusement compté en secondes, soit t . L'espace parcouru est facile à mesurer par la longueur de corde roulée, soit l cet espace en mètres. On note également le nombre de tours N au compteur du moulinet. Avec ces facteurs on peut déterminer la vitesse v et le nombre de tours n par minute.

$$v = \frac{l}{t}, \text{ et}$$

$$n = \frac{N}{t}$$

Comme la vitesse v du moulinet n'est pas proportionnelle à la vitesse V de l'eau, on est obligé de calculer le coefficient de tarage. On fait deux expériences, à des vitesses différentes, et on emploie les deux formules suivantes :

$$v_0 = a + b n_0 \quad (1)$$

$$v_1 = a + b n_1 \quad (2).$$

La résolution de ces deux équations simultanées permet de tirer la valeur des deux coefficients a et b , d'où la formule finale est :

$$v = a + b \times n, \text{ donnant la vitesse d'écoulement.}$$

MÉTHODE DES TUBES

Certains appareils, basés sur la hauteur à laquelle l'eau s'élève dans un tube de verre par sa force vive, sont employés pour déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau. Le principe de ces instruments fut donné par Pitot, puis des modifications furent apportées par Darcy et Ritter.

1° Tube de Pitot. - Ce tube en verre avait une partie inférieure recourbée à angle droit, évasée en entonnoir et tournée perpendiculairement au sens du courant. Le filet d'eau s'engageait dans le tube et, par sa vitesse acquise, s'élevait au-dessus du niveau libre de la surface à une hauteur h . En plaçant à côté du premier tube un deuxième tube droit d'égal diamètre et au même niveau, Pitot remarqua qu'il se produisait une dénivellation dans celui-ci par succion, et le niveau s'abaissait en dessous de la surface d'après une hauteur h' . En additionnant $h + h'$ et en tenant compte d'un coefficient de tarage K , Pitot pouvait déterminer la vitesse de l'eau par la formule $v = K \sqrt{2g(h + h')}$. La lecture était difficile à faire dans cet appareil, à cause des oscillations des niveaux dans les tubes produites par les remous. C'est alors que Darcy apporta des modifications.

2° Tube de Pitot-Darcy. -- Darcy ajouta aux tubes de Pitot deux ajutages en cuivre de 1^mm5 d'ouverture et très rapprochés pour que le même filet liquide les frappe.

La figure 34 montre l'appareil dans son ensemble. Il consiste en deux longs tubes de verre *ii'*, incrustés dans une planchette en bois *V*, se prolongeant inférieurement par deux

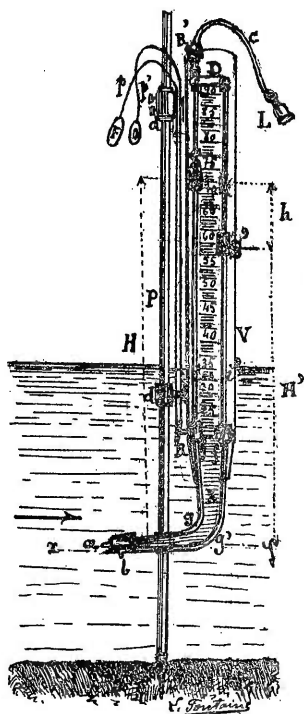


Fig. 34. — Tube de Pitot-Darcy.

différence des hauteurs de l'eau dans les tubes *ii'*. L'ensemble de l'appareil est porté par un long piquet métallique *P*; des douilles à vis *dd* permettent de descendre les ajutage *a* et *b* à la profondeur où l'on veut prendre la vitesse du courant. La planchette oriente les orifices dans le sens perpendiculaire au courant, quelquefois on lui ajoute un petit gouvernail. Le contre-courant ne gêne pas le filet liquide qui pénètre dans les ajutages.

APPLICATION. — Le tube de Pitot-Darcy est très pratique pour les grands cours d'eau, et surtout pour déterminer la vitesse de l'eau dans les canaux d'irrigation de faible section. Le piquet *P* étant solidement fixé au fond du canal, on descend

tubes de cuivre *g* et *g'* de 1^{mm} 1/2 de section et ajustés à angle droit sur une pièce métallique *X*. L'extrémité *a* est percée et constitue l'ajutage à pression vive, par lequel l'eau pénètre avec sa pression vive *Pv* dans le tube *i* à une hauteur *H*. L'extrémité *b* se recourbe, au contraire, perpendiculairement, c'est l'ajutage statique, dans lequel l'eau produit par l'orifice une dépression *H'*. La communication entre les tubes *g g'* et *ii'* peut être interrompue au moyen d'une clef *R*, munie de deux boisseaux *ff'*; l'ouverture ou la fermeture se fait au moyen de deux ficelles *pp'*. Les tubes de verre sont réunis par le canal *D*, de façon à former manomètre. Sur cette partie est greffé un robinet *R'*, muni d'un tube de caoutchouc *c* avec embouchure *L*, dont nous verrons l'emploi. Au centre de la planchette se trouve une échelle peinte et divisée en centimètres, et deux curseurs *S* et *S'* permettent de déterminer la

les ajutages à la hauteur où l'on veut prendre la vitesse. Le tube R' est fermé, l'eau s'élève, par exemple, à la hauteur H dans l'ajutage à pression vive, et à la hauteur H' dans l'ajutage statique, soit une différence h mesurée en mètres sur l'échelle de la planchette. En faisant intervenir un coefficient de tarage k , on a la vitesse d'après la formule suivante :

$$v = k \sqrt{2gh}.$$

Nous avons admis, dans cette expérience, que les colonnes d'eau montent au-dessus de la partie métallique X. Si on voulait prendre la vitesse des filets superficiels, on ne pourrait lire à travers g et g' , c'est alors qu'on se sert du robinet R'. En ouvrant celui-ci et en faisant aspiration par l'embouchure L, les colonnes liquides montent dans les tubes de verre; en fermant R', l'équilibre est maintenu par la pression atmosphérique et on peut lire la différence h .

Enfin, un autre cas peut se présenter : lorsqu'on veut prendre la vitesse de l'eau à une profondeur supérieure à la longueur de la planchette, tout l'appareil est submergé. Dans ce cas, au moyen du tube c , on comprime de l'air en ouvrant le robinet R', cet air fait descendre les colonnes d'eau dans les deux tubes $i i'$, la pression est la même, grâce à la communication D. Sans retirer la bouche, on ferme R et R', puis on sort l'appareil pour lire h . On conseille également un autre procédé : quand on descend l'appareil, on laisse R' ouvert jusqu'à une certaine profondeur, puis on le ferme; en continuant à descendre, l'air est comprimé par l'eau dans les deux branches. On ferme la clef R avant de retirer, et, comme dans la méthode précédente, on peut lire h .

Il faut, dans le cas de grands cours d'eau, diviser la section d'écoulement en un certain nombre de tranches et prendre dans chacune, à différentes profondeurs, les vitesses correspondantes; la moyenne arithmétique de toutes ces vitesses donne la vitesse moyenne u .

Tarage. — Le procédé employé pour tarer le tube de Pitot-Darcy est le même que celui des moulinets, c'est-à-dire qu'on déplace l'appareil dans l'eau tranquille, à différentes vitesses. Mais depuis que M. Ritter a montré que l'on peut ramener à l'unité le coefficient de tarage, il n'est plus utile de faire ce tarage.

Le moyen employé par M. Ritter consiste à entourer l'ajutage statique B (fig. 35) d'un manchon cylindrique M N O P, qui oblige les filets d'eau à passer bien parallèlement devant l'orifice a . Il n'y a plus ni pression, ni succion, et l'on peut

appliquer dans toute sa rigueur la formule $v = \sqrt{2gh}$.
Grâce à cette addition, le tube Pitot-Darcy devient donc un

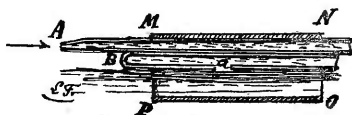


Fig. 35. — Ajustage Ritter.

étalon et peut servir à faire le tarage des moulinets en *eau courante*.

Hydrotachymètre de Ritter. — L'ingénieur Ritter a modifié le tube de Pitot-Darcy et a construit un appareil appelé *hydrotachymètre* ou encore tube Darcy-Ritter. En principe (fig. 36),

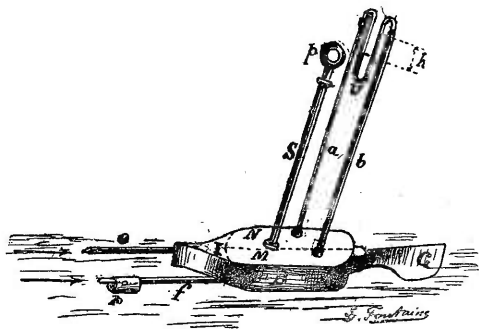


Fig. 36. — Vue d'ensemble de l'hydrotachymètre Ritter.

cet appareil comprend une boîte métallique B, divisée par une cloison longitudinale en chambres à air M et N, l'avant I est creux et forme bec pour diriger le courant sans produire de remous et éviter l'augmentation de la pression sur les orifices *e* et *f*. L'ajutage *e* est à pression vive, percé à la pointe pour laisser arriver l'eau avec toute sa vitesse, l'ajutage *f* est à pression statique. Ce dernier est percé d'un trou inférieur pour que l'eau pénètre sans pression et sans succion, grâce à un manchon *r* qui laisse passer l'eau bien parallèlement. L'ensemble de la boîte peut tourner sur le support S, et un gouvernail G, placé à l'arrière, oriente les tubes perpendiculairement au courant.

Les compartiments M et N communiquent avec deux tubulures munies de tubes de caoutchouc *a* et *b*, réunis en haut

par un manomètre à mercure U, placé devant une échelle graduée.

Comme il n'y a que l'ajutage e qui produit une pression vive sur le manomètre, il suffit de lire la différence du niveau h , dans les deux tubes du manomètre, pour avoir la hauteur génératrice de vitesse due à l'eau. La formule à employer pour avoir cette vitesse est donc $v = \sqrt{2 g h}$.

Il n'y a donc pas de coefficient de tarage à employer dans cet appareil.

Pour les besoins de la pratique, M. Ritter conseille de prendre la vitesse de l'eau à 10 centimètres de profondeur, en plongeant l'appareil dans le courant et en le tenant à la main par la poignée p , un disque peint en rouge affleure le niveau de l'eau à la surface. Quand on veut opérer à de plus grandes profondeurs, on descend l'appareil au moyen d'une corde à nœuds.

APPLICATION. — On a mesuré à l'hydrotachymètre une différence de niveau $h = 0$ m. 08. Calculer la vitesse du courant ?

Réponse :

$$v = \sqrt{2 g h} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,08} = 1 \text{ m. } 25.$$

Tous les appareils de mesure dont nous venons de parler (moulinets, tubes de Pitot-Darcy, hydrotachymètre) peuvent être achetés chez M. Demichel, 24, rue Pavée-au-Marais (Paris).

MÉTHODE DE JAUGEAGE : PAR DÉVERSOIR

Ce moyen est employé pour les petits cours d'eau ou pour les sources. Quand il n'existe pas de barrage, on en crée un avec des planches, dont on découpe la partie supérieure et les bords à vive arête, de façon que l'écoulement se fasse en mince paroi. L'arête devra être bien horizontale. La section d'écoulement doit être réglée, pour que le niveau de l'eau se maintienne en amont à un niveau constant, indiqué par un repère.

La formule donnant le débit sera :

$$Q = 0,44 L h \sqrt{2 g h}.$$

L, largeur du déversoir; h , hauteur de la nappe d'eau à 2 ou 3 mètres en amont du barrage, avant la dépression. Pour faire la mesure, on enfoncera un piquet dans l'eau, dont la partie supérieure sera mise à niveau avec l'arête du déver-

soir. On mesure h avec une équerre, comme l'indique notre figure 37. Quand le déversoir est à seuil large, on emploiera la formule :

$$Q = 0,34 L h \sqrt{2 g h.}$$

Quelques hydrauliciens prennent le coefficient moyen de contraction = 0,38.

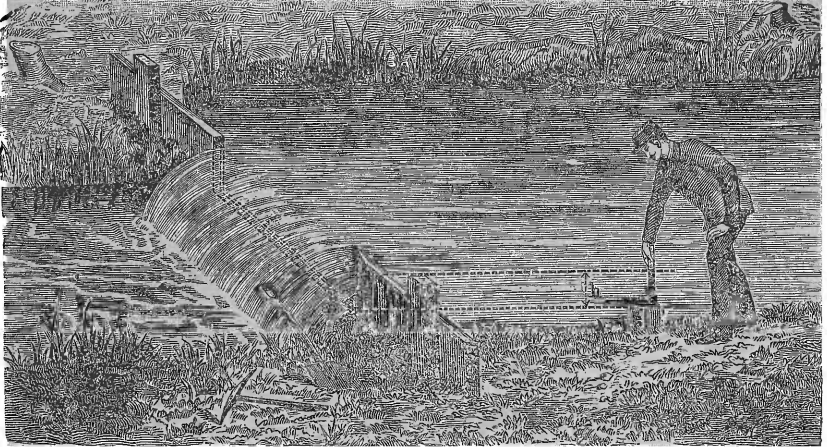


Fig. 37. — Jaugeage d'une rivière par déversoir à mince paroi.

APPLICATION. — Dans un essai par déversoir en mince paroi, on a trouvé que $L = 2\text{m.}950$, $h = 0\text{m.}25$; trouver le débit du cours d'eau ?

Réponse :

$$Q = 0,44 \times 2,950 \times 0,25 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,25} = 0\text{m}^3 71844.$$

MÉTHODE DE JAUGEAGE : PAR VANNE

Quand il existe un barrage avec vannes à l'endroit du cours d'eau où l'on veut établir un moteur hydraulique, on peut opérer le jaugeage de la façon suivante : On commence par se donner un repère, où l'eau devra se maintenir pendant toute la durée de l'expérience. On ouvre ensuite la vanne d'une hauteur Q (fig. 38), en observant que l'eau reste bien au repère ; si le niveau était au dessus, il faudrait soulever la vanne ; dans le cas contraire, l'abaisser. Le débit s'établit en

multipliant la section QL par la vitesse d'écoulement donnée par la charge $h = J - \frac{Q}{2}$. Le coefficient de dépense est de 0,62 pour les vannes droites, et 0,80 pour les vannes inclinées à 45°.

APPLICATION. — Dans un essai de jaugeage, une vanne droite de 1 m. 60 de large s'est maintenue soulevée à 0 m. 25, la profon-

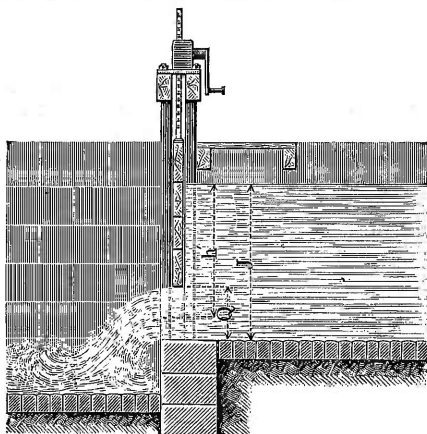


Fig. 38. — Jaugeage d'un cours d'eau par vanne.

deur de l'eau sur le seuil de la vanne était de 3 m. ; trouver le débit ?

Réponse : La section d'écoulement en faisant intervenir la contraction est $S = 1,60 \times 0,25 \times 0,62 = 0,248$ m².

La charge réelle h est $3 - \frac{0,25}{2} = 2,875$ m.

La vitesse de l'eau due à cette charge sera :

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 2,875} = 7,492$$

D'où $Q = \omega v = 0,248 \times 7,492 = 1,858$ m³

Remarque importante — Quand on fait le jaugeage d'un cours d'eau, il faut tenir compte des sécheresses et des crues, pour avoir l'étiage moyen.

Détermination de la chute dans un barrage ou dans une conduite forcée. — La hauteur de chute est la différence de niveau entre l'eau contenue dans le bief d'amont et celle qui

s'écoule dans le bief d'aval, lorsqu'il existe un barrage. Autrement dit, c'est l'abaissement que subit l'eau passant d'un bief à l'autre.

Quand il s'agit d'une conduite métallique amenant l'eau à un récepteur hydraulique, la chute est représentée par la différence de niveau entre la surface liquide du réservoir d'où part la conduite, avec le niveau de l'eau dans le canal de fuite de l'usine. On peut atteindre dans les montagnes 100, 200 mètres et même plus, de chute. Pour de semblables cas, il faut calculer le débit du tuyau par les formules que nous avons données, afin de tenir compte des pertes de charge, c'est-à-dire du frottement.

Calcul de la force absolue d'un cours d'eau

Connaissant le débit et la chute que l'on peut utiliser, nous pouvons calculer la *force absolue* que l'eau fournit.

L'expression $T = PH$ donne en kilogrammètres cette puissance. $P = 1000 Q$, 1000 k étant le poids de 1 mètre cube d'eau, Q la quantité d'eau écoulée par seconde, on a $T = 1000 QH$.

Si l'on veut avoir le travail en chevaux-vapeur, on divise par 75. D'où

$$T = \frac{1000 QH}{75} \quad (a).$$

APPLICATION. — *Un cours d'eau débite 1^m·858 par seconde, la chute est de 3 m.; trouver le travail fourni?*

Réponse. — $T = 1000 \times 1,858 \times 3 = 5574$ kilogrammètres

$$T = \frac{5574}{75} = 74,32 \text{ chevaux-vapeur.}$$

On peut également représenter le travail de l'eau en fonction de sa masse et de sa vitesse. $T = \frac{MV^2}{2}$

$$M = 1000 Q.$$

$$H = \frac{V^2}{2g}.$$

Portant ces valeurs dans la formule (a), on obtient :

$$T = \frac{1000 Q V^2}{2g \times 75}.$$

Utilité d'une chute. — Considérons, par exemple, une rivière dont l'eau s'écoule librement avec une vitesse moyenne v

égale à 0 m. 522 par seconde, soit Q le débit, la puissance vive disponible par seconde sera :

$$\frac{1000 Q v^2}{2 g} = \frac{1000 Q \times 0,522^2}{2 \times 9,81} = 14 Q.$$

Admettons maintenant que l'on construise un barrage qui fasse élever la même quantité d'eau à 3 m. de haut, le travail disponible par seconde sera, en appliquant la formule

$$\begin{aligned} T &= P H, \text{ soit} \\ T &= 1000 Q \times 3 = 3000 Q, \end{aligned}$$

soit plus de 214 fois la puissance vive naturelle du cours d'eau.

Nous devons faire remarquer que le barrage ne multiplie pas le travail, il permet seulement d'utiliser, dans une section, la puissance vive disponible sur toute la longueur du bassin de retenue, où l'eau est maintenue à peu près sans vitesse. A l'état naturel, cette eau en mouvement perd de sa puissance à cause des frottements qui s'opposent à son écoulement.

Comparaison du travail fourni par déversoir ou par vanne. — Au point de vue pratique, pour une même hauteur de chute, il est indifférent de faire écouler l'eau par dessus un déversoir ou en dessous d'une vanne. En effet, si h est la différence de niveau des deux biefs ou chute, P la dépense en litres, on a :

1^o Travail disponible par déversoir $T = P h$;

2^o Travail disponible par vanne $\frac{P V^2}{2 g} = \frac{P}{2 g} \times 2 g h = P h.$

La différence réside dans le mode d'action de l'eau sur les moteurs ; dans le premier cas l'eau agit par son poids, dans le second par sa vitesse et sa puissance vive.

MOTEURS HYDRAULIQUES

On entend par moteur hydraulique ou récepteur hydraulique, une machine destinée à recueillir la puissance de l'eau, pour la rendre en travail utilisable destiné à commander les appareils les plus divers.

Les récepteurs employés pendant des siècles dans les moulins à eau ont reçu des améliorations considérables qui leur permettent de rendre, comme nous le verrons, jusqu'à 80 o/o du travail reçu. De semblables moteurs sont toujours avantageux à employer là où l'on peut les établir, car la force est naturelle et gratuite.

Equation générale du travail dans les récepteurs hydrauliques. — Ce problème a pour but d'établir les pertes que donne un moteur quelconque, pour un travail donné, sous une chute d'eau. Détaillons ces pertes.

D'abord, le travail reçu par le moteur quand l'eau agit par chute est

$$P H \text{ ou } M g H,$$

car $M = \frac{P}{g}$, d'où $P = M g$ (*).

Si l'eau agit par sa vitesse, on a comme travail

$$\frac{M v^2}{2} \text{ ou } \frac{P V^2}{2 g},$$

car $M = \frac{P}{g}$.

Lorsque l'eau arrive avec une vitesse V sur le récepteur animé d'une vitesse v plus faible, il se produit un choc absorbant du travail, d'où première perte, égale à $\frac{M (V - v)^2}{2}$

Si U est la différence de $V - v$, on aura comme perte de puissance vive

$$\frac{M U^2}{2} \text{ ou } \frac{P U^2}{2 g}.$$

L'eau quitte le récepteur avec certaine vitesse, elle emporte par conséquent une certaine puissance vive non utilisée, d'où une deuxième perte. Si W ou V' est cette vitesse, on aura comme perte

$$\frac{M W^2}{2} \text{ ou } \frac{P V'^2}{2 g}.$$

Si l'on fait abstraction des frottements de l'eau sur le coursier, le travail utilisable par le récepteur est donné par l'équation générale que l'on peut mettre sous deux formes :

$$1^\circ Tu = M g H + \frac{M V^2}{2} - \frac{M U^2}{2} - \frac{M W^2}{2}.$$

$$2^\circ Tu = P H + \frac{P V^2}{2 g} - \frac{P U^2}{2 g} - \frac{P V'^2}{2 g}.$$

Ces formules montrent que le travail utilisé serait égal au travail reçu, si l'on pouvait disposer le récepteur de manière

(*) Consulter notre premier fascicule. Coulet, Montpellier.

que le choc fût évité à l'entrée de l'eau et que celle-ci sortit sans vitesse. Cette double condition s'énonce de la manière suivante : *Pas de choc à l'entrée, pas de vitesse à la sortie*. On doit ajouter : *pas de glissement sur le coursier avant l'entrée, pas d'agitation de l'eau sur le récepteur*.

Il est impossible, en pratique, de réaliser toutes ces conditions pour obtenir un récepteur parfait.

Classification des moteurs hydrauliques

On peut ranger les moteurs hydrauliques en deux grandes classes :

- A. — Les roues hydrauliques ;
- B. — Les turbines hydrauliques.

Dans ces deux classes de récepteurs, on en trouve qui utilisent la puissance de l'eau par son poids (P H), d'autres par sa puissance vive $\frac{(M V^2)}{2}$; quelques-uns utilisent à la fois ces deux genres de puissance.

A. — ROUES HYDRAULIQUES

Les roues hydrauliques sont les moteurs les plus anciens, elles ont été employées, par les Romains, à commander les meules de moulin. D'après le mode d'action de l'eau on distingue quatre types de roues :

- a. *Roues en dessous*, l'eau agit par sa force vive en dessous de la roue ;
- b. *Roues de côté*, l'eau agit par sa force vive et par son poids sur le côté de la roue ;
- c. *Roues en dessus*, l'eau agit par son poids sur la roue ;
- d. *Roues à réaction*, l'eau agit sur la roue comme dans le tourniquet hydraulique.

Les roues s'installent dans un canal limité par deux murs appelés *bajoyers*, le fond pavé constitue le *coursier*, dont la partie antérieure touchant la vanne se nomme quelquefois *radier*.

a. — ROUES EN DESSOUS

Roue en dessous à palettes planes. — La roue en dessous, comme son nom l'indique, reçoit l'eau en dessous sur des aubes planes ou palettes, on l'appelle encore *roue à choc*. Elle est très ancienne et se rencontre encore chez de nombreux petits moulins, sa construction se fait en bois.

En principe, elle se compose (fig. 39) d'un axe O, mobile sur deux tourillons fixés sur les bajoyers latéraux P. Sur l'axe se trouve un ou deux *tourteaux* en fonte *f*, dont les croisillons servent à fixer les *bras* R R, supportant une ou

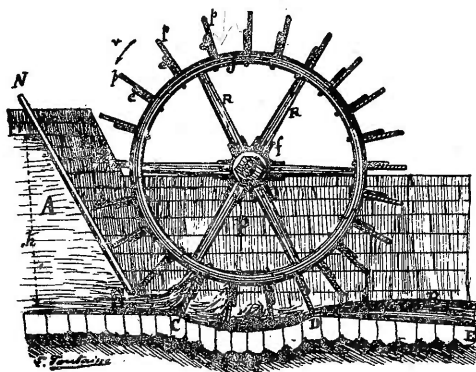


Fig. 39.— Roue en dessous à palettes planes

deux jantes en bois J. Sur celles-ci sont espacées, tous les 0 m. 35 environ, des aubes en bois *ppp* de 0 m. 30 à 0 m. 40 de hauteur, clouées sur des *chevilles* en bois appelées *coyaux* ou *bracons* *eee*. Les planches des aubes ont 0 m. 02 à 0 m. 03 d'épaisseur.

L'ensemble de la roue est logé entre deux bajoyers P et ne doit laisser un jeu que de 2 ou 3 centimètres pour éviter les fuites latérales. Le coursier CDE est pavé et la partie CD est concentrique à la roue; le radier DE est incliné de $1/15$ sur l'horizon.

L'arrivée de l'eau se fait par une vanne N, droite ou inclinée; il vaut mieux employer cette dernière disposition, car l'eau débouche très près des aubes et ne perd pas de sa puissance vive par frottement sur le coursier. L'ouverture de vanne S doit donner une lame d'eau de 0 m. 15 à 0 m. 20 d'épaisseur

Théorie. — Dans ce récepteur, l'eau n'agit que par sa vitesse; en descendant d'après la chute *h*, mesurée de la surface libre *x* au centre de gravité de l'orifice d'écoulement S, elle acquiert une certaine puissance vive $\frac{M V^2}{2}$ ou $\frac{P V^2}{2g}$ que le moteur doit utiliser.

En nous reportant à la formule générale du travail dans

les moteurs hydrauliques $Tu = M g H + \frac{M V^2}{2} - \frac{M U^2}{2} - \frac{M W^2}{2}$ ou $Tu = P H + \frac{P V^2}{2 g} - \frac{P U^2}{2 g} - \frac{P V'^2}{2 g}$, on voit que l'eau n'agit pas par son poids, $M g H$ ou $P H$ disparaissent.

L'eau n'agit sur le moteur que par sa vitesse, qui accumule dans sa chute une certaine quantité de travail $\frac{M V^2}{2}$ ou $\frac{P V^2}{2 g}$.

Si nous examinons le terme négatif $\frac{M U^2}{2}$, nous voyons que l'eau arrive de la vanne avec une vitesse V , la roue a une vitesse moindre v , il y a choc et la perte de puissance vive qui en résulte peut être représentée par $\frac{M (V - v)^2}{2}$.

Le deuxième terme négatif $\frac{M W^2}{2}$ est très important, car l'eau quitte la roue à une vitesse égale à celle-ci, et si v représente W , on a comme perte de travail $\frac{M v^2}{2}$.

L'équation du travail utile de la roue en dessous s'établit ainsi :

$$1^{\circ} Tu = \frac{M V^2}{2} - \frac{M (V - v)^2}{2} - \frac{M v^2}{2}, \text{ en effectuant on a :}$$

$$Tu = \frac{M V^2}{2} - \frac{M V^2}{2} + \frac{M v^2}{2} + \frac{2 M V v}{2} - \frac{M v^2}{2}$$

$$Tu = \frac{2 M V v}{2} - \frac{2 M v^2}{2}$$

$$Tu = M V v - M v^2$$

$$Tu = M v (V - v) \quad (1)$$

2° On peut également établir l'équation de la façon suivante :

$$Tu = \frac{P V^2}{2 g} - \frac{P (V - v)^2}{2 g} - \frac{P v^2}{2 g}$$

$$Tu = \frac{2 P V v}{2 g} - \frac{2 P v^2}{2 g}$$

$$Tu = \frac{P V v}{g} - \frac{P v^2}{g}$$

$$Tu = \frac{P v}{g} (V - v) \quad (2)$$

Dans ces formules, les deux facteurs V et $V - v$ ont une

somme constante v ; leur produit est maximum quand ils sont égaux, c'est-à-dire quand $v = V - v$, ou $v = \frac{V}{2}$.

Dans ces conditions, l'expression (1) devient

$$T u = \frac{M V}{2} \times \frac{V}{2} = \frac{M V^2}{4},$$

et l'expression (2) donne

$$T u = \frac{P V}{2 g} \times \frac{V}{2} = \frac{P V^2}{4 g}$$

Ce qui montre que, théoriquement, la roue en dessous ne peut rendre que la moitié du travail de l'eau ou 0,50, puisque

le travail total est $\frac{M V^2}{2}$ ou $\frac{P V^2}{2 g}$.

Smeaton fit, en 1759, des expériences sur la roue en dessous, et il a posé comme règle que la vitesse de la roue doit être les 0,43 de celle de l'eau affluente. En réalité, le *rendement mécanique pratique* n'est que de 0,25 à 0,30 du travail absolu.

Le faible rendement de ces roues ne peut les faire recommander que pour les installations peu coûteuses, où l'eau est en abondance. Elles ont, en outre, l'avantage de marcher à des vitesses assez étendues, sans que leur effet utile s'écarte du maximum d'effet qui leur est propre. On les emploie pour des chutes de 1^m50 à 2 mètres.

1^{er} PROBLÈME. — On demande l'effet utile d'une roue à palettes planes qui dépense 0^m800 par seconde, la vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue est de 6 mètres, celle de la roue à la circonférence de 2^m60.

Réponse. — Le travail moteur fourni est

$$T m = \frac{M V^2}{2} = \frac{0,800 \times 1000 \times 6 \times 6}{2} = 14400 \text{ kgm.}$$

Le travail utile $T u = M V v - M v^2$, ou

$$T u = 0,800 \times 1000 \times 6 \times 2,60 - 0,800 \times 1000 \times 2,60 \times 2,60 = 4992 \text{ kgm.}$$

$$\text{Rendement ou effet utile} = \frac{4992}{14400} = 0,34.$$

2^e PROBLÈME. — L'effet utile d'une roue à palettes dépensant 0^m859 d'eau est de 550 kgm., elle fait 10 tours par minute, son rayon est de 2^m50. Trouver : 1^o la vitesse d'arrivée de l'eau sur la roue ; 2^o la hauteur de la levée de vanne, la largeur de l'orifice étant de 1^m35.

Réponse. — 1° La vitesse de la roue est

$$v = \frac{2 \times 3,14 \times 2,50 \times 10}{60} = 2^m61.$$

Le travail utile $Tu = M V v - M v^2$ ou
 $550 = 0,850 \times 1000 \times V \times 2,61 - 0,850 \times 1000 \times 2,61 \times 2,61.$

$$\text{D'où } V = \frac{6340,285}{2252,5} = 2^m81;$$

2° $Q = 0,62 \times L \times h \times V$, ou
 $0,850 = 0,62 \times 1,35 \times 2,81 \times h.$

$$h = \frac{0,850}{2,352} = 0^m36.$$

3° PROBLÈME GÉNÉRAL D'UNE INSTALLATION. — Établir une roue en dessous, pour un débit de 0^m650 , la hauteur d'eau H au seuil de la vanne est de 1^m50 , l'ouverture de la vanne h est de 0^m18 , la roue doit faire 10 tours par minute, le rendement est de 0,30.

Réponse. — Le travail moteur de la chute est

$$Tm = P H = 650 \times 1,50 = 975 \text{ kilogrammètres.}$$

Le travail utile $Tu = 975 \times 0,30 = 292,5 \text{ kgm.}$

La charge donnant la vitesse d'écoulement est égale à

$$H - \frac{h}{2} = 1,50 - 0,09 = 1^m41. \text{ D'où,}$$

$$V = \sqrt{2 g h} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 1,41} = 5^m25.$$

La vitesse de la roue étant les 0,43 de l'eau d'arrivée, on aura :

$$v = 5,25 \times 0,43 = 2^m25.$$

Déterminons maintenant le diamètre de la roue. Par tour, la roue développe une circonférence de $2 \pi R$, et pour 10 tours qu'elle fait par minute elle développera $2 \pi \times R \times 10$. D'autre part, comme la roue parcourt 2^m25 par seconde, en une minute elle aura parcouru $2,25 \times 60$. D'où,

$$2 \pi \times R \times 10 = 2,25 \times 60 \text{ et}$$

$$R = \frac{2,25 \times 60}{2 \times 3,14 \times 10} = 2^m30 \text{ de rayon.}$$

La largeur de la roue se détermine au moyen de la formule du débit par vanne, ou

$$Q = 0,62 L h \sqrt{2 g \left(H - \frac{h}{2} \right)} \text{ Et}$$

$$0,650 = 0,62 \times L \times 0,18 \sqrt{2 \times 9,81 \times 1,41},$$

$$L = \frac{0,650}{0,585} = 1^m11.$$

En tenant compte d'un jeu de 0^m02 qui doit exister entre la roue et les bajoyers, on aura, comme largeur totale,

$$L = 1,11 + 0,02 = 1 \text{ m. } 13.$$

Les aubes ou palettes devant avoir en pratique une hauteur égale à deux fois et demie l'ouverture de vanne pour éviter les projections d'eau à l'intérieur de la roue, on aura comme hauteur des aubes $0,19 \times 2,5 = 0 \text{ m. } 475$.

Le rayon moyen de la roue sera de $2 \text{ m. } 20 + \frac{0 \text{ m. } 475}{2} = 2 \text{ m. } 53$.

Quant au nombre d'aubes, il doit être le *nombre pair* le plus rapproché de 6 fois le diamètre moyen de la roue exprimé en mètres. Pour le cas qui nous occupe, on a $5,06 \times 6 = 30,36$. Le nombre pair qui s'en rapproche le plus est 36; donc on mettra 36 aubes sur les jantes.

Roue à aubes courbes de Poncelet. — En 1827, le général Poncelet apporta une grande modification à la roue en dessous, dont le faible rendement l'avait frappé. C'est alors qu'il fut amené à créer sa roue à *aubes courbes*, dans laquelle il s'est appliqué à diminuer le choc de l'eau à l'entrée de la roue et sa vitesse à sa sortie, qui sont, comme nous l'avons vu, les deux grandes pertes de la roue précédente.

Dans son principe, la roue en dessous Poncelet se compose d'un arbre horizontal sur lequel sont clavetés deux tourteaux en fonte G, reliés à deux couronnes C par des bras BB (fig. 40).

Les aubes courbes *aaa* sont encastrées par leurs extrémités dans les couronnes C, elles ont une hauteur égale au tiers de la chute, plus la hauteur d'ouverture de vanne. La lame d'eau M arrivant à la roue varie entre 0 m. 20 à 0 m. 30 d'épaisseur pour les chutes au-dessous de 1 m. 50, et seulement de 0 m. 10 à 0 m. 16 pour les chutes au-dessus de 2 mètres. La largeur de la roue est supérieure à 6 ou 10 centimètres de celle de la vanne pour éviter les fuites.

L'eau est distribuée par une vanne inclinée à 45° L; elle arrive par un radier JD incliné à 1/10 sur l'horizontale; la partie DE du coursier a une forme spéciale, la partie EF, comprenant deux aubes, est concentrique, enfin en P se trouve un ressaut assez profond pour faciliter l'écoulement.

Théorie de la roue Poncelet. — Supposons, théoriquement, que l'aube A soit tangente à la couronne XY (fig. 41), que l'eau arrive avec une vitesse V, elle entre sans choc, la roue a de son côté une vitesse *v*. La vitesse relative avec laquelle la molécule *m* s'élèvera sur l'aube sera $V - v$, elle montera jus-

qu'en m' , en abandonnant toute sa vitesse et sa puissance vive. En m' , la molécule ne possède plus aucune vitesse, mais sous l'action de la pesanteur elle se mettra à redescendre en reprenant à chaque point la vitesse qu'elle avait en montant, et aura par suite en C une vitesse $V - v$. Mais pendant ce temps très petit, nous pouvons admettre que la roue s'est

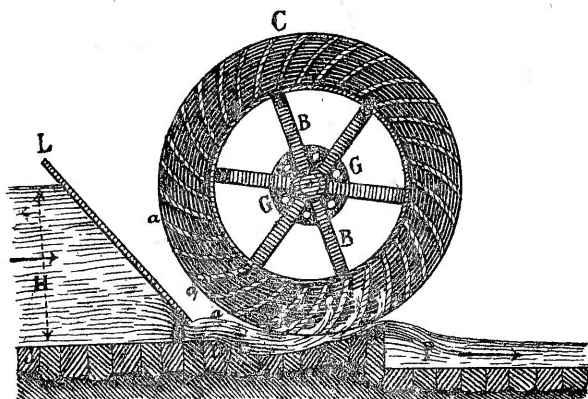


Fig. 40.— Installation d'une roue Poncelet.

déplacée sur la tangente d'une quantité v égale à sa vitesse, de sorte que la vitesse de sortie de l'eau est égale à $V - v - v = V - 2v$.

Si nous cherchons à établir la formule du travail utile de la roue, nous voyons que le choc est supprimé et que la vitesse de l'eau à la sortie est $V - 2v$. De l'équation générale des moteurs hydrauliques il ne reste donc que :

$$T u = \frac{M V^2}{2} - \frac{M W^2}{2}.$$

En remplaçant W par $V - 2v$, il vient que

$$T u = \frac{M V^2}{2} - \frac{M (V - 2v)^2}{2}, \text{ et en développant}$$

$$T u = \frac{M V^2}{2} - \frac{M V^2}{2} - \frac{4 M v^2}{2} + \frac{4 M V v}{2}, \text{ il reste}$$

$$T u = 2 M V v - 2 M v^2$$

$$T u = 2 M v (V - v).$$

En faisant $v = \frac{V}{2}$, on aura le rendement maximum, ou

$$T u = 2 M \frac{V}{2} \times \frac{V}{2} = \frac{2 M V^2}{4}, \text{ et}$$

$$T u = \frac{M V^2}{2}.$$

Ainsi, d'après cette théorie, en donnant une vitesse de rotation égale à la moitié de celle de l'eau, la roue Poncelet est un moteur parfait, rendant cent pour cent du travail moteur.

En pratique, ce rendement n'est que de 60 à 65 o/o, pour deux raisons :

1° Les molécules ne se meuvent pas comme si elles étaient isolées, elles se contrarient réciproquement ; quand les unes montent, les autres descendent, il naît des chocs ;

2° Les aubes ne peuvent être tangentielles à la circonférence extérieure de la roue, car l'eau qui arrive tangentiellement à cette circonférence ne pourrait entrer dans l'aube ; elle en serait empêchée par la précédente. En pratique, on est obligé de donner au premier élément de l'aube, sur la circonférence extérieure de la roue, un angle de 30° ; le général Didon admet 26 à 27°.

Calcul du choc de l'eau à l'entrée, construction du coursier et des aubes. — Dans la figure 41, l'angle T C J vaut 30°.

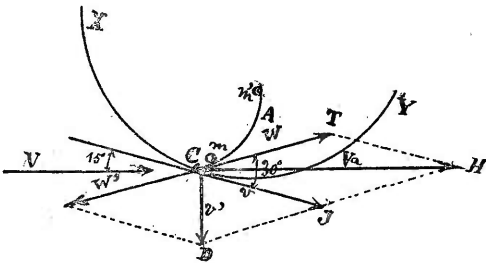


Fig. 41.— Détermination de la vitesse de sortie de l'eau.

Si nous prenons le filet liquide moyen arrivant sur la roue avec une vitesse absolue V , il fera un angle de 15° avec le premier élément de l'aube A , comme la vitesse de la roue est v , représentée par CJ , il se produira un choc. Portons V au point C , on aura Va , que l'on peut composer avec v , en construisant le parallélogramme de ces forces. Nous obtenons W , qui est la vitesse relative avec laquelle l'eau s'élève sur l'aube.

L'eau en redescendant reprend une vitesse W' égale à W , et elle sortira tangentiellement au premier élément de l'aube. Mais comme la roue a également parcouru une quantité v , pour avoir la vitesse de sortie réelle, il faut construire le parallélogramme sur W' et v , la résultante v' ou CD est la vitesse demandée, elle est encore égale à $V_a \operatorname{tg} 15^\circ$.

Nous avons supposé un seul filet, mais pour que la nappe

pénètre toute dans l'aube sous un angle de 15° , il faut que le fond du coursier ait une forme spéciale. Poncelet, en 1844, a proposé une spirale établie de la façon suivante :

Au point M (fig. 42), menons une tangente MN inclinée de $1/10$, puis traçons la parallèle BC, distante de la tangente d'une

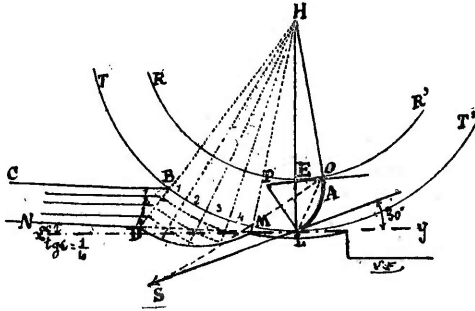


Fig. 42. — Tracé du coursier et des aubes de la roue Poncelet.

quantité égale à l'épaisseur de la lame liquide donnée par la vanne. Divisons l'arc MB et BD en un nombre de parties égales, 4 par exemple. Joignons les points de division de MB au centre H, et, par les points correspondants de BD, décrivons des arcs de cercle concentriques à la roue. L'intersection de ces arcs avec les rayons menés précédemment donne une série de points qui, en les joignant par un trait continu, détermine le fond du coursier MD demandé.

Il nous reste à trouver la courbe des aubes, on y arrive également par une construction graphique. En principe, le premier élément de la courbe doit faire avec la circonférence extérieure de la roue un angle de 30° , et le dernier élément doit être perpendiculaire à la circonférence intérieure RR' . Ces deux conditions peuvent être données par une aube A ayant la forme d'un arc de cercle.

Soient H le centre de la roue, RR' et TT' les circonférences intérieure et extérieure de l'une des couronnes, et L le point par où doit passer une aube. Par L, menons la droite LS faisant avec la tangente xy un angle de 30° , ce sera la tangente au premier élément. Menons le rayon HL qui rencontre la circonférence RR' au point E, et prenons $LS = HE$. Du point S, avec HL comme rayon, décrivons un arc de cercle coupant la circonférence RR' en O. Si en L nous élevons la perpendiculaire LP à LS, le centre de l'arc déterminant l'aube A se trouvera à l'intersection de cette droite avec OP. En effet, les triangles SOL et HLO sont égaux, comme ayant leurs trois

côtés égaux chacun à chacun, leurs angles SLO et HOL sont égaux, mais

$$SLO = 90^\circ + PLO$$

$$HOL = 90^\circ + POL,$$

et par suite,

$$PLO = POL.$$

Le triangle LOP est donc isocèle, et, de plus, l'arc décrit sur le point P comme centre, avec PL pour rayon, sera tangent à LS et à HO : il remplit donc les deux conditions demandées.

PROBLÈME SUR L'INSTALLATION D'UNE ROUE PONCELET. — Soit à installer une roue Poncelet de la force de 8 chevaux-vapeur sur un cours d'eau ayant une chute de 1 m., la vitesse étant de 15 tours par minute.

Réponse. — Le travail utile à développer en kilogrammètres sera :

$$Tu = 8 \times 75 = 600 \text{ kgm.}$$

Le volume d'eau nécessaire, en prenant le rendement mécanique 0,65, sera :

$$600 = 0,65 \times 1000 Q \times 1.$$

D'où l'on tire

$$Q = \frac{600}{0,65 \times 1000 \times 1} = 0^m923.$$

La largeur de vanne sera, en admettant une inclinaison de 45°, un coefficient de contraction de 0,80 et une hauteur de charge donnant la vitesse de sortie égale à $1 - \frac{0,25}{2} = 0^m875$,

$$0,923 = 0,80 \times L \times 0,25 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,875} =$$

$$L = \frac{0,923}{0,828} = 1^m114.$$

En ajoutant 0^m05 pour faciliter l'entrée de l'eau, on a

$$L = 1,114 + 0,05 = 1^m164.$$

La hauteur des aubes étant le $\frac{1}{3}$ de la chute, elles auront $\frac{1^m}{3} = 0^m333$. L'écartement des aubes est déterminé à l'avance, soit 0^m30.

Cherchons maintenant le rayon de notre roue; on sait que la vitesse de la roue doit être les 0,55 de celle de l'eau.

La vitesse de l'eau $V = \sqrt{2 \times 9,81 \times \left(1 - \frac{0,25}{2}\right)} = 4^m14$ par seconde.

La roue devra avoir $v = 0,55 \times 4,14 = 2^m27$ à la circonférence moyenne et faire en moyenne 15 tours par minute.

Si R est le rayon cherché, on aura, chemin parcouru pour un tour, $2 \pi R$, et pour 15, $2 \pi \times R \times 15$. De même le chemin parcouru par la roue, à la vitesse de 2^m27 pendant 60 secondes, sera $60 \times 2,27$. D'où,

$$2 \times 3,14 \times 15 \times R = 60 \times 2,27 \times R = \frac{136,20}{94,20} = 1^m445.$$

Comme les aubes ont 0^m333 de hauteur, le rayon moyen de la roue sera

$$R = 1,445 + \frac{0,333}{2} = 1^m611.$$

Règle générale pour déterminer la hauteur de chute dans les routes en dessous

Comme les roues en dessous utilisent l'eau par sa vitesse, la hauteur de chute n'est pas égale à la hauteur d'eau située derrière la vanne, mais seulement la hauteur qui sépare le niveau supérieur au centre de gravité de l'ouverture de vanne. Si H est la profondeur d'eau totale, H' l'ouverture de vanne, la charge donnant la vitesse est $h = H - \frac{H'}{2}$

b. — ROUES PENDANTES

Ce genre de roue est employé, dans le Midi, sur les cours d'eau où les moulins sont installés au ponton d'un bateau.

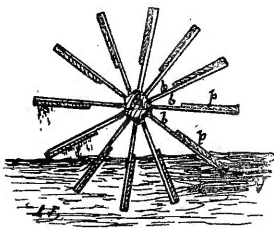


Fig. 43. — Roue pendante.

La roue est à palettes planes plongeantes (fig. 43), l'axe en bois A porte 12 bras $b b b$, sur lesquels sont clouées les aubes $p p p$; A repose sur deux bateaux amarrés sur la rive du cours d'eau, et la roue est logée entre ceux-ci. L'installation est donc simple, elle ne nécessite aucune vanne ni coursier, enfin les bateaux suivent les variations de niveau de l'eau, soulevant ou

abaissant la roue dans les temps de crue ou de sécheresse.

Colladon a proposé autrefois une roue flottante, soutenue au milieu d'un cours d'eau par une charpente fixe. Un sys-

tème de treuil permettait de soulever l'axe de la roue pour régler la hauteur d'immersion des aubes suivant le régime de l'eau. Cette roue ne s'est pas répandue.

Cherchons à établir le travail utile. L'eau arrive sur les aubes avec une vitesse V , la roue a une vitesse v , il se produira un choc que nous estimerons plus loin. Il faut que nous évaluions le travail de cette roue en fonction de la masse d'eau qui arrive sur une aube et de sa vitesse, c'est-à-dire que nous appliquerons le théorème des masses. Si A est la surface immergée de l'aube, elle recevra une quantité $A V$ de liquide par seconde. Mais on sait que la quantité de mouvement $M V = F t$, c'est-à-dire le travail d'une force F , multipliée par le temps ou une seconde. On voit aussi, en mécanique,

$$M = \frac{P}{g}, \text{ et que } P = 1000 Q; \text{ d'où}$$

$$M = \frac{1000 Q}{g}.$$

De plus, $Q = A V$, la masse sera :

$$M = \frac{1000 A V}{g}. \text{ La quantité de mouvement deviendra donc :}$$

$$M V = \frac{1000 A V V}{g}$$

Mais comme l'eau est à une vitesse V et la roue à une vitesse v , il se produit une perte de vitesse $V - v$ et la perte de quantité de mouvement est $\frac{1000 A V (V - v)}{g}$

Le travail transmis par cette quantité de mouvement à la roue qui a une vitesse v sera :

$$T u = \frac{1000 A V (V - v) v}{g}$$

Pour que le travail transmis soit maximum, il faut que $v = \frac{V}{2}$. En transportant cette valeur dans l'équation précédente, il vient :

$$T u = \frac{1000 \times A \times V \times \frac{V}{2}}{g} = \frac{V}{2}, \text{ et}$$

$$T u = \frac{1000 A V^3}{4 g}$$

Ce qui montre que le rendement de cette roue est proportionnel au cube de la vitesse de l'eau. En pratique, le rende-

ment mécanique de ces roues varie entre 30 et 40 o/o. La hauteur des aubes doit être le $\frac{1}{3}$ ou le $\frac{1}{4}$ du rayon de la roue, elle varie entre 0^m50 à 0^m80. La largeur de la roue oscille entre 2 et 3 mètres, et l'écartement des aubes sur le rayon moyen est de 0^m50 à 0^m80.

APPLICATION. — Soit, à établir une roue pendante devant développer un travail de 600 kgm., la vitesse de l'eau est de 3 mètres.

Appliquons la formule $Tu = \frac{P V^2}{2g}$, et en faisant intervenir le coefficient de rendement 0,40, on a

$$600 = \frac{0,40 \times P \times 3 \times 3}{2 \times 9,81}, \text{ d'où}$$

$$P = \frac{600 \times 2 = 9,81}{0,40 \times 3 \times 3} = 3270 \text{ kgr. de pression que la palette}$$

devra recevoir par seconde. Il faudra 3^m270 d'eau; comme la vitesse d'arrivée est de 3 m. par seconde, la section de la palette devra être de $\frac{3,270}{3} = 1^m,09$. Si la hauteur d'immer-

sion est de 0^m80, la largeur de la roue sera de $l = \frac{A}{h} =$

$$\frac{1,09}{0,80} = 1 \text{ m. } 362.$$

Le rayon de la roue devant être égal à 3 ou 4 fois la hauteur des aubes, on aura $R = 0,80 \times 3 = 2 \text{ m. } 40$, ou $R = 0,80 \times 4 = 3 \text{ m. } 20$.

Nous avons déjà signalé la roue flottante de Colladon, de Genève, qui utilise directement la puissance vive des cours d'eau. Le corps de cette roue est formé d'un cylindre en tôle mince, étanche à l'intérieur; à la périphérie sont fixées des aubes. L'axe de rotation est suspendu à deux tringles munies en haut de chaînes se rattachant à un treuil, qui permet de soulever la roue au-dessus de l'eau, pour l'arrêt ou les réparations.

Autour de la roue est fixée une grande couronne dentée, qui actionne une roue intermédiaire, laquelle commande l'engrenage de la transmission, se rendant à l'usine. L'engrenage intermédiaire est monté sur un levier oscillant. Le support de la roue et de la transmission nécessite un appui formé d'une charpente fixée dans le cours d'eau. Cette roue ne semble pas s'être répandue.

c. — ROUES DE CÔTÉ

Comme leur nom l'indique, ces roues admettent l'eau sur un point de leur périphérie, situé ordinairement à 0 m. 25 au-dessous du plan horizontal passant par l'axe de rotation, elle ne doit jamais arriver sur ce point ou au-dessus, il y aurait trop de travail de perdu par choc. Ces roues se construisent en bois. On donne l'eau par déversoir ou par vanne en dessous.

Nous prenons le cas le plus général, par déversoir (fig. 44).

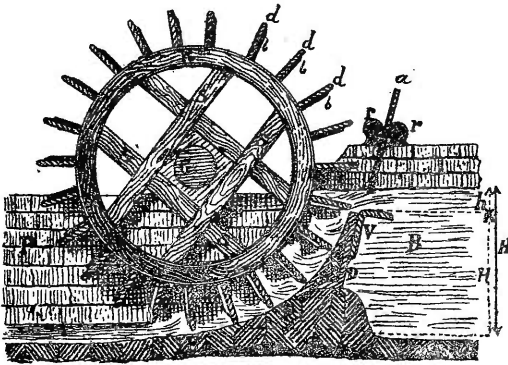


Fig. 44.— Principe d'une roue de côté.

Sur l'arbre horizontal G, tournant dans des paliers fixés aux bajoyers P, sont boulonnés des bras SS et solidement étré sillonnés ensemble. Deux jantes en bois RR sont munies de coyaux bb, portant les palettes dd. L'extérieur de ces couronnes est muni d'une fonçure, pour empêcher l'eau d'être projetée au centre de la roue, cette fonçure est incomplète pour laisser échapper l'air lorsque la lame d'eau s'introduit entre les palettes.

Le côté de la roue est embrassé sur le quart de la circonférence par un coursier circulaire EFD, et laissant un jeu de 5 à 10 millimètres ; entre la roue et les bajoyers P, il doit exister également le plus faible jeu possible pour éviter les pertes d'eau. La partie du coursier EF se fait en maçonnerie, tandis que la partie D est formée d'une pièce de fonte appelée *col de cygne*, derrière laquelle glisse une vanne plongeante V.

Les aubes se font en bois, planes ou polygonales, ou en tôle, courbes ; on les espace de 0 m. 30 à 0 m. 40 sur la circonférence de la jante, leur hauteur est d'environ le double de la

quantité dont elles sont immergées à l'aplomb, soit environ 0 m. 40. La capacité entre deux aubes consécutives est égale à deux fois ou deux fois et demie le volume d'eau à admettre; cette condition est indispensable pour obtenir un bon rendement.

Pour mettre la roue en marche, on abaisse la vanne V au moyen d'une crémaillère *a*, commandée par un engrenage à manivelle *r*. L'eau s'écoule en nappe de 0 m. 15 à 0 m. 25, et quelquefois de 0 m. 40 pour éviter de rendre la roue trop large et trop lourde. Cette eau arrivée dans le coursier est emprisonnée entre deux aubes, constituant des augets fermés par le coursier et les bajoyers. Elle descend par son poids, en déterminant un certain frottement jusqu'au bas de la chute, où elle s'échappe dans le bief d'aval B, incliné à 1/15 sur l'horizon, avec une vitesse égale à celle de la roue. Comme celle-ci est faible, le dégagement à l'aval se fait facilement sans *ressaut*; si la roue tournait vite, on pourrait faire un approfondissement, afin de produire un certain ressaut qui faciliterait le dégagement.

Théorie de la roue de côté. — Dans cette roue, l'eau agit par sa vitesse et par son poids. La chute totale H peut être divisée en deux : 1° *h* donne la vitesse d'arrivée et une certaine puissance vive $\frac{M V^2}{2}$ à l'eau. La hauteur de charge

h, qui produit cette vitesse, se détermine, comme dans le cas du déversoir, en mesurant la lame d'eau qui passe sur l'arête de la vanne à 3 ou 4 mètres en amont, où le ressaut ne se produit pas. Dans le cas d'une vanne en dessous, on prendra, comme hauteur de charge, la distance qui sépare le niveau libre de la surface au centre de gravité de l'orifice d'écoulement.

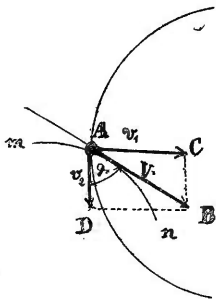


Fig. 45. — Mode d'action de l'eau dans la roue de côté.

2° L'eau utilise par son poids la chute H', le travail de cette partie de la chute est PH', ou $M g H'$

Pour établir la formule définitive du travail utile de la roue, il faut que nous évaluions les pertes de puissance dues au choc et à la vitesse de sortie:

L'eau arrive sur la roue suivant une parabole *m n* (fig. 45), et si cette ligne représente le filet moyen, celui-ci rencontrera la circonférence moyenne des palettes au point A. Menons à ce point une tangente, et prenons la longueur A B

proportionnelle à la vitesse d'arrivée, nous aurons V . Mais il se produit un choc au point de rencontre et la vitesse V se décompose en deux vitesses : l'une, AD ou v_2 dirigée suivant la tangente à la circonférence, l'autre, AC ou v_1 , dirigée suivant le rayon de la roue. Cette dernière vitesse est anéantie par la résistance de l'axe, il n'y a que v_2 qui donne du mouvement. Cherchons la valeur trigonométrique des deux vitesses composantes ; en appelant α l'angle des tangentes AB et AD , on a :

$$\begin{aligned} v_1 &= V \sin \alpha. \\ v_2 &= V \cos \alpha. \end{aligned}$$

Mais la roue est animée d'une vitesse réelle v ; l'eau, qui a une vitesse $V \cos \alpha$, n'agira donc en définitive sur la roue qu'à une vitesse $V \cos \alpha - v$.

Si, dans l'équation générale du travail $T = M g H + \frac{M V^2}{2} - \frac{M U^2}{2} - \frac{M W^2}{2}$, nous remplaçons les lettres par leur valeur, on a :

$$T = M g H' + \frac{M V^2}{2} - M \frac{(V \cos \alpha - v)^2}{2} - \frac{M V^2 \sin^2 \alpha}{2} - \frac{M W^2}{2}.$$

La vitesse perdue U est constituée dans cette roue par les termes $V \cos \alpha - v$ et $V \sin \alpha$; d'autre part, comme W la vitesse de l'eau à la sortie de la roue est sensiblement égale à v , on peut tirer que

$$T = M g H' + \frac{M V^2}{2} - \frac{M (V^2 \cos^2 \alpha + v^2 - 2 V v \cos \alpha)}{2} - \frac{M V^2 \sin^2 \alpha}{2} - \frac{M v^2}{2}.$$

En mettant en facteurs communs $\frac{M V^2}{2}$ et $M v$, il vient :

$$T = M g H' + \frac{M V^2}{2} - \frac{M V^2}{2} (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + M v (V \cos \alpha - v).$$

Or, on démontre en trigonométrie que $\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$, et en éliminant $\frac{M V^2}{2}$, il vient

$$T = M g H' + M v (V \cos \alpha - v).$$

L'effet maximum aura lieu quand $v = \frac{V \cos \alpha}{2}$, l'équation devient

$$T = M g H' + \frac{M V \cos \alpha}{2} \left(V \cos \alpha - \frac{V \cos \alpha}{2} \right),$$

$$T = M g H' + \frac{M V \cos \alpha}{2} \left(\frac{2 V \cos \alpha}{2} - \frac{V \cos \alpha}{2} \right)$$

$$T = M g H' + \frac{M V^2 \cos^2 \alpha}{4}$$

Le rendement mécanique pratique de cette roue s'élève à 0,75 et 0,80 du travail moteur, la vitesse dans ces conditions doit être environ les 0,60 ou 0,70 de celle de l'eau à son arrivée sur le récepteur, et ne doit pas dépasser 1 m. 30 par seconde.

La roue de côté utilise les chutes de 1 m. à 2m.50, et le volume d'eau à admettre par seconde ne doit pas dépasser

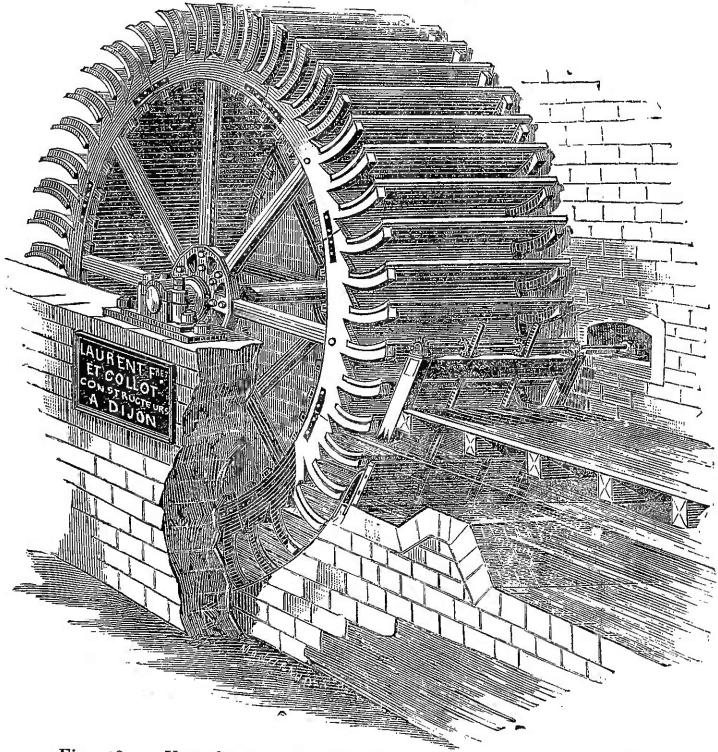


Fig. 46. — Vue d'ensemble d'une installation de roue de côté.

2000 litres. La figure 46 montre une installation Laurent et Collot, de Dijon. Les jantes sont en bois et portent des coyaux en fer, sur lesquels sont rivées des aubes courbes en tôle,

tout le reste de la roue est en fer. Le modèle de 6 m. de diamètre et de 4 m. 30 de large pèse 3850 k. et coûte 4300 fr.

PROBLÈME SUR L'INSTALLATION D'UNE ROUE DE CÔTÉ. — Soit à établir une roue de côté de la force de 10 chevaux-vapeur, la chute totale est de 2 m., l'admission de l'eau se fait par déversoir et la nappe mesure 0 m. 25.

Cherchons le diamètre de la roue $D = 2R = 2 + 2 + 0,50 = 4 \text{ m. } 50$. Nous ajoutons 0 m. 50 au double de la chute, parce que l'axe de rotation doit être à 0 m. 25 au-dessus du niveau supérieur de la chute. Travail utile à développer $Tu = 10 \times 75 = 750$ kilogrammètres.

Le travail utile étant de 0,70 du travail moteur Tm , on a

$$750 = 0,70 \times 1000 \times Q \times 2; \text{ d'où}$$

$$Q = \frac{750}{1400} = 0^{\text{me}} 535.$$

Mais $Q = 0,44 \times l \times h \times \sqrt{2gh}$, (0,44 coefficient d'écoulement par déversoir en mince paroi), et

$$l = \frac{0,535}{0,44 \times 0,25 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,25}} = 2 \text{ m. } 20$$

En ajoutant 0 m. 10 pour que toute l'eau arrive à la roue, on aura comme largeur de celle-ci

$$L = 2,17 + 0,10 = 2 \text{ m. } 30$$

La vitesse de la roue devant être de 0,70 de la vitesse d'arrivée de l'eau, on aura

$$v = 0,70 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,25} = 1 \text{ m. } 54 \text{ à la circonférence moyenne.}$$

Si l'on suppose les augets espacés de 0 m. 35, il passera devant la vanne par seconde $\frac{1,54}{0,35} = 4,40$ augets.

Mais, d'autre part, on a $Tm = 4,40 \times 2,20 \times 0,35 \times h$ ou $2 \times 0,535 = 4,40 \times 2,20 \times 0,35 \times h$.

$$h = \frac{2 \times 0,535}{4,40 \times 2,30 \times 0,35} = 0,30 \text{ de levée de vanne.}$$

Le nombre d'aubes $n = \frac{\text{circonférence moyenne}}{\text{espacement des augets}} = \frac{2 \times 3,14 (2,25 - 0,15)}{0,35 + 0,03} = 37,31$ aubes, on en placera 38.

Notons, en passant, qu'il faut ajouter à l'espacement de 0 m. 35, 0 m. 03 pour l'épaisseur des aubes quand elles sont en bois.

Roue Sagebien. — La roue Sagebien, du nom de son inventeur, est une modification de la roue de côté; elle peut être considérée comme le type des roues lentes. Elle admet l'eau en déversoir. Ce récepteur se compose (fig. 47) d'un axe en

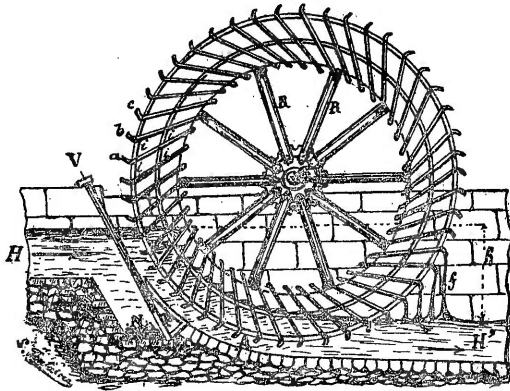


Fig. 47.— Principe d'une roue Sagebien.

fer S, portant une série de bras R R, réunis par des cercles *i, i, i*, sur lesquels sont fixées les palettes ou aubes *a, b, c*, en bois ou en métal, dont l'extrémité est retroussée. La largeur de celles-ci varie entre 1 m. 50 à 2 m. et sont très rapprochées; leur disposition est inclinée sur un rayon égal au $\frac{1}{8}$ de celui de la roue. L'ensemble est installé entre deux bajoyers *f*, laissant un faible jeu pour éviter les pertes d'eau; le coursier A emboîte exactement la partie inférieure de la roue et ne laisse que 0 m. 003 d'intervalle. L'admission de l'eau est donnée par une vanne inclinée plongeante V, se déplaçant derrière un *col de cygne* P; elle s'abaisse pour mettre en marche et se relève pour arrêter le moteur. Un sablier N arrête les graviers et matériaux lourds entraînés par les eaux.

La figure 48 montre l'installation d'une roue Sagebien, construite par MM. Brault, Teisset et Gillet; on voit, à gauche du dessin, un engrenage droit commandant l'arbre de transmission principal.

Théorie de cette roue. — L'eau n'agit dans ce cas que par son poids, d'après une chute *h* de 0 m. 50 à 3 m., et quelquefois 4 m. L'aube, par sa forme inclinée, plonge dans l'eau suivant un angle de 45° , avec une faible vitesse, de sorte qu'il ne se

produit aucune dénivellation dans le bief d'amont. Au fur et à mesure que l'aube s'immerge, l'eau s'étale tranquillement à sa surface, à un niveau très peu différent de celui d'amont. L'admission de l'eau se fait sur plusieurs palettes à la fois ;

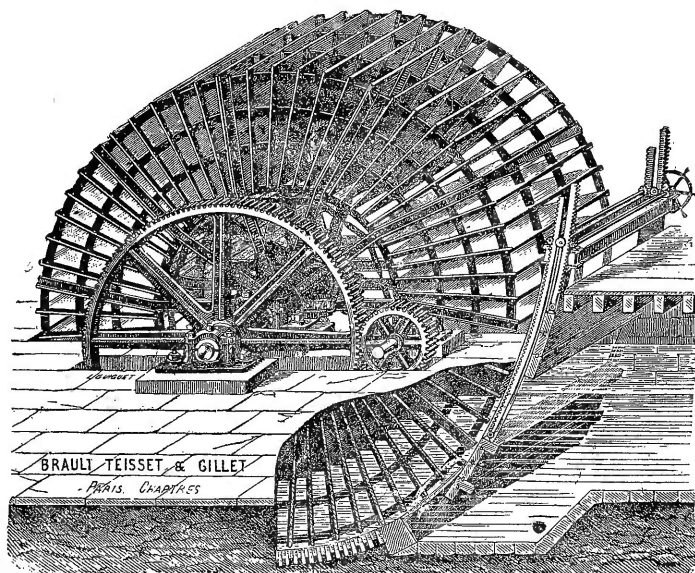


Fig. 48. — Vue d'ensemble d'une installation de roue Sagebien.

la lame d'eau ayant jusqu'à 1 m. 60 d'épaisseur, le débit va jusqu'à 1500 litres par mètre de largeur de roue. Une fois que l'eau est engagée entre les palettes, elle se comporte comme si elle était dans des augets ; par son poids, elle entraîne la roue.

La roue Sagebien est noyée à l'aval de presque toute la hauteur des aubes ; cette disposition fait que l'eau sort sans remous. En effet, les aubes commencent à se vider dès le fond du canal, en abandonnant d'abord très peu d'eau, puis celle-ci augmente jusqu'à la surface. L'eau déversée est répartie en différentes couches, ayant des vitesses allant en croissant du fond à la surface, ce qui correspond à la loi du mouvement de l'eau dans les canaux. L'inclinaison donnée aux aubes, qui semblerait devoir relever l'eau, en facilite au contraire la sortie.

Donc, il n'y a pas de choc à l'entrée de la roue et pas de remous à la sortie.

Le rendement de la roue Sagebien est supérieur à 80 o/o. Tresca fit autrefois des expériences sur 14 roues, et obtint un rendement moyen de 0,87. C'est donc un récepteur de premier ordre, mais il doit être à marche très lente ; il faut une vitesse de 0 m. 50 à 0 m. 80 à la circonférence, soit la vitesse de l'eau d'arrivée du canal. La rotation, dans ces conditions, n'est guère que de 1 tour 1/2 à 2 tours par minute. Il faut donner un diamètre de 6 à 8 mètres, et une largeur qui va jusqu'à 6 mètres. Les variations du niveau n'ont pas d'influence sur le rendement, qui se maintient dans les limites de 80 à 85 o/o. La lenteur de rotation est donc le principal défaut de la roue Sagebien, mais en revanche elle permet d'utiliser les petites chutes depuis 0 m. 30, et à grand débit.

b. — ROUES EN DESSUS OU A AUGETS

Dans ces roues, l'eau arrive à la partie supérieure et se déverse dans des récipients appelés *augets*, disposés entre deux couronnes. Le poids de cette eau entraîne la roue, puis elle se déverse dans le bief d'aval ; on doit laisser une hauteur de 0 m. 50 en dessous pour la fuite, car le moteur ne doit pas marcher noyé en aucune partie.

En principe, cette roue se compose (fig. 49) d'un axe hori-

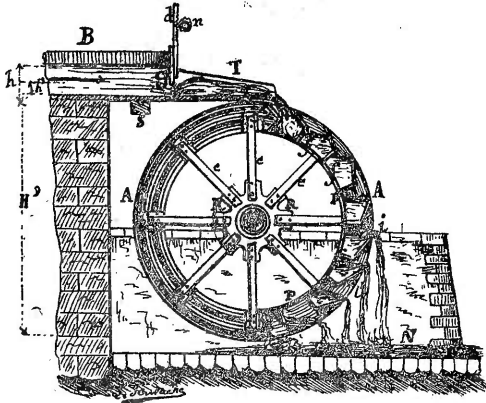


Fig. 49. — Roue en dessus.

zontal V, en bois ou en fer, porté par deux paliers sur les murs verticaux N. Sur cet axe sont fixés deux tourteaux R R, dont les croisillons soutiennent des bras c, c, c, réunis à deux couronnes en bois ou en tôle A A, entre lesquelles sont dispo-

sés des augets *ff*, fermés par un fond *PP* et ouverts extérieurement pour le déversement de l'eau. L'alimentation de la roue se fait par un canal ou buse rectangulaire *B*, en maçonnerie ou en bois, terminé en avant par un bec *T*, tangentiel à la roue. La largeur du canal est variable, mais la hauteur d'eau doit être comprise entre 0 m. 20 à 0 m. 30. Une vanne *g*, mise en mouvement par une crémaillère *d*, qui engrène avec un pignon *n*, commandé à l'intérieur de l'usine, donne une lame d'eau de 0 m. 06 à 0 m. 10 d'épaisseur. La vitesse d'arrivée est donc donnée par une charge $h - h'$, car l'écoulement se fait par une vanne suivie d'un canal; elle sera, en prenant $h = 0 \text{ m. } 20$, $h' = 0 \text{ m. } 06$ ou $0 \text{ m. } 10$, $V = \sqrt{2g(0,20 - 0,06)}$

ou $V = \sqrt{2g(0,20 - 0,10)}$, soit 1 m. 67 à 1 m. 41. Pour que

la roue fonctionne bien et que les augets ne se déversent trop tôt, ceux-ci doivent être remplis à moitié ou aux deux tiers; on a alors les roues *lentes* et les roues *rapides*.

Théorie de la roue à augets. — La chute totale *H* donne, pour un poids *P* d'eau, un travail moteur $Tm = PH$. Cette chute *H* se décompose en deux : 1° *h*, qui est utilisée à donner de la vitesse à l'eau du canal et de la puissance vive; 2° une chute *H'*, dans laquelle l'eau agit par son poids.

Cherchons à évaluer les puissances données à la roue par ces deux chutes.

1° La chute *h* donne une vitesse à l'eau $V = \sqrt{2g(h - h')}$

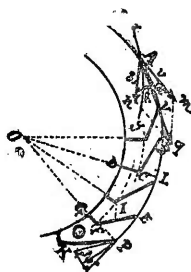


Fig. 50. — Théorie de la vitesse relative de l'eau dans la roue en dessus.

Le filet liquide arrivant au point *A* rencontre la roue, animée d'une vitesse *v*, suivant une parabole *xy* (fig. 50). Menons la tangente *Aq*, proportionnelle à la vitesse *V*, menons également la tangente *Am* à la circonférence de la roue, et prenons une longueur proportionnelle à la vitesse *v* de la roue. Construisons le parallélogramme des vitesses *V* et *v*, nous obtiendrons *An* ou *v'*, vitesse relative d'entrée de l'eau dans l'auget. Si α est l'angle fait par *Aq* et *Am*, on aura comme valeur de *v* et *v'* :

$$v = V \cos \alpha.$$

$$v' = V \sin \alpha.$$

La vitesse $V \cos \alpha$ seule donne de la vitesse à la roue, la vitesse $V \sin \alpha$ est détruite; de plus, comme la roue a une

vitesse v , la première vitesse devient donc $V \cos \alpha - v$. D'où perte totale de vitesse $V \cos \alpha - v + V \sin \alpha$. En faisant les transformations comme dans la roue de côté, on arrive à trouver que la puissance vive donnée à la roue par la vitesse de l'eau est $M v (V \cos \alpha - v)$. Pour éviter le choc à l'entrée, on devra donner au premier élément de l'auget la direction de la vitesse relative v'

2° Le deuxième terme du travail, dans lequel l'eau agit par son poids sous une chute H' , sera $M g H'$. Mais toute l'eau n'arrive pas au bas de la chute ; il se produit un certain déversement dès que l'auget est arrivé dans la position i (fig. 49). Le poids agissant est donc variable et le travail est aussi variable. On peut l'estimer en faisant une épure des différents volumes d'eau qui restent dans l'auget, à partir du point où commence le déversement jusqu'au point le plus bas de la chute. Les causes du déversement anticipé proviennent du poids de l'eau et la force centrifuge, qui tendent à faire prendre au profil de la surface de l'eau une courbe, dont le centre est d'autant plus élevé au-dessus de la verticale de l'axe de la roue que celle-ci a une vitesse moins grande.

Le travail utile que peut donner la roue, en réunissant les deux travaux des chutes, est donc $T u = M g H' + M v (V \cos \alpha - v)$.

Dimensions et formes des augets. — *Vitesse de la roue.* —

On donne ordinairement aux augets un espacement de 0 m.30 à 0 m.35 sur la circonférence, et 0 m.25 à 0 m.30 de profondeur suivant le rayon.

Les séparations des augets ont une forme qui varie ; dans les roues en bois, on trace une série de rayons joignant le centre O aux points de division de la circonférence, puis on divise DL en deux parties égales, et on mène CD et BC .

D'Aubuisson a donné un autre tracé, il prend $GF = \frac{GP}{3}$.

Les lignes GF et FE font entre elles un angle de 110° à 118° . L'espace I doit surpasser l'épaisseur du liquide admis de 0 m.01, et doit être au maximum de 0 m.10 à 0 m.11. Cette disposition présente un léger recouvrement qui retarde le déversement. Dans les roues métalliques, on fait les augets en tôle K , dont le premier élément fait un angle de 30° avec la circonférence extérieure, et dont le dernier élément est perpendiculaire à la circonférence intérieure. La figure 51 montre une roue en dessus métallique, établie au moyen d'augets, ayant une courbure spéciale.

On pratique dans le fond des augets quelques petits trous,

pour faciliter l'échappement de l'air à l'arrivée du liquide dans l'auget.

Dans certains cas, on place à l'avant de la roue une chemise en maçonnerie ou en tôle, embrassant le quart de la circonférence, afin d'empêcher le déversement de se produire. Mais l'eau frotte contre ce coursier et absorbe une partie du travail que l'on recueille.

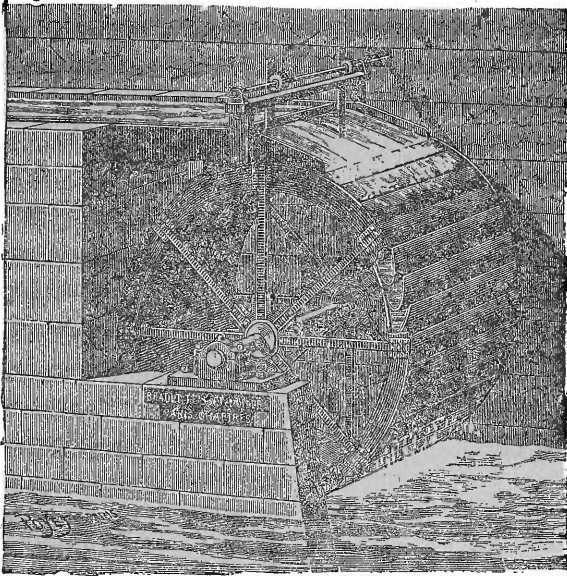


Fig. 51. — Vue d'une installation de roue en dessus métallique (Brault, Teisset et Gillet).

La vitesse de la roue doit être les 0,50, 0,60, 0,70 à 0,80 de la vitesse d'arrivée de l'eau. Pour des vitesses de roue de 1 m. à 1 m.50 à la circonférence, le rendement peut atteindre 70 à 80 o/o ; pour des vitesses supérieures à 2 m., le rendement s'abaisse à 50 o/o et même à 40 o/o. Les petites roues utilisent des chutes de 3 à 4 m., les grandes roues vont jusqu'à 6, 8 et même 9 mètres de chute.

Lorsque le niveau dans le bief supérieur est variable, on change le vannage pour l'introduction de l'eau dans la roue, et l'extrémité présente une obliquité en arrière où sont pratiqués des orifices en forme d'ajutages convergents fermés par une vanne présentant des orifices égaux aux premiers. Les

augets sont disposés en sens contraire de ceux de la précédente roue, et le sens de rotation est inverse. Ce système est désavantageux, car l'eau en tombant verticalement prend beaucoup de vitesse et donne un grand choc dans sa rencontre avec la roue, choc qui est une perte de travail.

PROBLÈME SUR L'INSTALLATION D'UNE ROUE EN DESSUS. — Soit à établir une roue à augets sous une chute de 6 m. 50, le canal d'amenée ou buse a 0 m. 65 de large et une épaisseur d'eau de 0 m. 25, la vitesse de l'eau dans le canal est de 1 m. 10, l'ouverture de vanne est 0 m. 08.

Réponse. — Le débit fourni par le canal est

$$Q = 0,65 \times 0,25 \times 1,10 = 0^{\text{m}^3} 178.$$

Le travail moteur sous une chute de 6 m. 50 est

$$Tm = 178 \times 6,50 = 1157 \text{ kilogrammètres.}$$

En admettant un rendement mécanique de 0,70, le travail utilisable sera

$$Tu = 0,70 \times 1157 = 809,90 \text{ kilogrammètres.}$$

Calculons la largeur de vanne, mais déterminons, avant, la vitesse de sortie, dont la charge est ici représentée par la différence h de l'eau dans le canal, et l'ouverture h' de la vanne (cas d'un écoulement par vanne suivi d'un canal) ou $0,25 - 0,08 = 0\text{ m.} 17$. Le coefficient de contraction est 0,62, puisque la vanne est droite.

$$\text{D'où largeur de vanne } l = \frac{0,178}{0,08 \times 0,62 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,17}} \\ = 1\text{ m.} 97.$$

En ajoutant 0 m. 10 pour garantir les pertes, on aura comme largeur de roue $L = 1,97 + 0,10 = 2\text{ m.} 07$.

Le diamètre de la roue est égal à la chute, moins 0 m. 50, soit pour le cas $D = 6,50 - 0,50 = 6$ mètres.

En admettant que la vitesse de la roue soit les 0,50 de la vitesse d'arrivée de l'eau ou $\sqrt{2 \times 9,81 \times 0,17} = 1,82 \times 0,50 = 0\text{ m.} 91$.

La circonférence de la roue sera $C = 2 \pi R = 2 \times 3,14 \times 3 = 18\text{ m.} 84$.

Si les augets sont espacés de 0 m. 40, le nombre sera

$$n = \frac{18,84}{0,40} = 47 \text{ augets.}$$

Par seconde, il passe devant le déversoir $\frac{0,91}{0,40} = 2,27$ augets.

Le volume de chaque auget devant être le double de l'eau à recevoir, ou

$$q = \frac{2 Q}{n} = \frac{2 \times 0,178}{2,27} = 0^{\text{m}^3} 156.$$

e. — ROUES A RÉACTION

Roue à cuillers. — La roue à cuillers est fort ancienne. Elle se compose (fig. 52) d'un arbre vertical H, portant un moyeu où sont implantées des aubes gauches ou *cuillers* *a b c*, l'ensemble constitue la roue R. Un canal en bois A amène l'eau, qui se déverse sur trois aubes à la fois. Elle agit par choc, et imprime à la roue une rotation suivant *f*. Le rendement est environ 33 o/o du travail moteur reçu, et la vitesse de la roue doit être, dans ces conditions, égale à 0,70 de celle du liquide. Ce moteur rustique se construit généralement en

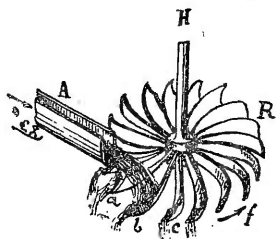


Fig. 52. — Roue à cuillers.

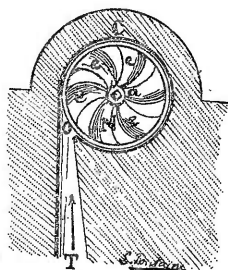


Fig. 53. — Roue à cuve.

découpant les aubes dans une pièce de bois, mais elle peut être également métallique. Elle convient pour les grandes chutes à faible débit.

Roue à cuve. — La roue à cuve n'est qu'une modification de la précédente (fig. 53). L'ensemble N comprend une série d'aubes courbes *e e e* qui, au lieu d'être libres à leurs extrémités, sont solidement reliées par un cercle O. En *a* se trouve l'arbre vertical transmettant le mouvement. La roue est montée dans un puits ou *cuve* C, muni inférieurement d'une ouverture de décharge servant à l'écoulement de l'eau qui a servi. Le canal d'amenée ou buse est en T; il débouche tangentiellement à la roue et lui imprime une très grande

vitesse. Mais l'eau, avant d'agir, tourbillonne dans la cuve, de sorte que son effet dynamique est diminué ; enfin, il se perd de l'eau par suite des espaces nuisibles laissés entre la roue et la maçonnerie. Cette eau forme frein et gêne le mouvement. Le rendement ne s'élève guère qu'à 20 à 25 o/o. Ce genre de roue se rencontre surtout en Italie, sa construction est rustique et se fait généralement en bois, elle convient pour les petites chutes à grand débit.

APPLICATION. — *Quel est le travail utile donné par une roue à cuillers, sachant que le débit est de 25 litres par seconde, la chute de 6 mètres, et le rendement mécanique de 0,33 ?*

Réponse :

$$T = \frac{25 \times 6 \times 0,33}{75} = 0,66 \text{ cheval-vapeur.}$$

Roues Pelton. — La roue Pelton est d'invention américaine, on l'appelle *roue-turbine* et quelquefois *turbine Pelton*. Elle se compose, en principe (fig. 54), d'une roue R, montée

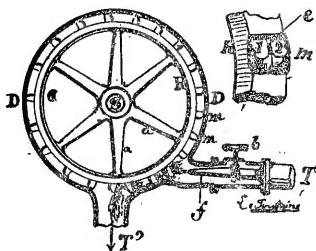


Fig. 54. — Principe de la roue Pelton.

sur un axe horizontal S, porté par des paliers. La jante de cette roue est munie à sa périphérie d'une série d'augets *m m*. Chaque auget comprend deux petits compartiments 1 et 2, creusés et séparés par une vive arête *e*, sur laquelle vient se briser en deux parties la gerbe liquidé. L'ensemble de la roue tourne dans une enveloppe en bronze D D, en deux parties démontables.

L'eau arrive sous une forte pression par le tube T, duquel part une ou plusieurs tuyères *f*, dont les orifices adducteurs projettent le liquide sur les augets *m m*, puis l'eau est évacuée par le tuyau T'. Une vanne *b* règle le débit.

L'eau agit par sa vitesse, le travail utile que peut rendre cette roue est donc :

$$T u = \frac{M V^2}{2} - \frac{M U^2}{2} - \frac{M W^2}{2}.$$

Pratiquement, on est parvenu à rendre presque nul le choc, et, par suite, le terme $\frac{M U^2}{2}$ est très réduit ; d'autre part, si la vitesse *v* de la roue égale à $\frac{V}{2}$ de la vitesse de l'eau, l'effet sera maximum, la vitesse de sortie W sera égale à zéro.

Le terme $\frac{M W^2}{2}$ disparaît. Donc, théoriquement, cette roue donnerait un travail égal à la puissance vive $\frac{M V^2}{2}$. Pratiquement, le rendement n'est que de 85 à 90 o/o.

On voit que la roue Pelton est un excellent moteur, mais pour l'employer il faut amener l'eau sous pression dans une conduite forcée. La chute doit avoir 25 mètres au minimum ; on cite des applications où elle atteint 600 mètres. Cet appareil est peu encombrant, car une roue Pelton de 0 m. 60 de diamètre peut donner plus de 100 chevaux de force, sous une chute de 200 mètres.

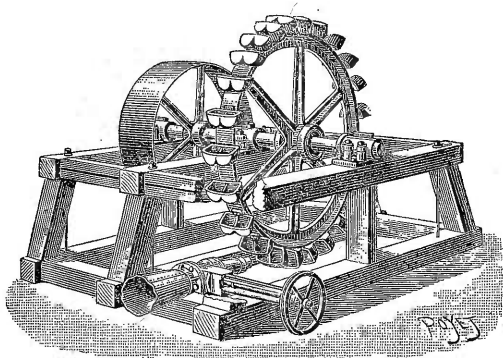


Fig. 55. — Roue Pelton nue.

La figure 55 montre une roue dépourvue de son enveloppe, sur laquelle on voit très bien la disposition des augets. Dans la figure 56, on a l'ensemble de la machine avec enveloppe pour éviter les projections d'eau.

Signalons, pour terminer ce genre de *récepteur*, la roue-turbine de M. Schabaver, constructeur à Castres (Tarn). Le corps de la roue comprend, dans ce système, un disque plein dont la jante porte des augets en forme de demi-sphère creuse. Le jet d'eau arrive sous pression, par une ou deux tuyères, sur l'un des bords de l'auget et sort à la circonférence.

Dans un essai, une petite turbine de 0 m. 25 de diamètre a dépensé, sous une chute de 60 mètres, 2 lit. 72 d'eau par seconde, correspondant à un travail brut de 163 kgm. La rotation était de 1348 tours par minute, et le travail recueilli a été de 122 kgm., ce qui correspond à un rendement de 75 o/o.

Dans un autre exemple d'installation, à Malamort, M. Scha-

baver a obtenu un rendement de 83 o/o, pour un développement de force de 120 chevaux, avec une pression de 60 mètres.

En couplant deux roues Pelton, M. Schabaver construit le

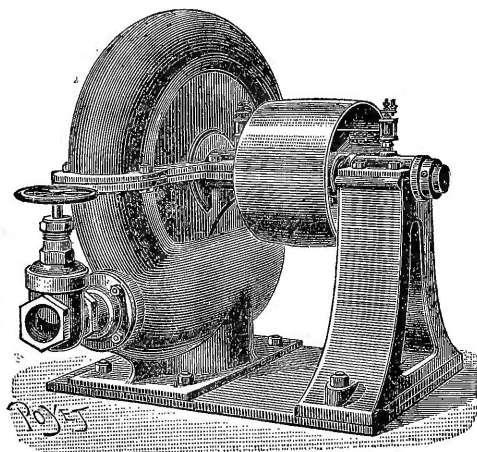


Fig. 56. — Vue d'ensemble d'une roue Pelton.

type de moteur représenté par la figure 57. Une conduite alimente par des tuyères les deux machines renfermées dans

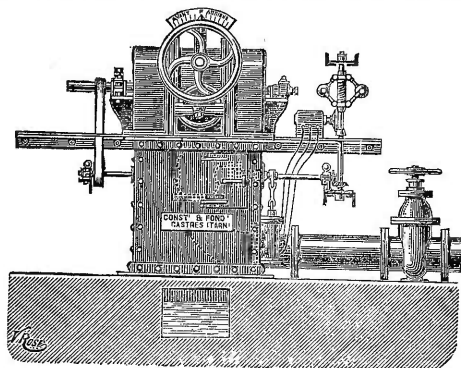


Fig. 57. — Roue Pelton couplée (Schabaver).

des enveloppes, pour éviter les projections d'eau. Un régulateur centrifuge agit sur une vanne d'admission, qui règle la vitesse de rotation et la puissance motrice.

Les roues Pelton tournent à une très grande vitesse, certaines font 5000 à 6000 tours par minute. La trans-

mission aux machines se fait par poulie et courroie ; dans beaucoup de cas, on accouple directement la roue à une dynamo électrique. On construit actuellement de très petites machines comme celles de M. Schabaver, dont nous avons parlé plus haut, dites *moteurs à eau*, que l'on peut utiliser surtout dans les villes là où l'on possède de l'eau sous une pression suffisante.

B. — TURBINES HYDRAULIQUES

Historique — L'idée première de ce moteur est due à Ségner qui, vers 1750, proposa une turbine versant l'eau en dessous ; mais c'est Euler qui, en 1754, donna les dispositions générales, et la théorie de cet appareil en 1767. En 1824, cette roue fut perfectionnée par Burdin, qui lui donna le nom de turbine. En 1832, Fourneyron inventa la turbine déversant l'eau latéralement ; il faut citer ensuite la turbine Fontaine (1837) ; celle de Jonval-Kœcklin ; la turbine Girard et Callon, etc. Enfin, l'Amérique nous envoya les turbines centripètes à axe vertical ou à axe horizontal, très pratiques.

Principe d'une turbine. — En principe, une turbine consiste en une roue dont la périphérie porte une couronne d'aubes courbes dites *motrices* ; l'ensemble est claveté à un arbre rotatif. En dessus de cette roue ou latéralement se trouve une deuxième couronne ou *distributeur*, garnie d'aubes *directrices*, à courbure contraire aux premières. L'eau, dans ces moteurs, agit par son poids ou par sa vitesse suivant les systèmes.

Classification des turbines

Dans les turbines on distingue trois types : 1° Les turbines *axiales ou parallèles*, chez lesquelles l'eau agit parallèlement à l'arbre moteur qui est vertical ; 2° les turbines *radiales*, chez lesquelles l'eau agit perpendiculairement à l'arbre moteur ; dans celles-ci on distingue les turbines *centrifuges* et les turbines *centripètes* ; 3° les turbines *mixtes*, tenant des deux premières. Nous n'examinerons que les systèmes présentant un intérêt général et se construisant actuellement.

1° TURBINES PARALLÈLES

Dans ce genre de turbine, l'eau agit par son poids, parallèlement à l'axe de rotation.

Turbine Fontaine. — Cette turbine fut inventée, vers 1837, par M. Fontaine, de Chartres, où il appliqua d'une façon heureuse son *pivot supérieur* (*). Nous ne décrivons pas l'ancien type à vanne circulaire qui n'est plus construit, nous ne parlerons que du modèle à *papillons*, le seul en usage aujourd'hui.

En principe (fig. 58), la turbine Fontaine se compose de deux parties essentielles : 1° un distributeur P ; 2° la roue de la turbine R.

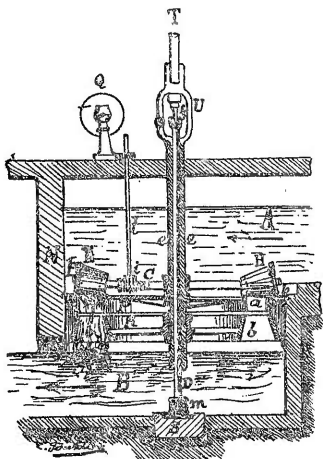


Fig. 58. — Coupe de la turbine Fontaine.

Distributeur — Le distributeur sert à l'admission de l'eau à la roue, il est constitué par une couronne fixe, scellée entre la chambre d'amont A et la chambre d'aval B. A la périphérie, se trouvent les aubes *directrices* courbes. Le distributeur est recouvert par un vannage dit à papillons, comprenant un secteur denté C, dont le collier embrasse le moyeu du distributeur. Le secteur porte deux bras terminés par des rouleaux cônes H H, sur lesquels est roulé un tablier flexible en gutta-percha ou en cuir hydrofuge, muni inférieu-

rement de platines rivées qui s'opposent à l'usure. La crémaillère permet de rouler le tablier sur H H et de déboucher les aubes *a*, au moyen d'un arbre vertical *t*, mis en mouvement de la chambre des machines par un système d'engrenages Q.

Les rouleaux H H sont guidés par un engrenage circulaire *p*. La figure 59 donne une vue d'ensemble des différents organes de la turbine Fontaine, construite par MM. Brault, Teisset et Gillet, de Chartres.

En dessous du distributeur P tourne la roue de la turbine R, portant à la périphérie une couronne d'aubes motrices *b*, dont la courbure est en sens contraire de celles du distributeur.

(*) Le pivot supérieur a été imaginé par Arson et perfectionné dans la suite par la maison Fontaine, de Chartres.

La partie inférieure ne doit pas être noyée par l'eau d'aval. Le corps de la turbine est claveté sur un arbre creux *ee*, prenant son point d'appui sur un arbre plein vertical *D*, fixé à une poëlette inférieure métallique *m*, boulonnée à une pierre d'assise *S*.

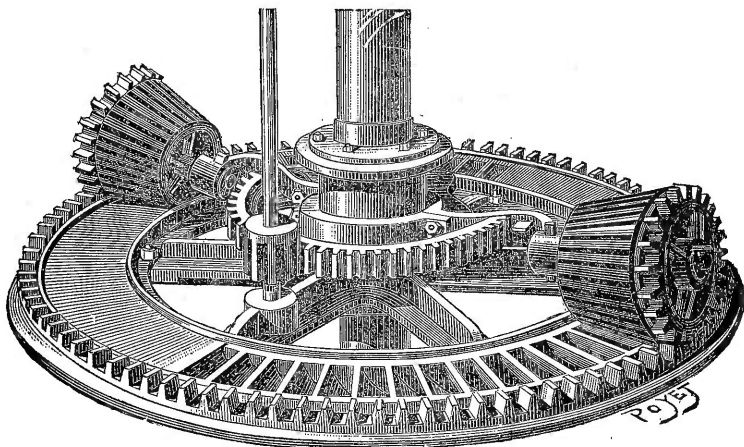


Fig. 59. — Vue d'ensemble d'un distributeur à papillons de la turbine Fontaine.

La turbine est en quelque sorte suspendue par un pivot supérieur *f*, reposant sur un grain d'acier en bronze phosphoreux, baignant dans de l'huile contenue par une cuvette. Ce pivot peut facilement être visité et remplacé.

L'évidement *U* de l'arbre creux *ee* se continue par un arbre vertical de transmission *T*, se rendant aux machines.

La figure 60 montre en perspective la roue de la turbine.

Enfin, la figure 61 indique la disposition d'ensemble d'une turbine Fontaine avec sa chambre d'eau, telle qu'on l'installe pour les chutes ordinaires de 1 à 4 mètres.

Dans ces conditions, le moteur fait 14, 60 à 80 tours par minute, suivant la chute et le travail demandé.

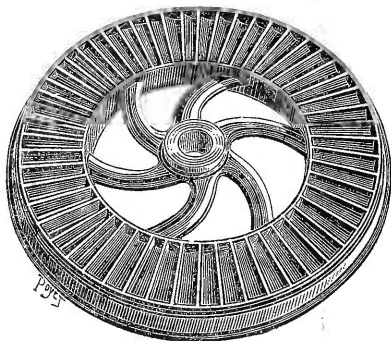


Fig. 60. — Vue d'ensemble de la roue de la turbine Fontaine.

Théorie et formule du travail. — Si MN (fig. 62) est le plan de séparation du distributeur et de la roue de la turbine, AB une

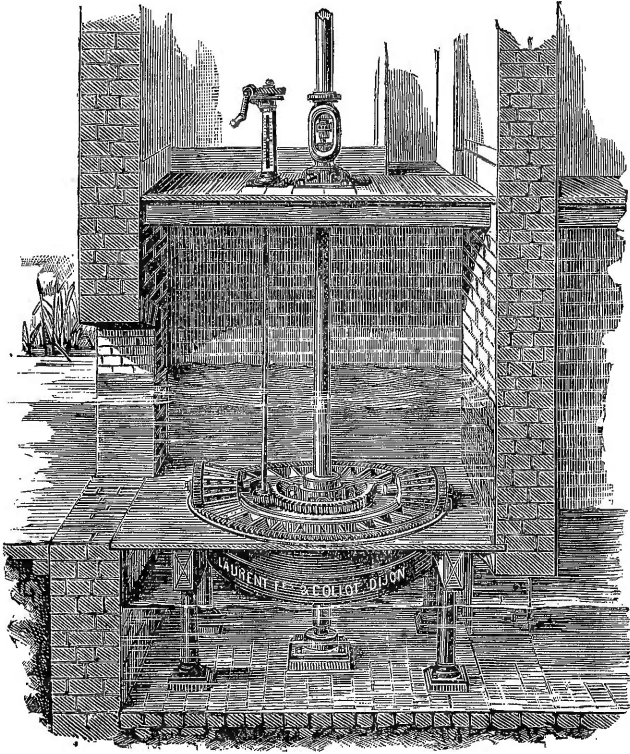


Fig. 61. — Vue d'ensemble d'une installation de turbine Fontaine

aube directrice, BC une aube motrice, nous voyons que l'eau s'échappe de AB avec une vitesse V , tangentielle au point B , faisant un angle β avec MN . Comme la turbine se déplace avec une vitesse v , nous pouvons composer ces deux vitesses en construisant le parallélogramme B, a, d, f , et le côté Bf représente la vitesse relative avec laquelle l'eau entre dans la turbine. Il faut donc donner cette direction au premier élément de l'aube motrice BC , afin d'éviter le choc à l'entrée. L'eau agit ensuite par son poids d'après une hauteur h' égale à celle de la roue; elle sort tangentiellement au dernier élément C avec une vitesse V' . Comme, pendant ce temps, la roue a parcouru encore un espace $v' = v$, nous pouvons com-

poser ces deux vitesses pour obtenir la vitesse relative de sortie W , égale à la ligne Cp .

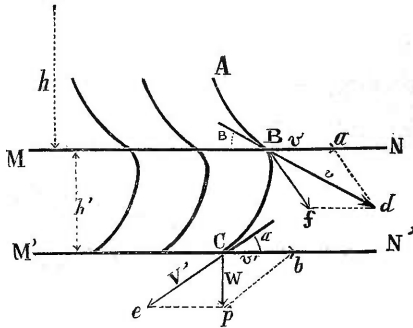


Fig. 62. — Théorie de la turbine Fontaine.

Cherchons le travail utile Tu , en appliquant la formule générale

$$Tu = M g H + \frac{M V^2}{2} - \frac{M U^2}{2} - \frac{M W^2}{2}$$

Nous voyons d'abord que h' doit remplacer H dans le terme $M g H$; donc l'eau agit par son poids avec une puissance $M g h'$ (1). L'eau entrant tangentiellement au premier élément de l'aube motrice, le choc est nul et par suite le terme $\frac{M U^2}{2}$ ne doit pas entrer comme perte.

La vitesse de sortie W^2 est égale, d'après le triangle C, e, p , à $W^2 = V'^2 + v'^2 - 2 V' v' \cos \alpha$ (trigonométrie. Cas de la valeur du carré d'un côté d'un triangle opposé à un angle aigu).

La puissance vive perdue pour la masse d'eau M , qui passe dans une seconde, sera

$$\frac{M}{2} (V'^2 + v'^2 - 2 V' v' \cos \alpha). \quad (2).$$

Enfin, si nous appelons h la distance du niveau libre de l'eau dans la chambre d'amont au plan de la roue MN , l'eau, par sa vitesse V , prendra une puissance vive de $\frac{M V^2}{2}$. Mais

$$\frac{M V^2}{2} = \frac{M 2 g h}{2} = M g h \quad (3).$$

$$V = \sqrt{2 g h}; \text{ d'où } V^2 = 2 g h.$$

En additionnant les termes (1) et (3) et en retranchant (2), nous aurons le travail utile de notre turbine, soit

$$Tu = M g h' + M g h - \frac{M}{2} (V'^2 + v'^2 - 2 V' v' \cos \alpha)$$

$$Tu = M g (h' + h) - \frac{M}{2} (V'^2 + v'^2 - 2 V' v' \cos \alpha)$$

Or, en pratique, on s'arrange de façon que la partie inférieure de la turbine affleure le niveau d'aval $M'N'$, pour utiliser toute la chute disponible H , qui est égale à $h' + h$. On aura

$$T u = M g H - \frac{M}{2} (V'^2 + v'^2 - 2 V' v' \cos \alpha)$$

Si théoriquement on fait $V = v$ et $\alpha = 0$, le rendement est maximum. La première condition peut être réalisée en pratique, mais α ne doit jamais être nulle, sans quoi l'eau ne pourrait sortir de la turbine.

Profil des aubes et rendement. — Nous avons vu que les aubes directrices et motrices sont à courbures contraires ; on

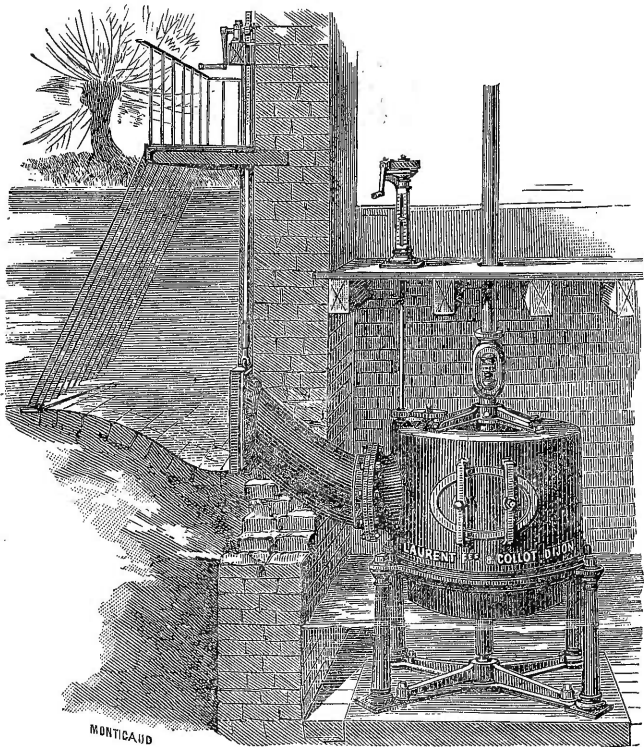


Fig. 63.— Turbine Fontaine pour moyenne chute.

donne une forme parabolique aux aubes motrices, le premier élément étant tangent à la direction de la vitesse relative

d'entrée de l'eau, et le dernier élément faisant avec M' N' un angle $\alpha = 30^\circ$. On fait souvent $\alpha = \beta = 25^\circ$.

Le distributeur et la turbine se font en fonte et sont coulés d'une seule pièce.

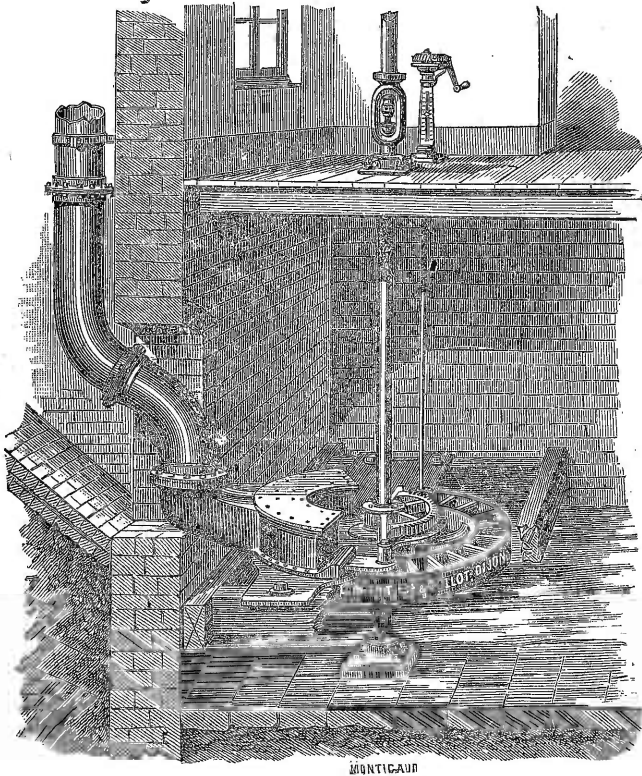


Fig. 64. — Turbine Fontaine pour haute chute, avec distribution partielle.

Quant au rendement mécanique, les nombreuses expériences dynamométriques auxquelles ces moteurs ont été soumis ont montré qu'il varie entre 70 et 75 o/o, lorsque tout le distributeur est découvert et que la turbine est dénoyée. Quand le distributeur n'est qu'en partie ouvert, ce rendement peut descendre à 50 o/o à cause des remous qui se produisent de bas en haut, lorsque les aubes pleines d'eau passent sous le distributeur. Un certain vide se fait, et la pression atmosphérique agissant dans le canal de fuite de bas en haut repousse l'eau en occasionnant des frottements considérables.

Turbines Fontaine pour moyennes et hautes chutes. — Pour les moyennes chutes de 4 à 8 mètres, la turbine Fontaine ordinaire avec chambre d'eau ne peut plus convenir, on est obligé d'employer des dispositions à *conduites forcées*. Dans la figure 63, la chambre d'eau est remplacée par une cuve en fonte montée sur une charpente métallique, ou fixée à un massif en maçonnerie. La turbine est logée à l'intérieur et l'eau est amenée par une conduite dont l'extrémité est munie d'une vanne. La distribution est partielle et se fait par un *papillon* découvrant une partie des aubes motrices, on le commande de la salle des machines par un système d'engrenages à manivelle.

Dans le cas de hautes chutes de 8, 15 et 20 mètres, il faut installer une turbine à distribution partielle, du genre de celle représentée par la figure 64. Le tuyau d'amenée prend naissance dans un barrage d'amont et aboutit à un secteur enveloppant une partie de la turbine. L'admission de l'eau se fait au moyen d'un papillon déplacé par un secteur denté, mis en mouvement par un pignon calé à l'extrémité d'un petit arbre vertical, très visible sur la figure.

Turbines Schabaver. — M. Schabaver, à Castres (Tarn), construit d'excellentes turbines de différents systèmes, très répandues :

1° Turbine Schabaver pour chutes ordinaires. — En coupe verticale (fig. 65), ce moteur comprend un distributeur fixe *EE*, séparant la chambre d'eau amont *A* de la chambre d'aval *Z*. Ce distributeur est fixé sur deux sommiers *PP* et porte un double aubage *aa'*, isolés l'un de l'autre par une cloison circulaire *X* (fig. 66).

Nous verrons plus loin le rôle de cette disposition. En dessous du distributeur tourne la turbine *FF*, munie également d'un double aubage *bb'*, correspondant à *aa'*. Cette turbine est clavetée à l'extrémité inférieure d'un arbre en fonte creux *VV*, portant un évidement à sa partie supérieure *D*, dans lequel se trouve un pivot de suspension *p* en acier très dur, tournant dans une cuvette remplie d'huile *g*, et fixée à l'extrémité d'un arbre vertical en fer *H*. Celui-ci est claveté à un sommier en fonte *S*, scellé à la pierre *M*. Pour corriger le jeu entre le distributeur *E* et la turbine *F*, on soulève l'ensemble de celle-ci et l'arbre *VV*, en agissant sur l'écrou de réglage *y*, qui allonge ou diminue la longueur du pivot.

L'arbre *VV* est protégé de l'eau par un arbre creux *dd*, fixé au distributeur. A la naissance du plancher de la salle

des machines, la partie *f* de l'arbre V V est embrassée par un collier *m*, dont on peut régler le centrage au moyen de vis.

Voyons maintenant comment se fait l'alimentation de la turbine. L'eau, débarrassée des corps flottants qu'une grille inclinée Y arrête, est introduite dans la chambre-A par une vanne U à crémaillère O, manœuvrée par une série d'engrenages et une roue à manivelle *h*.

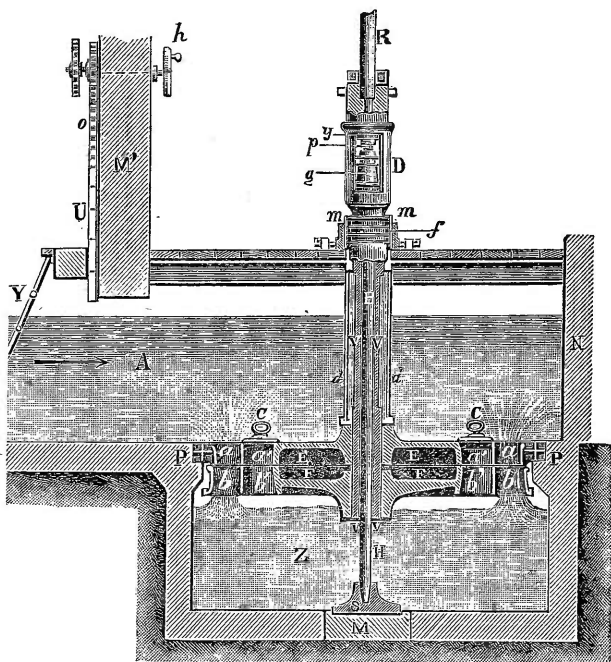


Fig. 65.— Coupe verticale de la turbine Schabaver pour basses chutes.

La chambre d'eau en maçonnerie A est limitée en avant par un mur N ; quand elle est suffisamment remplie, le mouvement commence, car il n'y a aucun vannage au-dessus du distributeur. Le réglage de la puissance se fait d'après l'admission plus ou moins grande de l'eau par la vanne U et par la levée d'une vanne de garde placée en avant de la grille Y ; la chute et la vitesse varient. Cette disposition a été modifiée quelquefois par M. Schabaver, qui dans certains cas a remplacé la vanne unique U par trois papillons verticaux.

L'eau introduite dans les aubes directrices donne une veine

régulière qui n'est plus étranglée par le vannage ordinaire des turbines Fontaine.

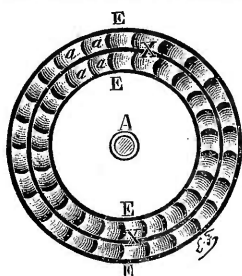


Fig. 66. — Plan du distributeur.

Quand on veut avoir le maximum de force, on débouche les deux aubages ab et $a'b'$ (ab est toujours ouvert). Si, dans les crues, au contraire, on veut réduire la puissance, on ferme l'aubage intérieur au moyen de clapets cc , manœuvrés à la main ou au moyen de tringles à vis.

Il résulte des nombreuses expériences dynamométriques auxquelles ont été soumises les turbines Schabaver, que leur rendement mécanique est supérieur à 80 o/o. Voici quelques

chiffres tirés d'un essai fait par MM. les Ingénieurs de la poudrière de Toulouse en 1881.

CHUTE H	DÉBIT Q	FORCE BRUTE	POIDS APPLIQUÉ au bras du levier du frein de Prony P	NOMBRE DE TOURS A LA MINUTE n	FORCE développée en CHEVAUX VAPEUR $\frac{2 \pi p l n}{60 \times 75}$	RENDEMENT P. 100
		$\frac{Q \times H}{75}$				
1.395	1172	21.86	239 50	37	18.80	85.97
1.290	1105	19.00	239.50	32 35	16.15	84.90

En chute ordinaire, on peut donc compter sur un rendement moyen de 82 à 83 o/o, ce qui prouve la haute valeur du moteur en question. La suppression de tout vannage sur le distributeur contribue beaucoup à l'élévation de rendement de la turbine Schabaver sur les turbines Fontaine ordinaires, car la contraction de la veine liquide est diminuée ainsi que de nombreux frottements.

2° **Turbine Schabaver pour hautes chutes.** — M. Schabaver emploie pour les hautes chutes un système de turbine très perfectionné, également du type Fontaine. La coupe verticale (fig. 67) et le plan (fig. 68) nous serviront pour notre description. L'eau doit être amenée par une conduite forcée T, et arrive avec une grande pression dans une huche en fonte J, formant la chambre d'eau d'amont ; cette cuve est boulonnée sur un canal de fuite. A l'intérieur, se trouve le moteur. Le

distributeur fixe A porte deux secteurs d'aubes directrices *ii*, opposés l'un à l'autre. L'admission de l'eau se fait au moyen

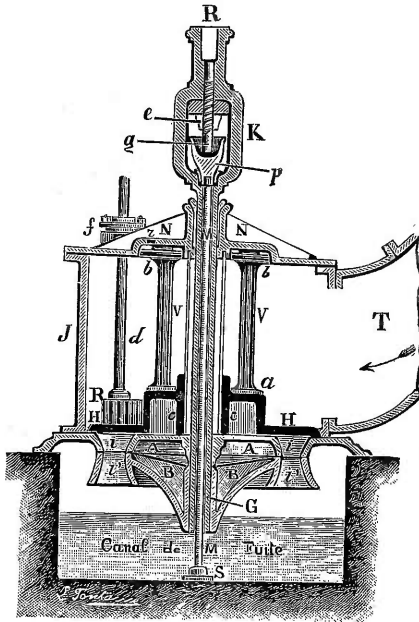


Fig. 67. — Coupe verticale de la turbine Schabaver pour hautes chutes.

d'une vanne à papillon équilibrée HH, dont le moyeu *cc* tourne autour de l'arbre central. Pour commander cette vanne, l'un des secteurs est muni d'une crémaillère circulaire L, engrenant avec un pignon R, dont l'axe vertical *d* passe dans un presse-étoupe *f*. Cet arbre est mis en mouvement de la chambre des machines par un mécanisme spécial, avec régulateur à force centrifuge, réglant l'admission de l'eau aux aubes, proportionnellement à la force demandée.

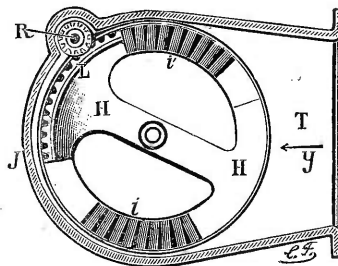


Fig. 68. — Plan de la turbine Schabaver.

La pression sur le vannage est considérable, elle est égale à la surface de vanne, multipliée par la hauteur de chute, plus le frottement exercé par le déplacement sur le distributeur.

Ainsi, pour une turbine du genre qui nous occupe, installée sous une chute de 9 m. 50 ayant un vannage de 38 décimètres carrés de surface, et en prenant un coefficient de frottement de fonte contre fonte égal à 0,31, on a comme pression totale :

Pression de l'eau.....	$38 \times 95 =$	3600 kgr.
Frottement.....	$3600 \times 0,31 =$	1116 kgr.
Pression totale.....		4716 kgr.

Cette pression deviendrait considérable pour des chutes plus élevées et ne tarderait pas à produire l'usure du vannage et du distributeur. C'est pour obvier à cet inconvénient que M. Schabaver a été amené à munir le vannage d'un piston équilibré *bb*. Celui-ci est de même surface que le papillon et est logé dans un évidement du couvercle NN; deux montants V V réunissent le piston au papillon.

La pression de l'eau agit de bas en haut et soulève l'ensemble, de sorte que le poids du papillon seul agit sur le distributeur. L'évidement, dans lequel est ajusté le piston, communique avec l'air par un trou *r*, de façon qu'il n'y ait pas de résistance. Ce trou sert, en outre, à rétablir l'équilibre de pression, lorsque les eaux viennent à baisser; on y ajuste un tuyau de plomb de 1 à 2 mètres que l'on remplit d'eau.

Cette turbine Schabaver est donc parfaite en tous points, par son vannage et par son régulateur très sensible, elle donne à la marche une régularité parfaite.

D'après les expériences dynamométriques qui ont été faites sur ce récepteur, son rendement mécanique atteint en moyenne 85 à 86 o/o, sous des chutes de 10 à 11 mètres.

Turbine Jonval-Kœcklin. — La première idée de cette turbine est due à Jonval; puis Kœcklin, de Mulhouse, lui apporta des modifications dans la suite. Elle se caractérise par sa position dans la chute et par son vannage.

En principe (fig. 69), cette turbine comprend une cuve en fonte circulaire F F F F, solidement fixée à la partie supérieure d'un puisard en maçonnerie B, formant bief d'aval. La partie inférieure de la cuve porte un solide croisillon D D venu de fonte, et muni d'une crapaudine *p*, dans laquelle repose le pivot de l'arbre rotatif H, entouré par un manchon S S, pour qu'il ne tourne pas dans l'eau. La partie supérieure de la cuve MM constitue le distributeur sans vannage extérieur et porte à sa périphérie une couronne d'aubes évasées directrices *aa*. Quant à la turbine proprement dite, elle est constituée par une roue NN, clavetée sur l'arbre H, et est munie d'aubes motrices *bb* plus étroites que les directrices. Enfin, l'extérieur

de ces aubes ne porte pas de jante, elles sont libres, un jeu de 1 à 2 m/m existe seulement entre elles et la cuve. Les aubes sont à surface gauche comme dans la turbine Fontaine, mais nous devons expliquer l'évasement des directrices *a*.

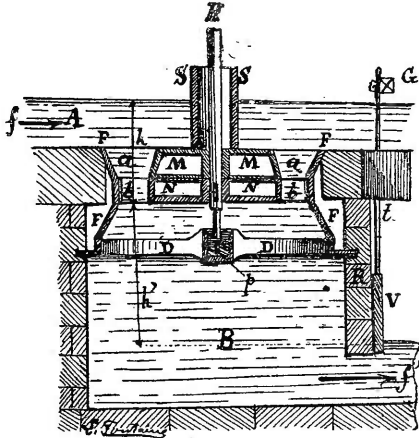


Fig. 69. — Turbine Jonval-Koecklin.

Jonval avait remarqué, en prenant deux tubes, l'un droit et l'autre évasé, que, dans le premier, la vitesse de l'eau est la même dans tous les points du tube ; qu'au contraire, dans le tube évasé et rétréci en son milieu, il passe autant d'eau dans la partie rétrécie que dans la partie élargie : il faut forcément que la vitesse d'écoulement augmente en ce point. Cette remarque amena Jonval à poser comme principe : *que l'on peut placer la turbine à n'importe quel point de la chute, pourvu que celui-ci ne soit pas à plus de 10^m 33 au-dessus du niveau d'aval.*

Toute la chute *H* est néanmoins utilisée par la turbine, nous allons le démontrer.

Appelons *h* la distance du plan inférieur de la turbine au-dessous du niveau d'amont, *p'* la pression du liquide situé dans ce plan, *p_a* la pression atmosphérique qui s'exerce librement sur les bassins d'amont et d'aval, et π le poids d'un mètre cube d'eau, le liquide prendrait une vitesse d'écoulement dans le puits, et pour une profondeur *h*, d'après une pression $\pi h + p_a - p'$, ce qui correspond à une hauteur de colonne d'eau motrice égale à $h + \frac{p_a}{\pi} - \frac{p'}{\pi}$ (1). (Voir: HYDROSTATIQUE).

Mais l'eau sort des aubes de la turbine avec une vitesse assez faible pour que nous puissions appliquer l'équation hydrostatique

$$p' + \pi h' = p_a,$$

dans laquelle h' est la différence de niveau entre le plan inférieur de la turbine et le niveau d'aval.

On en déduit que
$$\frac{p'}{\pi} = \frac{p_a}{\pi} - h'.$$

En portant la valeur de $\frac{p'}{\pi}$ dans (1), et en remarquant que nous faisons une soustraction algébrique, il vient que

$$h + \frac{p_a}{\pi} - \frac{p_a}{\pi} + h' = h + h' = H \text{ chute totale, } c q f d.$$

Le vannage est très simple, il consiste en une vanne V, munie d'une crémaillère l , commandée par des engrenages en G. Pour mettre en marche, on commence par fermer la vanne, le puits se remplit d'eau, puis on soulève doucement la vanne de façon à donner au liquide un écoulement continu f' , dont le débit augmente jusqu'à ce qu'il ait atteint sa valeur de régime. Le rendement mécanique de ce récepteur, dans les meilleures conditions, est de 72 o/o, il ne descend guère au-dessous de 63 o/o.

Turbines hydro-pneumatiques. — Callon et Girard ont cherché à diminuer les effets de l'élargissement de la veine liquide lors de son passage dans les aubes, lorsque le vannage n'est pas entièrement levé, ou lorsque la turbine est entièrement noyée. Ils ont proposé l'*hydro-pneumatisation*, qui consiste à recouvrir la turbine d'une cloche en tôle, dont le bord inférieur plonge de quelques centimètres dans l'eau du bief d'aval. Une pompe à air, mise en mouvement par le moteur lui-même, comprime de l'air dans la cloche, ce qui fait descendre le liquide jusqu'au bord inférieur du recouvrement. L'expérience a montré que les turbines maintiennent leur rendement à 0,70 et 0,75, quelle que soit la levée de la vanne.

2° TURBINES RADIALES

TURBINES CENTRIFUGES

Les turbines centrifuges sont celles qui déversent l'eau à leur circonférence extérieure, après son action.

Turbine Fourneyron. — Nous ne parlerons que comme mémoire de cette première turbine, qui est complètement abandonnée aujourd'hui.

Elle se compose d'un distributeur ayant deux groupes d'aubes directrices radiales, de longueurs inégales et de un tiers supérieur en nombre aux aubes motrices.

L'admission de l'eau se fait par une vanne circulaire, que l'on monte à volonté. Les aubes motrices sont fixées sur un plateau horizontal, calé sur l'arbre de transmission vertical et placées extérieurement en face des aubes directrices. Le pivot de l'arbre tourne inférieurement dans l'eau et l'usure de la crapaudine se règle par un levier à écrou.

La courbure des aubes motrices est en sens inverse des directrices, et l'eau entre sans choc. Comme dans la roue Poncet, le travail utilisable $Tu = \frac{M V^2}{2}$; mais, en pratique, on ne recueille que 0,65 à 0,70 du travail moteur. Cette turbine avait l'avantage de marcher noyée et à des vitesses très différentes sans que son effet utile diminue.

Turbine centrifuge à axe horizontal. — Pour les hautes chutes, on emploie cependant les turbines centrifuges à axe horizontal, concurremment avec les roues Pelton. La maison Brault, Teisset et Gillet, de Chartres, construit à cet effet le type représenté par la figure 70. La turbine comprend une

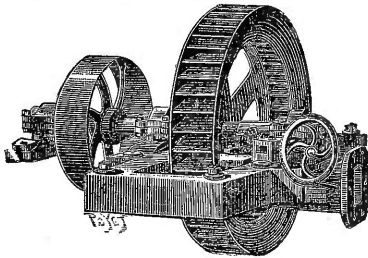


Fig. 70. — Turbine centrifuge à axe horizontal et à distributeur partiel.

roue verticale à aubes motrices courbes, le tout est enfermé dans une enveloppe ou bêche, non représentée dans la figure. L'eau arrive sous pression dans une chambre et est admise à la roue par un distributeur partiel, à mouvement circulaire, portant un certain nombre d'aubes directrices. La vitesse de rotation de ces machines varie entre 400 et 600 tours par minute, ce qui permet de les accoupler par courroie aux dynamos.

Sous une chute de 50 mètres, avec un débit de 100 litres à la seconde, cette turbine a fourni 40 chevaux-vapeur de force, avec une vitesse de 400 tours à la minute, le diamètre de la turbine étant de 0 m. 90.

TURBINES CENTRIPÈTES MIXTES

Les turbines *centripètes mixtes* dérivent de la turbine américaine «Hercule», inventée, il y a une quinzaine d'années, par Mac Cormick. Elles sont utilisées sur une grande échelle aux Etats-Unis et tendent à se répandre rapidement en France.

Les qualités que présentent ces récepteurs sont : 1° Une marche noyée, ce qui permet l'utilisation complète de la chute ; 2° le rendement est très élevé, on l'estime à 80 o/o en moyenne du travail reçu ; 3° le rendement reste constant suivant les variations de la hauteur de chute (crues ou sécheresse) et suivant les charges de la turbine (variations du travail) ; 4° l'installation est facile. Les bonnes maisons de construction sont celles de MM. Singrün à Epinal, de Brault, Teisset et Gillet à Chartres, de Laurent et Collot à Dijon, etc.

L'eau dans ce type de turbine agit par sa vitesse et par son poids ; la première partie de son action est perpendiculaire à l'axe de la turbine, la deuxième lui est parallèle, de là le nom de turbine centripète mixte donné à ce récepteur. Nous donnons de nombreux exemples d'installation permettant de résoudre les problèmes que peut présenter la pratique.

Turbine « Hercule-Progrès » Singrün. — En coupe, cette turbine se compose d'une cuve en fonte E (fig. 71), scellée dans le plancher de la chambre d'eau, elle est traversée par un arbre vertical I, reposant par sa partie D sur une pièce en bois C, logée dans une crapaudine B, réglable au moyen de vis. La crapaudine doit baigner constamment dans l'eau pour éviter que le bois prenne feu, tout graissage est inutile et la pièce C peut durer longtemps. L'ensemble du pivot est supporté par l'arcade métallique F.

Le corps de la turbine, représenté à part (fig. 72), est calé sur l'arbre I, et les aubes *motrices* H sont boulonnées séparément sur le *porte-aubes* G. La partie verticale de l'aube est un peu concave et porte des saillies pour diriger les filets liquides à l'entrée, la partie inférieure est en cuiller. Le tout forme un aubage parfaitement rigide, dont chaque pièce peut se remplacer facilement.

Le distributeur est constitué par un aubage, dont les aubes directrices L dirigent les filets liquides vers le centre de la turbine. Une vanne circulaire K donne l'eau en la soulevant au moyen de deux crémaillères O O, logées dans des tiroirs fermés R et Q. Chaque crémaillère est commandée par un pignon P, claveté sur l'axe horizontal S, muni extérieurement

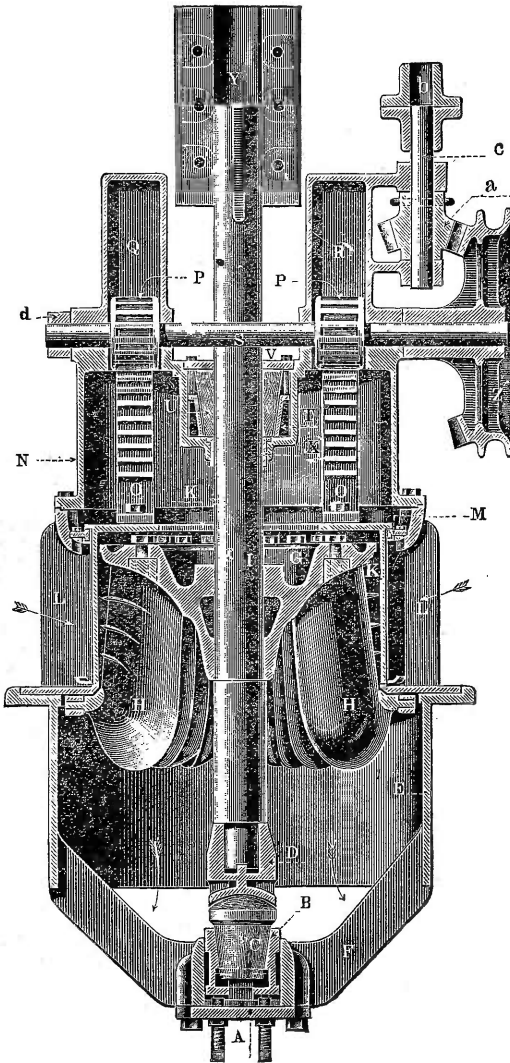


Fig. 71.— Coupe verticale de la turbine « Hercule-Progrès ».

d'une poulie à double gorge Z, engrenant avec le pignon *a* fixé à l'arbre vertical *c*. L'eau entre horizontalement et agit par sa vitesse, puis elle descend verticalement dans le bief d'aval en agissant par son poids.

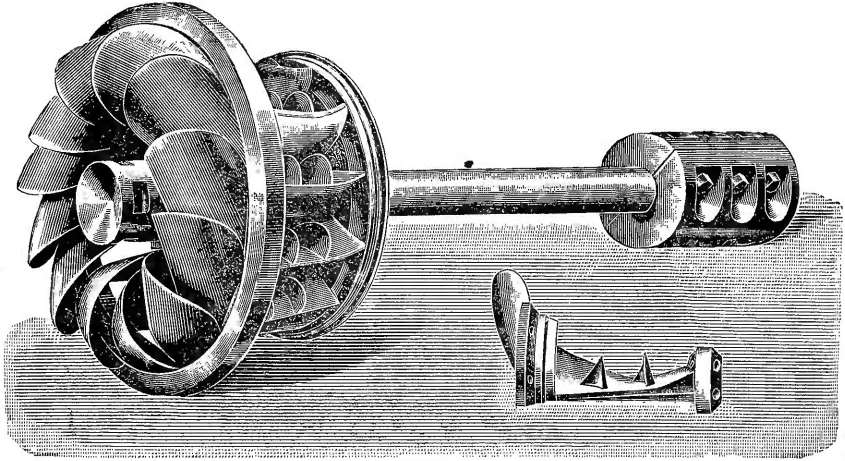


Fig. 72. — Vue d'ensemble du corps de la turbine « Hercule-Progrès ».

La partie supérieure de la turbine est hermétiquement close par une cloche N, boulonnée à la cuve E ; pour les réparations ou les visites on l'enlève.

La figure 73 montre en son ensemble la turbine telle qu'elle doit être montée dans la chambre d'eau.

Installation. — Pour les chutes ordinaires, on fait l'installation représentée par la figure 74. On construit une chambre d'eau, limitée en avant par un mur vertical et inférieurement par un plancher *f*, installé sur des fers en double T. En dessous se trouve la chambre d'aval A, par où s'échappe l'eau dans le canal de fuite. L'arbre I de la turbine est raccordé par le manchon Y à l'arbre de prolongement P se rendant à la salle des machines.

Pour mettre en marche, le mécanicien agit sur un système à manivelle K, faisant tourner l'arbre *j* et les engrenages *a* et Z, lesquels transmettent le mouvement à S, puis aux crémaillères de la cloche de distribution. L'eau s'élançe sur toute la périphérie des aubes directrices L ; un contre-poids *h*, suspendu par une chaîne *i*, passant sur une poulie de renvoi et attachée en Z, facilite les mouvements de la vanne.

Si la charge de la turbine vient à diminuer par suite de l'arrêt d'un appareil, la force centrifuge augmente à l'intérieur de la turbine et diminue l'entrée de l'eau, le contraire se passe si la charge augmente. De cette façon, la turbine « Hercule » est auto-régulatrice et n'est pas sujette à s'emporter.

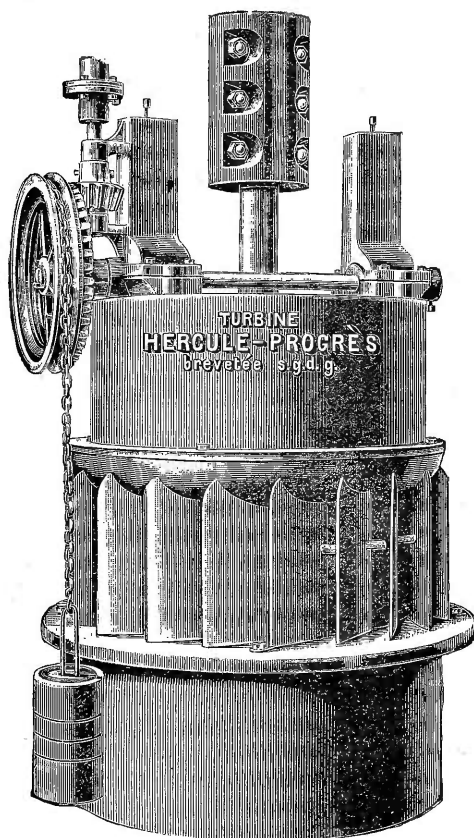


Fig. 73.— Vue d'ensemble de la turbine Singrün.

Cette machine occupe peu de place, comme on peut le voir par les chiffres suivants : le diamètre de la cuve est de 0 m. 41 à 2 m. 075 ; la hauteur au-dessus du plancher de la chambre d'eau est comprise entre 0 m. 70 à 2 m. 15. La vitesse est excessivement variable, elle est de 39 à 800 tours par minute.

Pour les installations dont la chute dépasse 0 m. 80 à 4 mètres, on ne fait plus de chambre d'eau dont les maçon-

neries deviendraient coûteuses ; on la remplace par une huچه ou bache métallique contenant l'ensemble de la turbine.

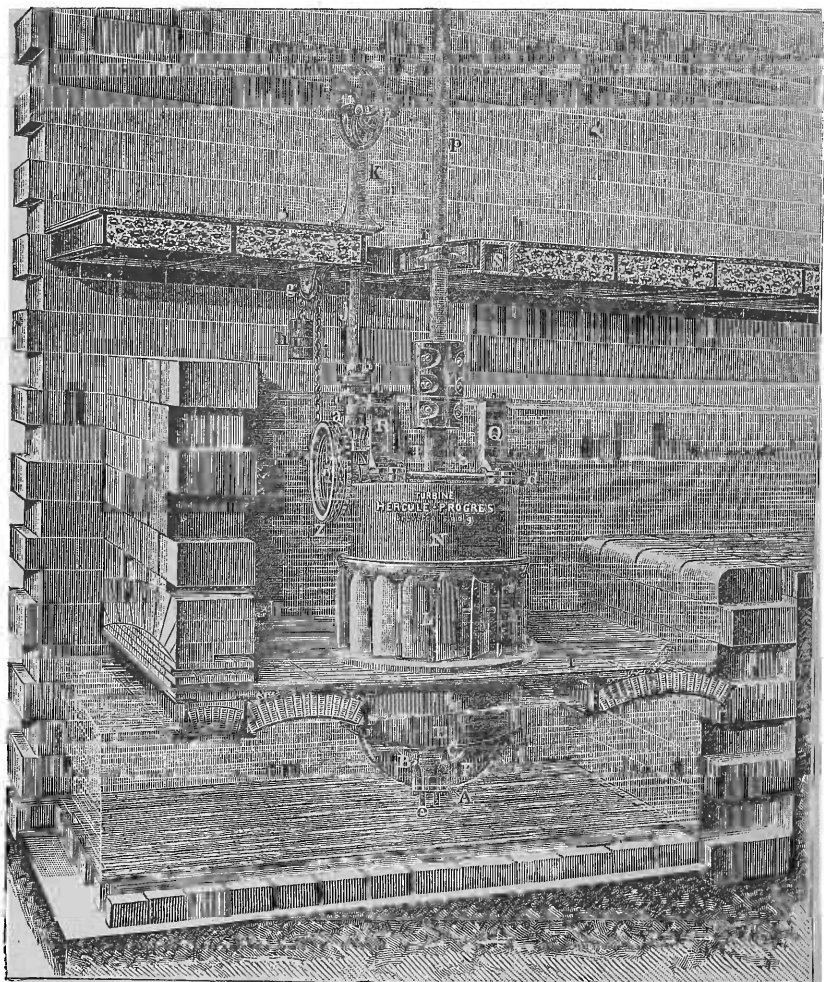


Fig. 74. — Installation d'une turbine « Hercule » dans une chambre d'eau.

Au point de vue du rendement, les résultats obtenus sont des plus satisfaisants, comme le prouvent les expériences officielles faites à la poudrière de Vonges. Pour une pleine admission, sous trois chutes de 2,185 m., 2,053 m. et 1,500 m.,

avec le frein de Prony, on a obtenu des rendements de 0,826 o/o, 0,822 o/o et 0,823 o/o. Dans d'autres installations, on

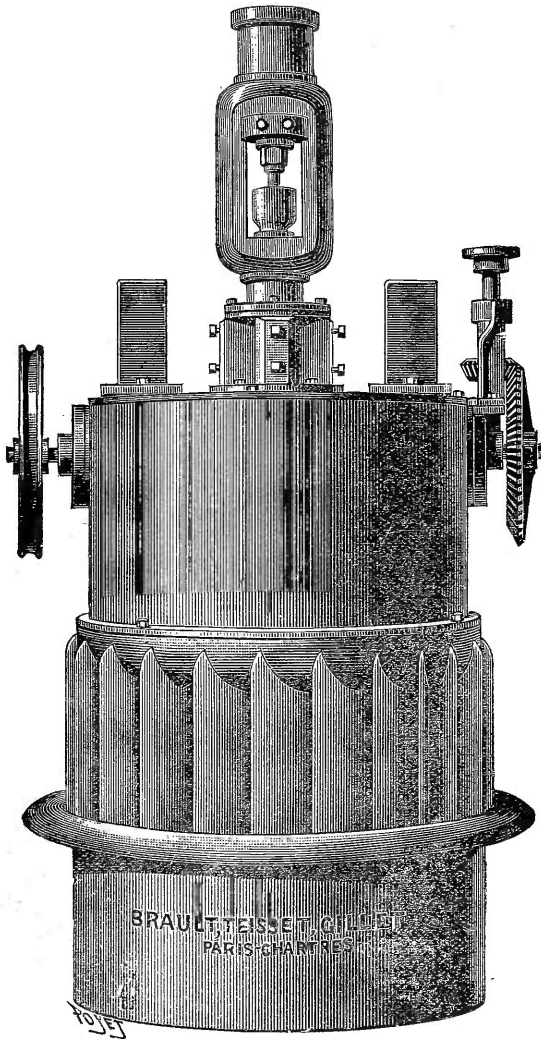


Fig. 75. — Turbine Brault, Teisset et Gillet.

est arrivé à 0,87 et 0,88 o/o. Ces chiffres indiquent suffisamment la haute valeur du récepteur qui nous occupe.

Turbine américaine Brault, Teisset et Gillet. — Cette turbine présente les mêmes dispositions que le type «Hercule», mais l'axe de la turbine au lieu de reposer inférieurement sur une crapaudine baignant dans le liquide, le pivot est reporté hors de l'eau, sur un arbre vertical du système Fontaine (fig. 75). Le réglage de la turbine est très facile et le pivot se remplace rapidement. L'aubage fixe et l'aubage mobile présentent également à peu près la même disposition que dans la turbine «Hercule».

Pour les faibles chutes ne dépassant pas 4 mètres, on installe la turbine dans une chambre d'eau en maçonnerie (fig. 76). La manivelle de mise en marche se trouve dans la chambre des machines, au-dessus d'un plancher voûté.

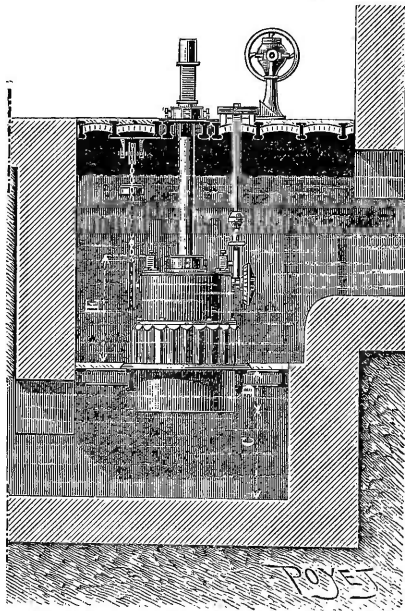


Fig. 76.— Installation d'une turbine Brault, Teisset et Gillet pour chutes de 0^m80 à 4^m.

Turbines centripètes mixtes pour hautes chutes. — Les turbines centripètes mixtes ne peuvent être placées à nu, dans des chambres d'eau, que pour des chutes relativement faibles. Pour utiliser les hautes chutes (12 à 25 mètres), on est obligé d'employer les turbines à huche. La figure 77

représente un exemple de ce système; on voit à l'extérieur une bêche ou huche en tôle, munie d'un large canal d'amenée d'eau, laquelle actionne la turbine, puis elle sort en dessous pour se rendre dans un canal de fuite.

L'eau est amenée du réservoir supérieur par une conduite en tôle, dont le diamètre doit être calculé pour donner un débit suffisant. La vitesse à donner à l'eau dans la conduite varie entre 0 m. 50 à 0 m. 80. Nous donnons (page 128) un extrait d'une table dressée par MM. Brault, Teisset et Gillet, permettant de calculer le diamètre d'une conduite d'amenée pour une turbine à huche.

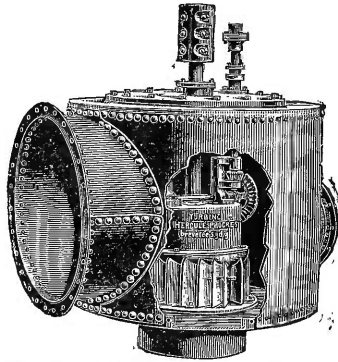


Fig. 77.— Turbine à huche Singrün.

Si, par exemple, on a une chute de 12 mètres, la vitesse d'écoulement sera de $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 12} = 1^m53$.

En admettant que l'on veuille conserver une vitesse de 0 m. 70 à l'eau, il faudra donc absorber 0 m. 93 de charge. Si la conduite a 500 m. de long, la perte de charge sera de 0,0016 par mètre; la perte de charge qui se rapproche le plus de ce chiffre dans la colonne 0 m. 70 est 0,00182, pour un débit de 87 litres et un diamètre de tuyau de 0 m. 40.

Enfin, on construit actuellement des turbines centripètes à

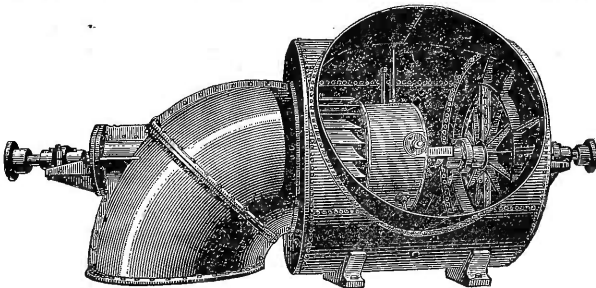


Fig. 78.— Turbine centripète mixte à axe horizontal.

axe horizontal pour la commande directe des dynamos. Mais dans ce cas, il faut disposer de chutes d'au moins 8 à 12 m. pour obtenir une vitesse de 600 tours par minute.

La figure 78 montre une turbine Brault, Teisset et Gillet à

Diamètre intérieur des tuyaux	VITESSE DE L'EAU A LA SECONDE										ÉPAISSEUR DE LA TOLE			
	0 ^m 500		0 ^m 600		0 ^m 700		0 ^m 800		4 m/m	5 m/m	6 m/m	8 m/m	Poids par mètre	
	Débit en litres	Perte de charge	Débit en litres	Perte de charge	Débit en litres	Perte de charge	Débit en litres	Perte de charge	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
0.400	62	0.00095	75	0.00135	87	0.00182	100	0.00236	50	60	70	95		
0.450	79	0.00085	95	0.00120	111	0.00162	127	0.00210	54	66	77	100		
0.500	98	0.00076	117	0.00108	137	0.00146	157	0.00189	62	72	85	115		
0.550	118	0.00069	142	0.00098	166	0.00132	190	0.00172	67	80	95	130		
0.600	141	0.00063	169	0.00090	197	0.00128	226	0.00157	73	87	103	142		
0.650	165	0.00057	198	0.00079	231	0.00104	265	0.00132	80	94	112	150		
0.700	191	0.00052	230	0.00073	268	0.00097	307	0.00122	85	102	121	161		
0.750	220	0.00049	264	0.00068	308	0.00095	353	0.00114	91	110	130	173		
0.800	250	0.00046	300	0.00064	350	0.00084	401	0.00107	98	118	139	185		

axe horizontal. La huche est installée sur des patins en fonte dans la salle des machines, et le tuyau de décharge est recourbé pour venir plonger dans l'eau d'aval. Toute la chute est utilisée, comme le démontre le principe Jonval. La dynamo est directement accouplée à l'arbre de la turbine par un joint élastique, l'ensemble est très propre. On construit également aujourd'hui des types ayant deux turbines horizontales montées sur le même arbre et dans une seule huche, elles sont appelées turbines équilibrées.

Avantages des turbines. Les turbines présentent sur les roues hydrauliques les avantages suivants : 1° elles occupent peu de place ; 2° elles marchent à une grande vitesse, ce qui évite les multiplications d'engrenages ; 3° elles marchent pendant les gelées, alors que les roues sont immobilisées ; 4° elles s'approprient à toutes les chutes et à toutes les dépenses d'eau, c'est le point le plus important.

ESSAIS DES MOTEURS HYDRAULIQUES

Pour connaître la valeur d'un moteur hydraulique, il faut en faire l'essai dynamométrique, afin de déterminer son rendement mécanique. On sait que le rendement R se calcule d'après la formule

$$R = \frac{T_u}{T_m},$$

ou rapport du travail utile au travail moteur reçu.

En ce qui concerne un moteur hydraulique, le terme T_m se calcule d'après la quantité d'eau déversée par seconde dans le moteur, soit un poids P , multiplié par la hauteur de chute H . D'où

$$\text{Travail moteur } T_m = PH.$$

Le débit se calcule d'après les formules que nous avons données dans l'écoulement de l'eau, soit par déversoir, soit par vanne.

On prend souvent pour les turbines la surface du distributeur, que l'on multiplie par le coefficient de contraction 0,85 et par la vitesse de chute.

La chute H se détermine par nivellement.

Le travail utile T_u donné par le moteur s'obtient au moyen d'un frein. Deux cas peuvent se présenter : 1° l'arbre du moteur est horizontal ; 2° l'arbre du moteur est vertical.

Pour un arbre horizontal, l'application du frein de Prony se

fait facilement, en adaptant une poulie sur laquelle repose le frein (*).

Quand l'arbre moteur est vertical, comme c'est le cas généralement dans les turbines, on peut adopter la disposition représentée par la figure 79. Sur l'axe AB, on cale une poulie R

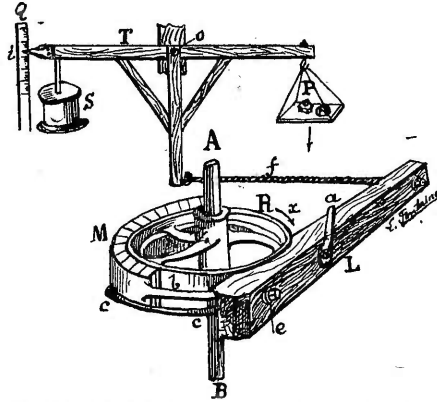


Fig. 79. — Essai au frein d'un moteur hydraulique à axe vertical.

présentant une joue inférieure *cc* pleine; le frein est posé horizontalement. La lame *M*, portant les sabots en bois, est reliée, par deux brides *b*, au levier *L*. A l'extrémité de celui-ci est attachée une corde *f*, reliée à un levier *T*, oscillant autour du point *o*. Il est muni d'un plateau que l'on charge de poids marqués *P*, l'autre extrémité porte une pointe *i* se déplaçant devant une échelle *Q*, et un frein hydraulique *S* limite les oscillations brusques.

Le frein étant en place, on admet l'eau au moteur pour pleine charge, puis on serre progressivement les écrous *e* au moyen de la clé *a*. Il se produit sur la jante de la poulie *R* un certain frottement qui entraînerait le levier *L*, suivant la flèche *x*, si on ne lui faisait équilibre en plaçant des poids dans le plateau *P*. On continue à serrer les écrous et à ajouter des poids, jusqu'au moment où le moteur hydraulique tourne à sa vitesse de régime. La pointe *i* du levier *T* doit rester à la même graduation pendant toute l'expérience; le frein hydraulique *S*, composé d'un cylindre rempli d'eau, dans lequel se meut un piston, modère les écarts de vitesse quand les charges varient.

(*) Voir les dispositions adoptées pour les essais des moteurs thermiques.

On a soin, pendant toute l'expérience, de faire couler au centre de la poulie un filet d'eau savonneuse, qui passe, sous l'action de la force centrifuge, par des trous pratiqués dans la jante; les surfaces frottantes sont ainsi refroidies. La dissolution renferme environ 10 o/o de savon noir; l'eau doit être non calcaire.

Les données qu'il faut relever sont : 1° le poids P , destiné à faire équilibre au frottement; 2° la longueur du bras de levier l sur lequel P agit, compté à partir du plan de l'axe de rotation au point d'attache de la corde f ; 3° le nombre n de tours du moteur. Le travail utilisable se détermine par la formule

$$Tu = \frac{2 \pi P l n}{60 \times 75} = x \text{ chevaux-vapeur.}$$

APPLICATION. — Dans un essai de turbine alimentée par un déversoir en mince paroi de 6 mètres de large, la lame d'eau a 0^m20 d'épaisseur, la chute a 2^m10, on a noté 95 tours au moteur, une longueur de bras de levier du frein de 2^m20, et un poids au plateau de 80 kil. (tare comprise). Trouver le rendement de la turbine?

Réponse. — Cherchons d'abord le débit du déversoir

$$Q = 0,44 \times 6 \times 0,20 \sqrt{2 \times 9,81 \times 2,20} = 1045 \text{ litres.}$$

Le travail moteur fourni est $Tm = \frac{1045 \times 2,20}{75} = 29,26$ chevaux-vapeur.

Le travail utilisable $Tu = \frac{2 \times 3,1416 \times 80 \times 2,20}{60 \times 75} = 23,33$ chevaux-vapeur.

$$\text{Le rendement mécanique } R = \frac{Tu}{Tm} = \frac{23,33}{29,26} = 0,79.$$

Nota. — On prendra toutes les précautions voulues, dans l'établissement du déversoir, pour maintenir la hauteur de l'eau constante dans le canal de fuite. La chute motrice se déterminera très exactement par nivellement, en prenant la différence de hauteur, entre les niveaux de l'eau dans le canal d'amenée et à 2 mètres en amont du seuil du déversoir dans le canal de fuite.

Projet d'installation d'un moteur hydraulique

Les eaux que l'on peut utiliser pour la mise en marche d'un moteur hydraulique peuvent provenir de lacs, d'étangs ou de réservoirs creusés à main d'homme, dans lesquels on emma-

gazine les eaux de sources ou de pluie, ou enfin, on utilise les rivières. Si l'eau n'est pas suffisante pour alimenter constamment le moteur, on est obligé de travailler par *éclusées* ; dans la période d'arrêt, l'écluse se remplit d'eau

Quand on utilise un barrage d'étang, on place une vanne d'alimentation pour le moteur, puis une deuxième vanne dite *de décharge*, pour laisser écouler l'eau lorsque le moteur est arrêté, enfin, à l'une des extrémités du barrage, on fait un *déversoir de trop-plein* pour les crues.

Si l'on utilise les eaux d'une rivière, deux cas peuvent se présenter : 1° l'eau est amenée par un canal de dérivation ; 2° l'eau est prise directement sur la rivière par un barrage.

L'emploi d'un canal de dérivation nécessite à son origine des vannes de *prise d'eau ou de garde*, qui permettent l'entrée de l'eau dans le canal, ou de l'interrompre. On ménagera la pente du canal d'amenée, pour obtenir la plus grande chute possible. A l'usine on exécutera différents travaux, que nous indiquons au troisième cas.

Si N est le canal d'amenée ou la rivière (fig. 80), au point où

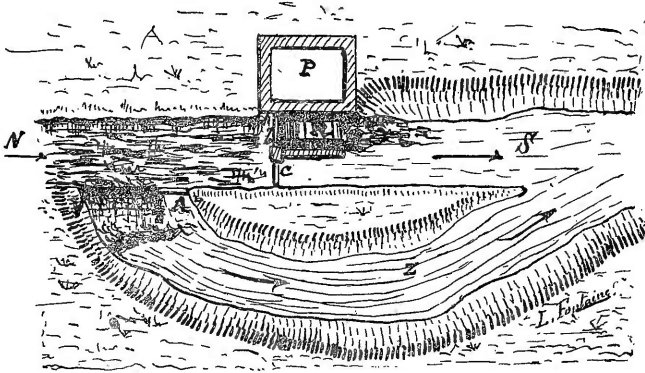


Fig. 80. — Plan d'installation d'une usine hydraulique.

l'on veut placer l'usine P, on fait un barrage pour obtenir une chute, munie de vannes. La vanne *b* sert à alimenter la roue hydraulique R ; *c* sert de vanne de décharge. Le niveau de l'eau dans le canal est maintenu constant par un déversoir en pierre V, dont l'eau s'écoule par le canal de décharge Z, rejoignant le canal de fuite S. On dispose aussi pour les crues un empellement A, quand le déversoir n'est pas suffisant.

Le règlement des eaux dans les canaux des usines est donné par la circulaire du 23 octobre 1851.

L'eau dans un canal d'usine doit être maintenue à un niveau légal indiqué par un repère tracé en creux sur une pierre.

L'usinier doit, par une manœuvre convenable de ses vanes de décharge, maintenir les eaux en temps ordinaire et les ramener autant que possible en temps de crue. La fixation du niveau légal doit être faite de manière à ne porter aucune atteinte aux droits de l'usine supérieure et à ne causer aucun dommage aux propriétés riveraines.

La circulaire ne pose aucune règle au sujet de la première condition. Pour la seconde, elle indique qu'à défaut d'usages locaux et de circonstances particulières, il est nécessaire de maintenir entre le niveau et la retenue habituelle et les parties les plus déprimées des terrains qui s'égouttent directement dans le bief une différence de niveau de 0 m. 16, en même temps que de protéger les terrains inférieurs au bief par une digue de 0 m. 30 au moins de hauteur.

L'établissement d'un moteur hydraulique nécessite une demande au préfet. Cette demande est renvoyée à la mairie de la commune, où elle subit une enquête de 20 jours, après laquelle l'ingénieur dresse le projet d'établissement, relatif au plan d'eau du canal et aux ouvrages obligatoires qu'il doit comporter. Une deuxième enquête de 15 jours est encore faite, après laquelle l'établissement est accordé, accompagné d'un règlement appelé *Police d'eau*.

Choix du moteur. — Le choix d'un moteur hydraulique est circonscrit entre la roue et la turbine. Le facteur chute, qui a une très grande importance dans l'adoption de telle ou telle roue, est tout à fait secondaire pour la turbine à partir des chutes de 0 m. 50. Pour les chutes inférieures, il faut employer la roue hydraulique. Au point de vue de la vitesse de rotation, les roues sont des moteurs lents, nécessitant des engrenages intermédiaires toujours compliqués, tandis que les turbines donnent des vitesses qui peuvent, dans les très hautes chutes, atteindre 800 à 1800 tours par minute. En examinant maintenant le coût de l'installation, la dépense pour les roues Poncelet, Sagebien, etc., est aussi élevée que pour une turbine de même force. Si l'on veut employer un moteur rustique, on aura recours aux roues en bois, de type variable suivant les chutes. En dehors de ces considérations d'ordre économique, et toutes les fois que la chute le permettra, il faudra adopter la turbine à tout autre moteur.

Pour nous résumer sur la question des moteurs hydrauliques, nous dirons que la roue Poncelet convient pour les

basses chutes de 0 m. 20 à 1 m. 75, ainsi que la roue Sagebien, qui utilise des chutes de 0 m. 50 à 3 mètres. Pour les moyennes chutes, de 4 à 7 mètres, on emploiera la roue de côté. La roue en dessus admet les chutes de 2 m. 50 à 12 mètres. Les turbines utilisent toutes les chutes à partir de 0 m. 50. Les roues Poncelet et Sagebien débitent au maximum 5000 litres par seconde ; la roue de côté 2500 ; la roue en dessus 750 ; et enfin, les turbines ont un débit indéterminé.

Au sujet de la vitesse des moteurs, voici quelques données :

Roue Poncelet, 0,55 de la vitesse d'arrivée de l'eau.

Roue de côté, 0,75 à 0,80

Roue à augets (lentes), 1 mètre à 1 m. 30 par minute.

Roue à augets (rapides), 3 mètres par minute.

Turbine Fontaine, 16, 20, 25, 36, 42, 53, 60 tours par minute.

Turbines américaines « Hercule-Progrès », 39, 50, 100, 140, 200, 240, 300, 350... 800 tours par minute.

Dans les turbines, plus le débit est petit, plus la vitesse est grande.

Applications des moteurs hydrauliques

Pendant longtemps, la vieille roue hydraulique ne fut employée qu'à faire tourner les moulins, puis l'industrie s'en empara pour produire la force motrice nécessaire à ses usines. Il faut encore constater, sur ce point, que l'agriculture ne tire guère parti de la force de l'eau, don de la nature.

Tant que l'on ne se pénétrera pas de ce grand principe, que l'agriculture est une industrie comme une autre, qu'elle doit chercher à employer un moteur plus économique que la force de l'homme ou des animaux pour produire ses denrées, on restera dans les mêmes conditions économiques de production. Quand on songe qu'un cheval-vapeur, soit 75 kilogrammètres, revient à 2 fr. 60 par heure pour l'homme, soit 26 fr. pour une journée de 10 heures, et à 6 fr. 40 pour le cheval, il n'est pas étonnant que la production agricole soit grevée de frais généraux considérables. La plus petite amélioration mécanique, apporterait donc des changements énormes, et ce n'est qu'à cette seule condition que l'on pourra parler de progrès agricoles notables. Les engrais chimiques, employés sur une grande échelle actuellement, ont bien donné un surcroît de production, mais ils n'ont pas touché au facteur main-d'œuvre.

Quel moteur aussi puissant et aussi économique peut-on employer autre que l'eau ? il n'en existe évidemment pas.

L'eau qui descend des cours-d'eau est donc une richesse per-

due, que l'on pourrait utiliser pour nos cultures, soit comme travail mécanique, soit comme moteur pour actionner des pompes pour les irrigations, soit pour la production de l'électricité. Mais surgit le grand problème du transport de cette force, car généralement les fermes sont à une certaine distance des cours d'eau. Heureusement que les découvertes de la science permettent de faire ce transport, en transformant l'énergie mécanique de l'eau en énergie électrique, se déplaçant facilement par un fil conducteur. Nous étudions des cas très intéressants à la fin de cet ouvrage, cas qui pourront se multiplier à l'infini. Là se trouve la richesse et l'avenir de notre agriculture.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGES
Historique de l'emploi de l'eau comme moteur	1
Importance des moteurs hydrauliques en agriculture.....	2

STATIQUE DES FLUIDES

Constitution des fluides	3
Fluides parfaits et viscosité	3
Division de l'étude mécanique des fluides.....	4

HYDRAULIQUE

Hypothèses admises en hydraulique.....	4
--	---

HYDROSTATIQUE

Principes fondamentaux sur l'équilibre des fluides.....	4
Equilibre d'un fluide soumis à la seule action de la pesanteur....	5
Pression sur les parois et le fond des vases	6
Problème sur les vannes.....	7
Centre de pression	8
Détermination géométrique du centre de pression	8
Vases communicants.. ..	8
Equilibre des corps plongés et des corps flottants.....	9

HYDRODYNAMIQUE

Hypothèse du régime permanent	9
Hypothèse du parallélisme des tranches	9
Hypothèse de la variation de pression dans une masse liquide en mouvement.....	10
Calcul de la vitesse d'écoulement d'un liquide.....	10
Détermination du travail de l'eau en mouvement.....	10
Exemples.....	11
Hauteur de charge et plan de charge.....	12

Pertes de charge	12
Théorème de Bernouilli.....	12
Représentation graphique du théorème de Bernouilli.....	14

DIVERS MODES D'ÉCOULEMENT DES FLUIDES

Débit d'un écoulement.....	15
Facteurs modifiant le débit d'un écoulement.....	15
1° Pertes de charge.....	16
2° Diminution de la section d'écoulement.....	17
Contraction complète de la veine liquide.....	17
Contraction incomplète de la veine liquide.— Formule de Bidone.	18
Ajutages.....	18
Écoulement en mince paroi.....	18
Exemple.....	19
Écoulement par ajutages.....	19
Écoulement par ajutage cylindrique.....	19
Expérience de Venturi.....	20
Détermination de la vitesse d'écoulement et de la pression.....	20
Calcul de la perte de charge dans un ajutage cylindrique... ..	22
Écoulement par un ajutage conique divergent.....	22
Écoulement par un ajutage conique convergent.....	23
Écoulement par un orifice suivi d'un réservoir ou d'un canal.....	23
Exemple.....	24
Écoulement par déversoirs.....	25
Déversoir à large seuil.....	25
Déversoir en mince paroi.....	26
Détermination de la charge dans les déversoirs ordinaires.....	26
Déversoir en mince paroi noyé	27
Écoulement de l'eau dans les canaux découverts.....	27
Résistances qui retardent le mouvement de l'eau dans les canaux.	28
Inégalité de vitesse des divers filets liquides dans un canal.....	29
Vitesse moyenne.....	30
Expression de la résistance à l'écoulement des liquides.....	30
Formule pratique fondamentale.....	30
Formule de Prony et de Saint-Venant.....	31
Formule d'Eytelwein.....	32
Formule de Darcy et de Bazin.....	32
Formule de Tadini	32
Vitesses de l'eau à adopter pour le fond des canaux.....	33
Tables calculées des valeurs de $\frac{Rl}{u^2}$	34
Pente des canaux.....	37
Profil des canaux.....	37
Hauteur de l'eau dans un canal.....	38
Calcul des dimensions à donner à un canal d'un débit déterminé.	38
1 ^{er} Problème. — Recherche du débit.....	39
2 ^o Problème. — Recherche de la pente.....	40
3 ^o Problème. — Recherche de la section.....	41
Écoulement de l'eau dans les tuyaux.....	42

Débit théorique et débit pratique d'un tuyau..	42
Perte de charge totale par mètre.....	43
Évaluation du frottement dans les tuyaux.	44
Formule pratique de Prony	44
Applications de la formule de Prony.....	45
1° Recherche du débit d'un tuyau.....	45
Table calculée d'après la formule de Prony, relative à l'établissement des tuyaux de conduite d'eau	46
2° Recherche du diamètre d'un tuyau pour un débit donné..	47
Remarque	47
Formule de Darcy	48
Applications de la formule de Darcy.....	49
1 ^{er} Problème. — Recherche du débit d'un tuyau.....	49
2° Problème. — Recherche du diamètre d'un tuyau.....	50
3° Problème. — Recherche de la perte de charge totale par mètre.....	50
Vitesses limites de l'eau dans les tuyaux	50
Importance des pertes de charge dans l'établissement d'une conduite au point de vue du travail mécanique absorbé.....	51
Problème général d'une distribution d'eau.....	52
Des conduites en général et leur installation.....	54
Division des conduites.....	55
Calcul de l'épaisseur à donner à une conduite.....	55
Conduites en fonte.....	55
Joints	56
Joint Petit.....	57
Tuyaux en fer étiré.....	58
Tuyaux en tôle	58
Tuyaux en cuivre.....	58
Tuyaux en plomb.....	58
Tuyaux en grès vernissé	59
Tuyaux en ciment.....	60
Robinerie d'une conduite.....	60
Tracé, pose et essai d'une conduite.....	60

CALCUL DE LA FORCE MOTRICE D'UN COURS D'EAU

Force absolue.	61
Jaugeage d'un cours d'eau.....	61
Détermination de la section d'un cours d'eau.....	61
Détermination de la vitesse.....	62
Formules de Prony et de Bazin	63
Méthode des flotteurs.....	63
Méthode du moulinet de Woltmann.....	64
Méthode des tubes	66
Tube de Pitot.....	66
Tube de Pitot-Darcy	66
Hydrotachymètre de Ritter.....	69
Méthode de jaugeage par déversoir..	70
Méthode de jaugeage par vanne.....	71

Détermination de la chute dans un barrage ou dans une conduite forcée.....	72
Calcul de la force absolue d'un cours d'eau.....	73
Utilité d'une chute.....	73
Comparaison du travail fourni par un déversoir ou par une vanne.....	74

MOTEURS HYDRAULIQUES

Définition d'un récepteur hydraulique.....	74
Équation générale du travail dans les récepteurs hydrauliques...	75
Classification des moteurs hydrauliques.....	76

A. — ROUES HYDRAULIQUES

Classification des roues hydrauliques.....	76
<i>a. Roues en dessous</i>	76
Roue à palettes planes.....	76
Problème sur l'installation d'une roue à palettes planes.....	80
Roue à aubes courbes de Poncelet.....	81
Calcul du choc de l'eau à l'entrée de la roue.....	83
Tracé du coursier.....	84
Problème sur l'installation d'une roue Poncelet.....	85
<i>b. Roues pendantes</i>	86
Théorie des roues pendantes.....	87
<i>c. Roues de côté</i>	89
Théorie de la roue de côté.....	90
Problème sur l'installation d'une roue de côté.....	93
Roue Sagebien.....	94
Théorie de la roue Sagebien.....	94
<i>d. Roues en dessus ou à augets</i>	96
Théorie de la roue à augets.....	97
Dimensions et formes des augets.....	98
Problème sur l'installation d'une roue en dessus.....	100
<i>e. Roues à réaction</i>	101
Roue à cuillers.....	101
Roue à cuve.....	101
Roues Pelton.....	102
Turbine Schabaver.....	103
Installations de roues Pelton.....	104

B. — TURBINES HYDRAULIQUES

Historique des turbines.....	105
Principe d'une turbine.....	105
Classification des turbines.....	105
<i>1° Turbines parallèles</i>	105
Turbine Fontaine.....	106
Théorie et formule du travail dans une turbine Fontaine.....	108

Profil des aubes et rendement.....	110
Turbines Fontaine pour moyennes et hautes chutes.....	112
Turbine Schabaver pour chutes ordinaires.....	112
Turbine Schabaver pour hautes chutes... ..	114
Turbine Jonval-Kœcklin	116
Turbines hydropneumatiques de Callon et Girard.....	118
2° Turbines radiales	118
Turbine Fourneyron.....	118
Turbine centrifuge à axé horizontal	119
Turbine «Hercule-Progress Singrün	120
Installation d'une turbine «Hercule».....	122
Turbine américaine de Brault, Teisset et Gillet.....	125
Turbines centripètes mixtes pour hautes chutes.. ..	126
Table servant au calcul des conduites pour l'alimentation d'eau des turbines	128
Avantages des turbines.....	129

ESSAIS DES MOTEURS HYDRAULIQUES

Rendement d'un moteur hydraulique	129
Frein de Prony employé	130
Application.....	131

PROJET D'INSTALLATION D'UN MOTEUR HYDRAULIQUE

Conditions générales d'installation	131
Circulaire du 23 octobre 1851.....	132
Choix du moteur hydraulique	133
Applications des moteurs hydrauliques.....	134

FIN DE LA TABLE

L'ÉLECTRICITÉ

EN AGRICULTURE

NOUVEAU TRAITÉ DE MÉCANIQUE AGRICOLE

VI

L'ÉLECTRICITÉ

EN AGRICULTURE

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES — DYNAMOS A COURANTS
CONTINUS ET ALTERNATIFS

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES — APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

PAR

L. FONTAINE

PROFESSEUR A L'ÉCOLE PRATIQUE D'AGRICULTURE DES FAURELLES

AVEC 127 FIGURES DANS LE TEXTE

MONTPELLIER
COULET ET FILS, ÉDITEURS
5, Grand'Rue, 5

PARIS
MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS
120, boulevard Saint-Germain

1901

NOUVEAU TRAITÉ DE MÉCANIQUE AGRICOLE

L'ÉLECTRICITÉ

EN AGRICULTURE

HISTORIQUE

La quantité d'énergie électrique répandue dans la nature est considérable, elle est produite par différentes causes.

Sa production industrielle se fait par des machines spéciales, transformant en énergie électrique le travail fourni par un combustible, par l'eau, par le vent, etc.

La connaissance de cette force remonte à une haute antiquité. Thalès de Milet, six cents ans avant Jésus-Christ, autant qu'il est permis de le préciser, observait qu'en frottant de l'ambre, celui-ci pouvait attirer les corps légers. Au XVI^e siècle, Gilbert constatait que d'autres matières, telles que le verre, la résine, la soie, etc., jouissaient de la même propriété que l'ambre. En 1733, le physicien français Dufay constate, au moyen du pendule électrique, l'électricité vitrée ou positive et l'électricité résineuse ou négative.

Otto de Guericke invente la première machine électrique constituée par une sphère de soufre montée sur un axe rotatif, puis vint la machine à plateau de verre.

Durant vingt-trois siècles, on ne connut que l'électricité statique, elle ne donnait lieu à aucune application. Les Italiens Galvani, en 1790, et Volta, en 1800, découvrirent l'électricité dynamique qui ouvrit une ère nouvelle, de laquelle sortit l'invention de la pile.

La voie était tracée, aussi les découvertes se succèdent. Citons celles d'Erstedt sur l'électro-magnétisme, d'Ampère et de Faraday sur l'induction. La connaissance des lois fondamentales de l'électricité conduisit Pixii, Clarke, Siemens, Wheatstone, Gramme, à la construction des machines magnéto-électriques.

Là ne devaient pas se borner les efforts des inventeurs; Ladd, en appliquant le principe du pont de Wheatstone dans la machine de Wilde, construisit la première dynamo-électrique pouvant se passer d'un aimant comme excitateur; la machine s'excitait elle-même en empruntant une partie du courant produit. Les machines auto-excitatrices étaient découvertes.

Le transport de l'électricité à distance, par canalisation aérienne, basée sur la réversibilité des machines, vint couronner les travaux des chercheurs.

Si l'industrie utilise dans une très large mesure, dans ses usines, l'énergie électrique pour la mise en marche de ses machines, si les villes s'éclairent à bon marché, il faut reconnaître que l'agriculture est très arriérée dans l'emploi de cette force. « L'électricité, dit M. Henri de Graffigny, convenablement employée, peut rendre de nombreux et excellents services dans toutes les circonstances de la vie usuelle, et l'agriculture peut et doit mettre cette énergie à contribution, d'autant plus qu'elle a des facilités toutes spéciales pour la produire à bon marché, ayant toutes les forces naturelles à sa disposition. Si les cultivateurs et les fermiers *savaient*, ils utiliseraient immédiatement cette force gratuite qu'ils peuvent obtenir et développer avec des appareils peu compliqués ».

Nous le répétons, l'agriculture ne deviendra prospère qu'autant qu'elle produira le maximum de denrées avec le minimum de dépenses. Les forces motrices constituent l'arme la plus puissante qu'elle puisse avoir en main. Mais pour en tirer parti, il faut des hommes intelligents sachant se mettre à la tête du progrès et qui puissent en comprendre toute l'étendue, pour en concevoir les avantages immenses que notre richesse nationale peut en retirer. C'est aux propriétaires amis du progrès, aux élèves de nos écoles d'agriculture que nous faisons appel, dans le but de placer notre chère France à la tête de l'agriculture du monde entier!

Définition de l'électricité. — L'électricité est un fluide impondérable qui peut être en repos à la surface des corps (électricité statique), ou en mouvement dans ces corps (électricité dynamique). De là deux sortes d'électricité : 1° *Electricité statique ou en repos* ; 2° *Electricité dynamique ou en mouvement*. Dans les deux cas, ce fluide a une certaine tension ou pression.

L'électricité serait, d'après les données actuelles de la science, engendrée par le déplacement d'un fluide éthéré ; elle serait absorbée par les corps. En résumé, l'électricité n'est qu'une modalité de la chaleur.

Production de l'électricité. — Pour produire l'électricité, on a plusieurs moyens en employant des générateurs.

En premier lieu, on a le frottement comme dans la machine de Ramsden, employée pour les démonstrations dans les cours ; deuxièmement, on a les actions chimiques comme dans les piles et les accumulateurs ; troisièmement, on a la chaleur portée à une très haute température comme dans la machine d'Armstrong ; enfin on a les machines d'industrie où l'électricité est développée par influence et par la transformation d'un certain travail en *énergie électrique*. C'est grâce à la belle découverte de Faraday, en 1831, des courants d'induction qu'on a pu obtenir en grande quantité l'électricité et l'appliquer à la production de la lumière et du travail.

Pour ce qui nous occupe, le frottement, qui donne de l'électricité au moyen de l'électrophore de Volta ou avec la machine de Ramsden, ne peut nous être d'aucune utilité pour l'agriculture. Nous trouverons des applications des actions chimiques avec les accumulateurs, qui sont d'une grande importance dans certains cas. Mais c'est surtout aux phénomènes d'induction qu'on a recours aujourd'hui pour produire l'électricité. Toutes les machines dynamo-électriques sont construites d'après cette base.

Comme nous le verrons plus loin, pour déterminer des courants d'induction dans les fils des dynamos, il faut les rapprocher et les éloigner successivement.

On a donc été conduit à en rendre un mobile, en dépensant du travail donné par la chaleur, l'eau et le vent.

Les moteurs à vapeur et à pétrole ont surtout leur importance dans la production de l'électricité destinée à l'éclairage, et quand on ne peut employer aucun autre moteur.

L'eau, au contraire, est un moteur de premier ordre qu'on devra utiliser partout où se trouveront à proximité de la ferme un ruisseau, un lac, un torrent, en un mot un cours d'eau quelconque.

Les régions en plaine, où les cours d'eau sont rares, pourront utiliser le vent à la mise en marche des dynamos. Les Américains emploient, à cet effet, beaucoup de moulins à vent, d'une installation simple et économique.

Donc, comme principe général, on devra surtout s'efforcer à employer, dans la production de l'électricité, les moteurs naturels qui donnent une force absolument gratuite.

Electricité statique et électricité dynamique. — Nous avons vu qu'il y avait deux sortes d'électricité :

1° L'électricité statique à l'état de repos à la surface des corps ;

2° L'électricité dynamique ou en mouvement dans le corps.

L'électricité statique est produite par des machines électriques, basée soit sur les frottement, soit sur l'influence ; elle ne donne aucune application industrielle.

L'électricité dynamique est produite par des piles ou par des machines dynamo-électriques, appelées générateurs d'électricité, ou machines électrogènes.

La présente étude ne comportera donc que de l'électricité dynamique, celle qui nous intéresse au point de vue agricole.

Avant d'aborder le perfectionnement de la machine dynamo, nous devons procéder par l'étude des courants électriques, des électro-aimants et des lois qui les régissent. Avec l'ordre de graduation que nous avons adopté, et par les nombreux problèmes résolus dans cette partie, le lecteur pourra arriver à bien saisir la question qui nous occupe.

UNITÉS ÉLECTRIQUES

L'électricité se mesure au moyen d'unités dites *électriques*, que les débutants feront bien d'étudier soigneusement s'ils veulent comprendre dans la suite le langage souvent ardu de l'électro-dynamisme. On doit donc se familiariser avec l'A B C D de l'électricien.

Le système d'unités adopté au congrès international des électriciens, réunis à Paris en 1882, en 1884 et 1889, est appelé système «centimètre-gramme-seconde», ou par abréviation, système C. G. S., dans lequel :

Le centimètre représente l'unité de longueur.

Le gramme représente l'unité de masse.

La seconde représente l'unité de temps.

Ces unités sont dites fondamentales.

A. — UNITÉS DÉRIVÉES

Surface. — L'unité de surface est le centimètre carré.

Volume. — Le centimètre cube est l'unité de volume.

Vitesse. — L'unité de vitesse est la vitesse d'un corps qui parcourt un centimètre par seconde.

Accélération. — L'unité d'accélération est celle qui imprime à un corps l'unité de vitesse dans l'unité de temps, ou une accélération d'un centimètre par seconde.

La *pesanteur* g , à Paris, communique une accélération de 981 centimètres par seconde. A Greenwich, $g = 981,1$. A l'Équateur, $g = 978,1$. Au Pôle Nord, $g = 983,1$.

Force. — L'unité de force électrique est la force qui, agissant pendant une seconde sur une masse-gramme (1 gr.), lui imprime une vitesse de 1 centimètre par seconde ; on l'appelle *dyne*.

Travail. — L'unité de travail est l'*erg*, qui est égal à l'unité de force multipliée par l'unité de longueur, ou $1 \text{ erg} = 1 \text{ dyne} \times 1 \text{ c. m.}$

Énergie. — L'*erg* est également l'unité d'énergie, puisque l'énergie d'un corps se mesure par le travail qu'il peut produire (1).

Chaleur. — L'unité de chaleur est la *calorie*, ou quantité de chaleur nécessaire pour élever de un degré centigrade la température de 1 kgr d'eau. La production d'une calorie exige une dépense de travail de 425 kilogrammètres, et réciproquement, une calorie produit un travail de 425 kilogrammètres.

Problèmes

1° Quelle force en dynes faut-il opposer à la pesanteur agissant sur 1 gramme de matière ?

Réponse. — Une dyne produit une accélération de 1 c. m. par seconde, la pesanteur au contraire produit une accélération de 981 c. m. Donc $\frac{981}{1} = 981$ dynes.

(1) Nous rappelons au lecteur la différence qui existe entre *travail* et *énergie*. On entend par travail le produit d'une force par l'espace parcouru. L'énergie est la propriété que possède un corps de produire du travail. L'énergie peut être en dépense, on la dit *actuelle* ou *visuelle*; elle peut être en *réserve* ou en *potentiel*.

2° Quel travail produisent 1000 dynes en déplaçant un corps de 4 c. m. par seconde ?

Réponse. — $1000 \times 4 = 4000$ ergs.

3° Exprimer en ergs le travail de 400 grammes-centimètres ?

Réponse. — Une masse de 1 gramme produit un travail de 981 ergs, d'où $981 \times 400 = 392,400$ ergs, soit 0,392 mégaerg. Le mégaerg vaut 1 million de ergs.

4° Trouver en ergs et en joules le travail de : 1° 1 mètre-gramme ; 2° 1 mètre-kilogramme ; 3° 400 mètres-grammes ; 4° 5 mètres-kilogrammes ?

Réponse. — On a :

1° 1 mgr = 100 centimètres-grammes = $981 \text{ ergs} \times 100 \text{ cm} = 98100 \text{ ergs} = 0,00981 \text{ joule}$.

2° 1 mkg = $100 \text{ cm} \times 1000 \text{ gr} = 100000 \text{ cmgr} = 981 \times 100000 = 981,000,000 \text{ ergs} = 98,1 \text{ mégaergs} = 9,81 \text{ joules}$.

3° 400 mgr = $400 \times 100 \text{ cm} \times 981 = 39,240,000 \text{ ergs} = 39,24 \text{ mégaergs}$.

4° 5 mkg = $5 \times 100 \text{ cm} \times 1000 \text{ gr} \times 981 = 490,500,000 \text{ ergs} = 490,5 \text{ mégaergs} = 49,05 \text{ joules}$.

5° Exprimer le travail d'un kilogrammètre en ergs ?

Réponse. — D'après sa définition, le kilogrammètre est égal au produit d'une force de 1 kilogr. ou 1000 gr., multipliée par l'espace parcouru dans une seconde 1 mètre ou 100 centimètres. D'autre part, 1 gr. vaut 981 dynes, on a donc $\text{kgm} = 1000 \times 100 \times 981 = 981,000,000 \text{ ergs}$.

6° Étant donné que 425 kilogrammètres produisent 1 calorie de chaleur, quel est l'équivalent d'un erg en calories-grammes et en calories-kilogrammes ?

Réponse. — 1 mètre-kilogramme = $981,000,000$ ou 981×10^5 ergs ; 425 mètres-kgr = $425 \times 981 \times 10^5$ ergs, lesquels produisent 1 calorie-kg ; 1 erg produira donc une quantité de

chaleur = $\frac{1}{425 \times 981 \times 10^5} \text{ cal.-kg} = 24 \times 10^{-12} \text{ cal.-kg}$;

d'autre part, la calorie-gramme étant la millième partie de la cal.-kg, 1 erg = $1000 \times 24 \times 10^{-12} \text{ cal.-gr.} = 24 \times 10^{-9} \text{ cal.-gr.}$

7° Quel est le travail d'une calorie-gramme ?

Réponse. — Dans le numéro précédent on a : 1 cal.-gr. = $\frac{10^9}{24} \text{ ergs} = 0,418 \times 10^8 \text{ unités} = 4,18 \text{ joules}$.

Emploi de l'exposant. — En électricité, on a souvent besoin d'exprimer des quantités très grandes ou très petites, demandant beaucoup de chiffres. On a adopté un système particulier

de notation, dans lequel les chiffres significatifs sont seuls posés, les chiffres extrêmes sont indiqués en exposant placé à la droite, avec les signes + ou —.

Ainsi, $100,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$. On peut écrire cette quantité sous la forme 10^4 . La quantité 760,000 donne 76^4 .

Quand on veut exprimer des quantités fractionnaires, l'exposant est négatif. Ainsi, $\frac{1}{100} = 0,01 = 1 : 10 : 10 = 10^{-2}$.

De même, le nombre décimal 0,00045 s'écrira : 45×10^{-5} , car $45 \times 0,00001 = 0,00045$

Par ces exemples, on se familiarisera vite avec la notation des problèmes précédents.

B. — UNITÉS MAGNÉTIQUES

L'*unité de magnétisme* est la quantité de magnétisme qui agit sur une égale quantité placée à 1 centimètre de distance, avec une force de 1 dyne.

L'*unité de moment magnétique* est le moment d'un aimant dont les pôles renferment l'unité de magnétisme et sont placés à 1 centimètre de distance.

L'*unité de champ magnétique* est le champ magnétique dans lequel l'unité de magnétisme est soumis à la force de 1 dyne.

C. — UNITÉS ÉLECTRIQUES

1° Dans le système des unités électrostatiques (U. E. S.).—

L'*unité de quantité d'électricité* est la quantité d'électricité qui agit sur une quantité égale placée à 1 centimètre de distance, avec la force de 1 dyne.

L'*unité de potentiel* est le potentiel donné par l'unité de quantité d'électricité à la distance de 1 centimètre.

L'*unité de capacité* est la capacité d'un condensateur dont les armatures seraient chargées chacune de l'unité d'électricité pour une différence de potentiel égale à l'unité.

2° Dans le système des unités électromagnétiques (U. E. M.). —

L'*unité de quantité d'électricité* est la quantité d'électricité qui traverse en une seconde une section d'un conducteur parcouru par l'unité de courant.

L'*unité de courant* est l'intensité d'un courant qui, décrivant un arc de cercle de 1 centimètre de rayon, est tel qu'un tronçon d'une longueur de 1 centimètre agit avec une force de 1 dyne sur l'unité de magnétisme placé au centre.

L'*unité de potentiel* ou l'*unité de force électromotrice* est celle qui communique l'unité d'énergie à l'unité de quantité d'électricité. Il s'ensuit que l'unité de différence de potentiel entre deux points exige un travail de 1 erg, pour amener une unité d'électricité positive d'un point à l'autre.

L'*unité de résistance* est la résistance d'un conducteur dans lequel un travail de 1 erg se transforme en chaleur dans une seconde.

L'*unité de capacité* est la capacité d'un condensateur dont les armatures exigeraient, pour être chargées d'une unité d'électricité, une différence de potentiel égale à l'unité.

L'*unité d'induction* est l'induction nécessaire pour obtenir une force électromotrice d'une unité quand on fait varier le courant à raison d'une unité de courant par seconde.

D. — UNITÉS PRATIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ

Les unités absolues que nous venons d'étudier ne sont pas commodes à appliquer dans les calculs, les unes sont trop petites, les autres trop grandes. On a été obligé d'adopter en électricité, comme dans notre système métrique, des unités de mesure dites pratiques et des étalons. Ce sont :

1° Résistance R. — L'OHM, du nom du célèbre mathématicien Ohm d'Erlangen, est l'unité pratique de résistance ; il est égal à 10^9 U. E. M. de résistance, soit 1 milliard. C'est à peu près la résistance d'un fil de cuivre pur de 1 millimètre de diamètre, et 48 m. de long, ou encore celle d'un fil de fer de 4 millimètres de diamètre et 100 m. de long. On représente cette unité par la lettre R.

L'ohm légal est représenté par une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 106 cm. de longueur, à la température de zéro degré.

2° Force électromotrice E. — LE VOLT. — L'unité pratique de force électromotrice est le volt (du nom du physicien Volta, inventeur de la pile) ; il est égal à 10^8 U. E. M. de force électromotrice. Autrement dit, c'est la f. é. m. qui, appliquée sur un ohm, y produira un courant de 1 ampère.

3° Intensité du courant. — L'AMPÈRE I. — L'ampère (du nom du physicien français), c'est l'unité pratique de courant ou d'intensité ; il se représente par la lettre I et est égal à 10^{-1} U. E. M. d'intensité, soit 0,1. On peut encore le définir comme il suit : la quantité d'électricité qui traverse un circuit d'un ohm de résistance sous l'influence d'une différence de

potentiel de 1 volt. L'ampère s'entend par seconde, c'est pourquoi on a créé le terme d'*ampère-heure*, correspondant à la quantité d'électricité dans un circuit pendant une heure. Comme il y a 3.600 secondes dans une heure, l'ampère-heure équivaut donc à une quantité de 3.600 coulombs.

4° Quantité ou débit. — COULOMB Q. — Le coulomb est l'unité pratique de quantité d'électricité, il est égal à 10^{-4} U. E. M. de quantité, soit 0,1. Un ampère transporte un coulomb par seconde (1).

5° Capacité. — LE FARAD C. — Le farad (du nom de Faraday) est l'unité pratique de capacité; il est égal à 10^{-9} U. E. M. de capacité, soit mille millions de fois plus petit que l'unité. C'est encore la capacité d'un condensateur qu'un coulomb charge à une différence de potentiel égale à 1 volt. Le farad est encore trop grand pour les capacités que l'on a à évaluer et on ne fait usage, en réalité, que du *microfarad* qui est la millionième partie du farad.

Les unités pratiques ont en outre des multiples et des sous-multiples que nous indiquons dans un tableau ci-dessous.

NATURE des quantités à mesurer	SYMBOLE	NOM de l'unité pratique	UNITÉS U. E. M. par unité pratique	MULTIPLES	SOUS-MULTIPLES
Force électromotrice	E	Volt	10^8	Déca 10	Micro $\frac{1}{1.000.000}$
Résistance	R	Ohm	10^9	Hecto 100	Milli $\frac{1}{1.000}$
Intensité	I	Ampère	10^{-4}	Kilo 1.000	Centi $\frac{1}{100}$
Quantité.....	Q	Coulomb	10^{-4}	Myria 10.000	Déci $\frac{1}{10}$
Capacité.....	C	Farad	10^{-9}	Méga 1.000 000	

(1) Pour bien comprendre la différence de l'*ampère* et du *coulomb*, il faut se reporter à ce que vaut le litre et le mètre cube dans notre système métrique. Les ampères représenteraient les litres, et les coulombs les mètres cubes dans un temps donné.

On dira dans le langage : un *hectowatt*, un *kilowatt* (100, 1000 watts), un *mégohm* (un million d'ohms), un *microfarad* (un millionième de farad), un *milliampère* (un millième d'ampère), etc.

ÉTUDE DU COURANT ÉLECTRIQUE

L'électricité que produit un générateur peut se transporter au moyen de fils métalliques qu'on appelle conducteurs, ce déplacement constitue le courant électrique. L'électricité peut donc se canaliser de la même façon que l'eau, c'est grâce à cette facilité qu'on a pu réaliser les applications de toute sorte dans l'industrie. L'étude des courants est donc la base fondamentale de l'électricité dynamique.

Prenons une pile comme exemple de générateur (fig. 1).

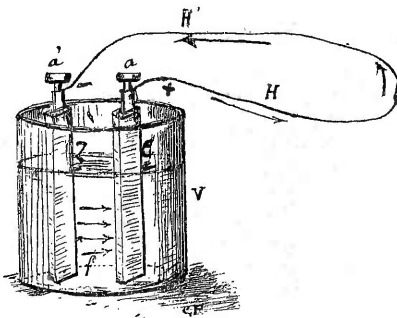


Fig. 1. — Générateur d'électricité. Pile.

Elle se compose d'un vase V, contenant de l'eau acidulée par l'acide sulfurique ou par tout autre acide oxydant; dans laquelle baignent une plaque de zinc amalgamé z et une lame de cuivre c, ces deux pièces constituent un élément voltaïque pouvant produire une certaine quantité d'électricité.

Sur z et c sont fixées 2 bornes a a' ou prises de courant, auxquelles on attache deux fils de cuivre H et H', appelés conducteurs ou réophores.

Théorie du fonctionnement. — Dans la pile, la production de l'électricité provient d'actions chimiques. En supposant les conducteurs réunis, le zinc sera attaqué par l'acide sulfurique suivant la réaction :



Le zinc peut être considéré comme un combustible et l'acide comme un comburant. L'eau est décomposée, l'oxygène se combine au zinc sous l'action de l'acide et forme du sulfate de zinc qui se dissout. L'hydrogène mis en liberté se rend au cuivre.

L'électricité dégagée par le zinc est lancée sur la plaque de

cuivre par une différence de potentiel, déterminée par la loi du contact de Volta. En effet, la lame de zinc est à un potentiel plus élevé de 1,86 volts que le milieu oxydant dans lequel elle se trouve, tandis que le cuivre n'est à un potentiel que de 0,81 volt. Il y a donc une différence de potentiel de 1,05 volt entre le zinc et le cuivre, qui détermine le transport de l'électricité de l'*anode z* à la *cathode c*. Le cuivre représente donc le pôle positif ou électrode positive, tandis que le zinc représente le pôle négatif ou l'électrode négative.

Circuit électrique. L'électricité accumulée au pôle positif s'introduit dans le circuit HH' et le parcourt pour aboutir au pôle négatif. L'écoulement du flux électrique se fait, comme nous l'avons vu plus haut, du potentiel le plus élevé au potentiel le plus bas; le courant tend constamment à rétablir l'équilibre entre les deux potentiels. Mais comme la source (pile ou dynamo) ajoute de nouvelles quantités d'électricité en circulation, cet équilibre ne peut se faire.

On peut aussi comparer une distribution électrique à une distribution hydraulique.

Supposons 2 réservoirs d'eau situés à des niveaux différents et réunis par un tuyau. Le premier réservoir se videra dans le second, et la pression à la base du tuyau sera d'autant plus grande que la différence de niveau sera plus élevée, quelle que soit sa section. Le débit augmentera, d'autre part, en raison de la section du tuyau.

En électricité, les mêmes phénomènes se passent. Les bornes d'un générateur peuvent être assimilées aux deux réservoirs précédents, et les conducteurs ou réophores au tuyau d'écoulement. Plus la différence de potentiel aux bornes sera grande, plus la force électromotrice ou pression sera grande dans le courant. Donc différence de potentiel est synonyme de différence de niveau.

Un circuit électrique est dit *chargé et fermé*, quand l'électricité se meut d'une borne à une autre.

Un circuit électrique est dit *déchargé, ouvert ou coupé*, quand le courant ne peut y passer.

Potentiel électrique ou énergie potentielle. — Pour que l'électricité puisse circuler dans un conducteur, il faut que celle-ci soit en puissance ou sous un certain potentiel. Ce terme indique donc que l'électricité, accumulée sur un point d'un conducteur, *représente la résultante des charges électriques accumulées sur ce point*. Donc, le potentiel sur un point d'un conducteur est *proportionnel à sa charge*.

Maintenant si nous prenons les deux points extrêmes d'un conducteur, leur différence de potentiel est représentée par le travail qui doit être effectué sur ou par une unité d'électricité positive, pour la transporter d'un point à un autre.

On peut comparer cette énergie potentielle à l'énergie employée à l'élevation d'une certaine quantité d'eau. Considérons un moteur hydraulique H (fig. 2), devant élever un certain

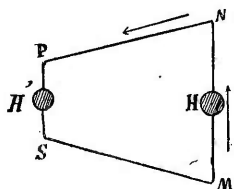


Fig. 2. — Principe de l'énergie électrique.

volume d'eau de M en N ; cette eau élevée a emmagasiné de l'énergie. Si on la fait écouler par une canalisation à faible pente, de N en P, elle pourra mettre en mouvement une roue hydraulique H', qui fournira un certain travail, grâce à la chute. Ramenons cette eau de S' en M, point de départ, par un canal à faible pente, nous aurons transporté une certaine

quantité d'énergie mécanique en nous servant d'un circuit fermé.

Supposons que la figure précédente représente une transmission électrique, le générateur électrique H élèvera une certaine quantité d'électricité de M en N, elle possédera un certain potentiel, qui pourra être utilisé par le récepteur H', il y aura chute de potentiel. Dans les deux cas on voit qu'on donne simplement de l'énergie aux fluides.

Dans un circuit électrique, le potentiel décroît du pôle positif au pôle négatif.

Force électromotrice E. — Dans un courant électrique, la force électromotrice représente la différence du potentiel de deux points. Elle s'exprime en *volts*. Dans la pratique, on la mesure au moyen d'appareils appelés *voltmètres*.

Résistance des conducteurs. — L'électricité reçoit, de la part des conducteurs où elle se meut, une résistance à l'écoulement comparable à celle que reçoit l'eau en circulant dans un tuyau.

On dit qu'il y a perte de charge quand il s'agit de l'eau, et perte de courant électrique quand une partie de celui-ci est transformée en chaleur par le frottement. On a observé que la résistance d'un fil métallique, maintenu à une température invariable, reste la même quel que soit le courant qui le traverse ; ce point est très important, comme nous le verrons.

L'unité de résistance ou *ohm* est l'étalon choisi pour expri-

mer les résistances des conducteurs. Il vaut 10^9 unités électromagnétiques. Le congrès des électriciens de Paris, en 1884, décida que l'ohm «égal» serait représenté par la résistance donnée par une colonne de mercure de 106 centimètres de haut sur 1 millimètre de section transversale.

En langage électrique, on désigne ces résistances sous le nom de *résistances ohmiques*. Parmi les corps, on distingue :

- 1° Les corps bons conducteurs ;
- 2° Les corps semi-conducteurs ;
- 3° Les corps mauvais conducteurs, isolants ou *diélectriques*. Voici la classification de ces corps.

CORPS DITS CONDUCTEURS	CORPS DITS SEMI-CONDUCTEURS	CORPS DITS ISOLANTS OU DIÉLECTRIQUES
Argent	Charbon de bois et colle	Laine
Cuivre	Acides	Soie
Or	Dissolutions salines	Cire à cacheter
Zinc	Eau de mer	Soufre
Platine	Air raréfié.	Résine
Fer	Glace fondante	Gutta-percha
Étain	Eau pure	Caoutchouc
Plomb	Pierre	Gomme-laque
Mercure	Glace non fondante	Paraffine
	Bois sec	Ebonite
	Porcelaine	Air
	Papier sec	

La mesure de la résistance des conducteurs se fait au moyen d'appareils spéciaux, appelés *étalons de résistance* ou *boîte de résistance*.

Tous les métaux n'offrent pas la même résistance au courant électrique ; ils ont leur *résistance spécifique* ou *résistivité propre*, calculée sur 1 centimètre cube de métal.

La *conductance* est l'inverse de la résistance à l'écoulement de l'électricité. On a alors la *conductance spécifique*, rapportée à celle du mercure à zéro degré qui a été prise pour unité.

Voici un tableau résumant la résistance et la conductance des différents métaux.

NOM DES MÉTAUX	RÉSISTANCE	RÉSISTANCE	RÉSISTANCE	Conductibilité rapportée au mercure de 0 degré
	d'un fil long d'un mètre pesant 1 gramme	d'un fil d'un mètre de long et d'un millimètre de diamètre	d'un centimètr. cube entre ses faces opposées (résistance spécifique)	
	microhms	ohms	ohms	
Argent recuit.....	1,502	0,01937	0,1544	63,80
— écroui.....	1,652	0 02103	0,1680	57,226
Cuivre recuit.....	1,616	0,02057	0,1440	55,86
— écroui.....	1,652	0,02104	0,1469	52,207
Or recuit.....	2,081	0,02650	0,4080	44,06
— écroui.....	2,118	0,02697	0,4150	43,84
Aluminium recuit.....	2,945	0,03751	0,0757	30,86
Zinc comprimé ..	5,689	0,07224	0,4067	16,64
Platine recuit.....	9,158	0,1166	1,9600	6,073
Fer recuit.....	9,825	0,1251	0,7654	9,685
Nickel recuit ..	12,60	0,1604	1,0710	7,374
Etain comprimé.....	13,36	0,1701	0,9738	9,874
Plomb comprimé ...	19,85	0,2526	2,257	5,111
Antimoine comprimé ..	35,90	0,4571	2,411	2,053
Bismuth comprimé ..	132,7	1,6890	13,030	0,800
Mercure liquide.....	94,34	0,9434	13,060	1,000
Maillechort.....	21,170	0,2695	1,85	3,603
Charbon des cornues ..	500 00	—	—	0,02

Les coefficients de résistance ont une très grande importance, comme nous le verrons plus loin, par les exemples que nous donnerons dans certains problèmes.

Les effets de la chaleur influent temporairement sur le pouvoir conducteur des métaux. La résistivité pour presque tous les métaux augmente d'environ 0,4 o/o pour une élévation de température de 1° C., soit 40 o/o pour 100° C. Le froid, au contraire, diminue la résistance, comme l'ont prouvé les expériences de Wroblewski.

Le charbon, en devenant incandescent, diminue considérablement de résistance; on trouve, en effet, qu'un filament de lampe à incandescence, dont la résistance à froid est de 230 ohms, tombe à 150 ohms quand il est porté au rouge blanc.

Le maillechort et autres alliages ne sont pas sujets à changer autant, c'est pourquoi on les emploie de préférence pour la construction des bobines de résistance dont nous avons parlé.

Lois de la résistance. — Les lois de de la résistance des conducteurs sont au nombre de trois :

1^{re} Loi. — *La résistance d'un fil conducteur est proportionnelle à sa longueur.*

Si, par exemple, un fil conducteur de 1 km. servant au transport de force à 0 ohm, 01 de résistance par mètre, la résistance totale sera :

$$0,01 \times 1000 = 100 \text{ ohms}$$

2^e Loi. — *La résistance d'un fil conducteur est inversement proportionnelle à sa section; c'est-à-dire que plus sa section est grande, moins la résistance est élevée. Dans les conducteurs cylindriques ordinaires, on dit que la résistance est inversement proportionnelle au carré du diamètre, ou :*

$$\frac{R}{R'} = \frac{D'^2}{D^2}$$

3^e Loi. — *La résistance d'un fil conducteur de longueur et d'épaisseur données dépend de la résistance spécifique de la matière dont il est formé. Si l représente en centimètres la longueur du fil, s sa section en centimètres carrés, et soit α la résistance spécifique, on a :*

$$\text{Résistance } R = \frac{l \times \alpha}{S}$$

Utilité des résistances. — Les résistances trouvent leur application dans une foule de cas. En premier lieu, dans le réglage d'excitation des dynamos ; si le courant passant dans les électros est trop intense ou trop faible, la force électromotrice s'élève ou s'abaisse en donnant des oscillations. On les règle au moyen d'un réhostat, qui introduit ou enlève dans le circuit une certaine longueur de fil.

La résistance qu'opposent les charbons au passage du courant électrique a reçu une très grande application industrielle dans la production de la *lumière électrique*. Les charbons s'échauffent jusqu'à l'incandescence, soit dans l'air, soit dans le vide, suivant le système d'éclairage.

Oscillations et ondes électriques. — L'écoulement du fluide électrique dans un conducteur ou dans un milieu quelconque n'est pas régulier; ces oscillations dans le débit constituent les *oscillations électriques* ou *ondes électriques*. Henry, Von Helmholtz, Maxwell, ont démontré depuis longtemps ce mode de propagation de l'électricité. Les recherches de Hertz sur les *ondes hertziennes*, de Marconi sur le télégraphe sans fil de Tesla, ont confirmé les faits précédents.

Problèmes sur les résistances des conducteurs

A. — INFLUENCE DE LA LONGUEUR ET DE L'ÉPAISSEUR DU CONDUCTEUR

1^{er} PROBLÈME. — Un câble de deux kilomètres (2 km.) servant au transport de la force électrique a 0,50 ohms de résistance, quelle est la résistance de 30^m de ce câble ?

Réponse. — La résistance d'un fil étant proportionnelle à sa longueur, on a :

$$\frac{2000}{30} = \frac{50}{x}, \text{ d'où } x = \frac{30 \times 50}{2000} = 0,75 \text{ ohm.}$$

2^{me} PROBLÈME. — Si la résistance d'un câble de 2 km est de 50 ohms, son diamètre de 4 millimètres, quelle sera la résistance d'une même longueur de fil de 2 millimètres et de 8 millimètres de diamètre ?

Réponse : — Les résistances sont inversement proportionnelles aux sections.

$$\frac{R}{R'} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{\pi D'^2}{4}},$$

ou simplement :

$$\frac{R}{R'} = \frac{D'^2}{D^2}$$

1^o $\frac{50}{x} = \frac{2 \times 2}{4 \times 4}$
 $x = \frac{50 \times 16}{4} = 200 \text{ ohms.}$

2^o $\frac{50}{x} = \frac{8 \times 8}{4 \times 4}$
 $x = \frac{50 \times 16}{64} = 12,5 \text{ ohms.}$

3^e PROBLÈME. — Quelle est la résistance d'un câble de transport en cuivre de 3 millimètres de diamètre et de 1 km 5 de long ?

Réponse. — D'après la table page 14, un fil de cuivre de 1 m. de long et de 1 millimètre de diamètre a une résistance de 0,02104 ohm. Le câble en question aura donc :

$$R = 0,02104 \times 1500 \times \frac{1}{9} = 3,50 \text{ ohms.}$$

B. — INFLUENCE DE LA NATURE DU CONDUCTEUR

1^{er} PROBLÈME. — Quelle est la résistance d'un fil de fer, de cuivre, d'argent, de 106 centimètres de long et de 1 millimètre carré de section ?

Réponse. — Il faut se rapporter ici à l'unité de résistance, qui est l'ohm, représenté par une colonne de mercure de 106 centimètres de long et de 1^m/m carré de section; d'autre part, la conductance est de 1. Les conductances des fils en question sont: 9,68, 55,88, 63,80. Donc les résistances seront inversement proportionnelles aux conductances :

$$\text{Fer} = \frac{1}{9,68} = 0,103 \text{ ohm,}$$

$$\text{Cuivre} = \frac{1}{55,86} = 0,0179 \text{ ohm,}$$

$$\text{Argent} = \frac{1}{63,80} = 0,0156 \text{ ohm.}$$

2^e PROBLÈME. — Si l'on change le fil de fer d'une ligne de transport électrique par un fil de cuivre de mêmes dimensions, dans quel rapport la résistance de la nouvelle ligne changera-t-elle ?

Réponse. — Ce rapport sera l'inverse des coefficients de conductance ou :

$$\frac{9,685}{55,86} = 0,174$$

3^e PROBLÈME. — On veut remplacer une ligne de transport en fer de 4^m/m de diamètre par une ligne de cuivre dont la conductance est de 55,86 fois celle du mercure; quel doit être son diamètre pour que la résistance de la nouvelle ligne ne change pas ?

Réponse. — Les sections seront entre elles dans le sens inverse de leur conductance ou :

$$\frac{\pi 4^2}{\pi x^2} = \frac{55,86}{9,685}$$

$$4 \times 4 \times 9,685 = 55,86 x^2$$

$$x^2 = \frac{154,960}{55,86} = 2,7740$$

$$x = \sqrt{2,7740} = 1^{\text{mm}},66$$

C.— INFLUENCE DE LA LONGUEUR DU DIAMÈTRE
ET DE LA NATURE DU FIL

1^{er} PROBLÈME. — Quelle est la résistance d'un fil de fer de 800^m de long et de 4^m/m de diamètre ?

Réponse. — La table des résistances nous donne que un fil de 1 mètre de long et 1^m/m de section a une résistance de 0,1251 ohm. Le fil de 4^m/m de section donnera donc 16 fois moins de résistance; la longueur étant de 800^m, on a d'après la formule:

$$R = \frac{L \alpha}{S} : R = \frac{0,1251 \times 800}{16} = 6,250 \text{ ohms.}$$

2^o PROBLÈME. — La résistance d'un fil de cuivre de 4^m/m de diamètre est de 45 ohms; quelle est sa longueur ?

Réponse. — Un fil de cuivre de 1^m/m de diamètre et de 1^m de long ayant une résistance de 0,02057 ohm, un fil de 1^m et de 4^m/m de diamètre aura une résistance de 1/16 fois moins, car les sections d'après la formule :

$$\frac{R}{R'} = \frac{D'^2}{D^2} \text{ ou } \frac{R}{R'} = \frac{4^2}{1^2} = \frac{16}{1}$$

D'où d'après la formule

$$R = \frac{L \alpha}{S} = 45 = \frac{L \times 0,02057}{16}$$

et

$$L = \frac{45 \times 16}{0,02057} = 35.002 \text{ mètres.}$$

3^e PROBLÈME. — La résistance d'un fil de fer de 1800^m est de 10 ohms, quelle est son épaisseur ?

Réponse: — La formule $R = \frac{L \alpha}{S}$ nous donne :

$$10 = \frac{1800 \times 0,1251}{x^2}$$

$$x^2 \times 10 = 1800 \times 0,1251$$

$$x = \frac{\sqrt{225,18}}{10} = 4^{\text{m}}/74$$

MESURE DE L'INTENSITÉ DES COURANTS

Maintenant que nous connaissons la force électromotrice d'un courant, la résistance des conducteurs, nous pouvons calculer l'intensité et le débit de ce courant. C'est un point très important auquel s'applique la loi de G. S. Ohm.

Loi d'Ohm. — *L'intensité d'un courant électrique ou la quantité d'électricité débitée par seconde varie en raison directe de la force électromotrice et en raison inverse de la résistance du circuit.*

Si I représente le débit en ampères par seconde, E la force électromotrice, ou différence de potentiel exprimé en volts, R la résistance du circuit en ohms, la formule d'Ohm est la suivante :

$$I = \frac{E}{R} \text{ ou ampères} = \frac{\text{volts}}{\text{ohms}}$$

Exemple. — Quel est le débit d'un courant de 100 volts, sous une résistance de 5 ohms ?

$$I = \frac{100}{5} = 20 \text{ ampères.}$$

La formule d'Ohm nous permet de trouver le débit par seconde d'un courant ; pour avoir la quantité d'électricité écoulée dans un temps t , il suffit de multiplier par le nombre de secondes. En appelant Q cette quantité, on a :

$$Q = I \times t.$$

Pour exprimer ce débit au moyen d'une unité, on sait que un ampère par seconde donne un ampère-seconde ou un coulomb.

Un ampère-heure vaut donc 3.600 coulombs.

PROBLÈME GÉNÉRAL. — Un courant de 200 volts circule sous une résistance de 10 ohms pendant 10 minutes ; calculer la quantité d'électricité transportée : 1° en coulombs ; 2° en ampères-heures ?

Réponse. — La formule $I = \frac{E}{R}$ nous donne :

$$I = \frac{200}{10} = 20 \text{ ampères.}$$

La formule $Q = I \times t$ nous donne ensuite :

$$Q = 20 \times 60 \times 10 = 12.000 \text{ coulombs.}$$

Soit en ampères-heures $\frac{12000}{3600} = 3 \text{ ampères-heures } 33.$

De la formule fondamentale d'Ohm $I = \frac{E}{R}$, on peut tirer les trois suivantes :

1° $E = I R$, que l'on exprime en disant qu'une force électromotrice E est égale à l'intensité I , multipliée par la résistance du circuit;

2° $R = \frac{E}{I}$, que l'on exprime en disant que la résistance d'un circuit est égale à la force électromotrice (volts) divisée par l'intensité (ampères).



Fig. 3. — Ampère-mètre.

L'ampère-mètre est un instrument de mesure qui donne constamment le débit du courant. Le tableau de distribution des installations de dynamos bien faites porte cet appareil (fig. 3).

Problèmes sur la loi d'Ohm

1^{er} PROBLÈME. — Une lampe à incandescence Swan a une résistance à chaud de 32 ohms, elle est alimentée par un courant de 110 volts; quel est son débit en ampères ?

Réponse. — La formule d'Ohm $I = \frac{E}{R}$ nous permet d'écrire :

$$I = \frac{110}{32} = 3,43 \text{ ampères.}$$

2^e PROBLÈME. — Quelle doit être la résistance d'une lampe Maxim, recevant un courant de 0,75 ampère et d'une force électromotrice de 55 volts ?

Réponse. — $R = \frac{E}{I} = \frac{55}{0,75} = 73 \text{ ohms.}$

Mesure de l'énergie électrique

La mesure de l'énergie ou du travail électrique est d'une importance capitale; cette partie sert constamment pour évaluer la puissance d'une dynamo, le travail absorbé par une lampe, etc.

L'unité pratique de mesure d'énergie électrique est le *watt*

ou *volt-ampère*, ou puissance d'un courant de 1 ampère d'intensité, maintenue par une pression électrique de 1 volt. On désigne le volt dans les calculs par la lettre *w*. En industrie, on emploie deux multiples : l'*hectowatt*, qui vaut 100 watts, et le *kilowatt*, qui vaut 1.000 watts. On emploie aussi le *watt-heure*.

Pour ramener les watts en kilogrammètres (kgm.), il suffit de diviser par 9,81, car 1 kilogrammètre vaut 9 watts 81. Si l'on veut exprimer les watts en chevaux-vapeur, il faut diviser par 736, car le cheval-vapeur vaut 75 kgm.; donc

$$9,81 \times 75 = 736 \text{ watts.}$$

Le cheval-vapeur se représente en électricité par les lettres H P Le cheval-heure employé en industrie est égal à 736 watts, multipliés par 3.600 secondes.

Nous engageons le lecteur à bien étudier ce début pour saisir facilement les problèmes qui vont suivre.

Formule du travail électrique. — Le travail dont est capable un courant électrique exprimé en watts *w* est égal à l'intensité *I* (ampères) multipliée par la force électromotrice *E*, ou

$$W = I E.$$

Si l'on veut transformer les watts en kilogrammètres ou en chevaux-vapeur, on a les deux formules :

1° $T = \frac{I E}{g} = \text{kilogrammètres}$; 2° $T = \frac{I E}{75 g} = \text{chevaux-vapeur}$, $g = 9,81 \text{ watts}$.

Dans quelques cas, il peut se faire qu'on ne donne que les volts et les ohms. Pour avoir les ampères débités, on se sert de la formule d'Ohm $I = \frac{E}{R}$. Cette valeur est alors portée dans la formule précédente $W = E I$, qui vient :

$$W = \frac{E \times E}{R} = \frac{E^2}{R}$$

Problèmes sur le travail électrique

1^{er} PROBLÈME. — Un courant de 10 ampères alimente une lampe à arc, avec une tension de 110 volts. Exprimer le travail absorbé en watts, en kilogrammètres et en chevaux-vapeur ?

Réponse. — $W = I E$ ou

$$W = 10 \times 110 = 1100 \text{ watts}$$

$$\frac{1100}{9,81} = 111 \text{ kgm. 11}$$

$$\frac{1100}{736} = 1 \text{ H P, 49.}$$

2^e PROBLÈME. — Quel est le courant que peut entretenir une énergie de 3,68 kilowatts (5 chevaux-vapeur) dans un circuit où la force électromotrice doit être de 2.000 volts ?

Réponse. — $W = I E$, ou en remplaçant

$$5 \text{ H P} = \frac{I \times 2000}{736} \text{ et}$$

$$5 \times 736 = I \times 2000$$

$$I = \frac{5 \times 736}{2000} = 1 \text{ ampère } 84, \text{ ou bien :}$$

$$3,68 \text{ kilowatts} = 3680 \text{ watts} = 2000 \times I,$$

$$\text{d'où } I = \frac{3680}{2000} = 1,84 \text{ ampère.}$$

3^e PROBLÈME. — Quelle doit être la force électromotrice d'une dynamo pour que 6 chevaux-vapeur (4,41 kilowatts : 6×736 watts) puissent produire 24 ampères dans un circuit ?

Réponse. — $W = I E$, d'où en remplaçant,

$$6 \text{ H P} = \frac{24 \times E}{736}, \text{ et}$$

$$6 \times 736 = 24 E$$

$$E = \frac{6 \times 736}{24} = 184 \text{ volts}$$

ou bien : $4416 \text{ watts} = 24 E$

$$E = \frac{4416}{24} = 184 \text{ volts.}$$

4^e PROBLÈME. — La force électromotrice d'une machine est de 110 volts ; quel courant peut-elle produire avec une puissance de 10 chevaux-vapeur ?

Réponse. — $W = I E$, d'où

$$10 \times 736 = I \times 110$$

$$I = \frac{10 \times 736}{110} = 66,99 \text{ ampères.}$$

Loi de Joule. — Cette loi est aussi très importante dans les calculs ; elle s'occupe de la perte de travail absorbée par le déplacement de l'électricité dans les conducteurs.

Une certaine quantité d'électricité se transforme en chaleur.

En parcourant un fil conducteur, l'électricité reçoit de la part de celui-ci une certaine résistance R ; pour la vaincre, il faut dépenser du travail qui se traduit par une certaine quantité de chaleur perdue. Joule et Lenz sont parvenus à mesurer cette perte d'énergie en employant le calorimètre. Si R

est la résistance du circuit, I l'intensité du courant, t l'unité de temps et q la quantité de chaleur dégagée en calories, on a :

Calories $q = I^2 R t \times 0,24$. D'où il découle la loi de Joule.

La chaleur dégagée pendant l'unité de temps, soit une seconde, est égale au produit du carré de l'intensité du courant exprimé en ampères, multiplié par la résistance en ohms du circuit.

Comme dans la chaleur, le *joule* est l'unité de travail égal au watt de puissance électrique, et que d'autre part 1 calorie vaut 4,17 joules, ou en chiffres ronds 4,2 pour avoir le travail effectué par le courant correspondant à une perte de chaleur q , on aura la formule suivante :

$$4,2 \times q = I^2 R t.$$

Par seconde, le travail sera donc :

$$4,2 \times q = I^2 R = \text{watts}.$$

On voit donc toute l'importance de cette loi de Joule, car elle permet de calculer d'après la quantité de chaleur absorbée par le courant de déterminer le travail effectué. Les exemples ci-après vont nous familiariser avec toutes ces formules.

1^{er} PROBLÈME. — La résistance d'un circuit est de 25 ohms, l'intensité du courant est de 4 ampères ; quelle est la quantité de chaleur dégagée par seconde ?

Réponse. — La formule $q = I^2 R t \cdot 0,24$ nous donne :

$$q = 4^2 \times 25 \times 0,24 = 96 \text{ calories}$$

2^e PROBLÈME. — Un fil télégraphique en fer de 1 km. de long, épais de 4 m/m , est parcouru par un courant continu de 0,05 ampère, quelle est la quantité de chaleur dégagée par heure ?

Réponse. — Cherchons d'abord la résistance totale du fil, en appliquant la formule générale :

$$R = \frac{\alpha \times l}{S}, \text{ ou en remplaçant :}$$

$$R = \frac{0,1251 \times 1000}{4^2} = 70 \text{ ohms } 815.$$

Sachant maintenant que 1 joule dégage 0,24 calorie, nous aurons d'après la formule :

$$q = I^2 \times R \times t \times 0,24 = 0,05^2 \times 70,815 \times 3600 \times 0,24 \\ = 16,8 \text{ calories}$$

3^e PROBLÈME. — Combien faut-il de volts-coulombs pour produire une calorie (gr.-degré) ?

Réponse. — Un volt-coulomb ou joule produit 0,2404 calorie (gr.-degré), pour avoir 1 calorie il faudra donc :

$$\frac{1}{0,2404} = 4 \text{ joules ou volt-coulomb environ.}$$

4° PROBLÈME. — Combien faut-il de joules pour porter la température de 1 gr. d'eau de 0° à 100° ?

Réponse. — Une calorie-gramme-degré vaut 4,20 joules, 100 grammes-degré vaudront :

$$4,20 \times 100 = 420 \text{ joules}$$

5° PROBLÈME. — Un circuit de 30 ohms de résistance doit transmettre un courant équivalant à 40 chevaux-vapeur ; quelle est l'intensité du courant ?

Réponse. — En appliquant la formule $W = I^2 R$, on a :

$$40 \text{ H P} = \frac{I^2 \times 30}{736}, \text{ d'où}$$

$$40 \times 736 = I^2 \times 30 \text{ et}$$

$$\frac{40 \times 736}{30} = I^2$$

$$I = \sqrt{981} = 31 \text{ ampères.}$$

6° PROBLÈME. — On a installé une dynamo de 15 chevaux-vapeur (11,04 kilowatts), de laquelle on veut obtenir un courant de 6 ampères. Quelle doit être la résistance du circuit ?

Réponse. — $W = I^2 R$, ou

$$736 \times 15 = 6 \times 6 \times R$$

$$R = \frac{11040}{36} = 306,66 \text{ ohms.}$$

MAGNÉTISME ET ÉLECTRO-MAGNÉTISME

Aimants. — Les *aimants* sont des substances qui jouissent de la propriété d'attirer le fer, l'acier et quelques autres métaux tels que le nickel, le cobalt et le chrome. Cette force d'attraction détermine un déplacement qu'on a pu amplifier et transformer en mouvement circulaire continu.

Différents aimants. — On a : 1° les *aimants naturels* constitués par un oxyde de fer Fe^3O^4 ou *magnétite*, abondante en Suède et en Norvège ;

2° Les *aimants artificiels*, formés de barres d'acier auxquelles on a communiqué une certaine aimantation, qu'ils conservent indéfiniment.

Pôles. — Lignes de force et champ magnétique d'un aimant. — Force magnétique. — La force magnétique représente la puissance avec laquelle un aimant attire ou repousse une substance magnétique.

Pôles d'un aimant. — Dans un aimant (fig. 4), la force magnétique est plus intense au voisinage des extrémités N et S, ces points ont été appelés par Gilbert pôles de l'aimant. La li-

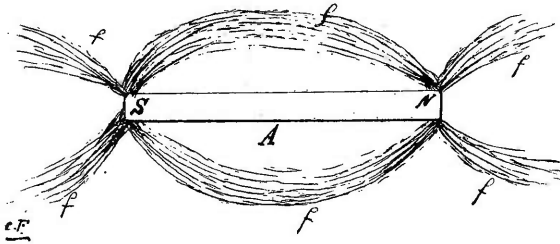


Fig. 4. — Aimant.

gne située de S en N est dite *neutre* ou équateur. Comme la terre est un vaste aimant, elle a sur les aimants une action directrice. De sorte que le pôle nord de la terre correspond au pôle austral de l'aimant, et le pôle austral de la terre au pôle boréal de l'aimant.

Lignes de force. — Les lignes suivant lesquelles l'influence de la force magnétique agit sont dites lignes de force. On peut voir ces lignes en *ff*. Pour les rendre visibles, on saupoudre de limaille de fer une feuille de carton, elles se dessinent comme l'indique la figure 4 et forment un *fantôme magnétique*.

Des lignes de force de nom contraire s'attirent et forment des courbes fermées (*f*). Des lignes de force de même nom se repoussent (*f'*) (fig. 5).

Les lignes de force sont soumises aux lois de Faraday.

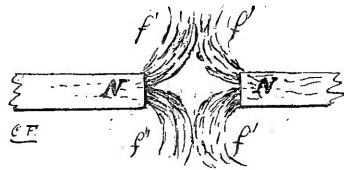


Fig. 5. — Lignes de force de même nom.

Lois de Faraday

1^{re} Loi. — *Toute ligne de force tend toujours à être aussi courte que possible, une ligne de force traversant une matière magnétique est magnétiquement plus courte qu'une ligne de même longueur traversant l'air,*

2^o LOI. — Deux lignes de force parallèles et de même intensité se repoussent.

3^o LOI. — Le nombre de lignes de force qui passent en chaque point est proportionnel à l'intensité de la force magnétique en ce point.

Examinons ces lois. Suivant le principe de la première, aucune ligne de force ne devrait être rayonnante, et toutes devraient suivre la ligne droite A B (fig. 6) à travers la masse métallique. On a cependant un fantôme que la deuxième loi explique.



Fig. 6. — Aimant naturel.

En effet, deux lignes de force parallèles et de même intensité se repoussent. Ces lignes en se repoussant prennent la forme curviligne donnant le fantôme.

La troisième loi est évidente par elle-même.

Champ magnétique d'un aimant. — L'espace environnant où les lignes de force d'un aimant se font sentir constitue le champ magnétique.

Flux magnétique. — Le flux magnétique est constitué par l'ensemble des lignes de force d'un aimant.

Lois de la force magnétique

1^{re} LOI. — Les pôles magnétiques semblables se repoussent l'un l'autre, les pôles magnétiques contraires s'attirent l'un l'autre.

2^o LOI. — La force exercée entre deux pôles magnétiques est proportionnelle au produit de leur intensité et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare, pourvu que la distance soit assez grande pour permettre de ne considérer les pôles que comme simples points.

Cette seconde loi est connue sous le nom de loi de l'inverse des carrés.

Magnétisme des courants ou galvanisme. — Le magnétisme des courants a été découvert par Arago. Si l'on fait traverser un carton M, sur lequel on a répandu de la limaille de fer, par un gros fil conducteur vertical A B, on remarque que la limaille se range en lignes de force concentriques f (fig. 7).

Le dessin formé est appelé fantôme galvanique ou tourbillon. Si le fil conducteur A B est horizontal et qu'on le saupoudre de limaille, celle-ci formera des lignes de force f , coupant le courant à angle droit (fig. 8).

Les lois de Faraday s'appliquent aux deux cas précédents.

Examen des courants de même sens et de sens contraire.

1° Deux courants de même sens A et B parallèles émettent des lignes de force de sens contraire (fig. 9).

Si les deux conducteurs étaient libres de se mouvoir, ils se rapprocheraient en vertu des lois de Faraday qui disent : les lignes de force tendent toujours à être aussi courtes que possible. En effet, les lignes de force extérieures des régions

HH trouvent avantage à se réunir et à marcher de concert tant que la longueur des courbes qu'elles décrivent est inférieure à la somme des longueurs des courbes. Cette tendance au raccourcissement

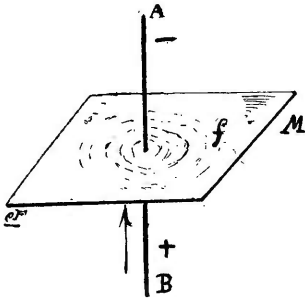


Fig. 7.— Galvanisme des courants (conducteur vertical).

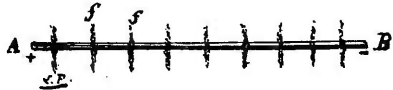


Fig. 8.— Galvanisme des courants (conducteur horizontal).

explique le phénomène d'attraction mutuelle des pôles de noms contraires.

Si les deux courants parallèles A et B (fig. 10) sont de sens

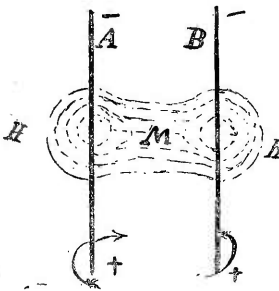


Fig. 9.— Courants de même sens.

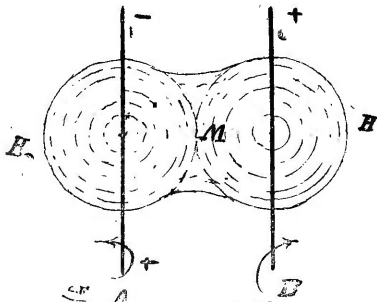


Fig. 10.— Lignes de force de sens contraire.

contraire, les lignes de force étant de même sens se repoussent. C'est ce qui explique la répulsion mutuelle des pôles de même nom.

Lois des circuits parallèles et obliques ou lois d'Ampère

Les lois découvertes par Ampère dérivent des considérations précédentes :

- 1° Deux courants parallèles et de même sens s'attirent.
 - 2° Deux courants parallèles et de sens contraire se repoussent.
 - 3° La force qui s'exerce entre deux courants rectilignes et parallèles est égale au produit des intensités des courants, multiplié par la longueur, divisé par le carré de leur distance.
 - 4° Deux portions d'un même courant se repoussent.
 - 5° Deux courants angulaires s'attirent quand ils s'approchent ou s'éloignent tous deux de leur point de croisement; ils se repoussent si l'un d'eux s'approche et l'autre s'éloigne de ce point de croisement; ils tendent donc toujours à se placer parallèlement.
- Un courant sinueux produit le même effet qu'un courant rectiligne terminé aux mêmes extrémités.
- 6° L'action dans tous les cas tend à superposer les conducteurs, de telle sorte que le courant suive le plus possible le même chemin et que le flux résultant soit maximum.

Effets réciproques des champs magnétique et galvanique.
 — **Théorie de James Clerk Maxwell.** — Voyons comment se comporte un courant électrique dans le champ magnétique d'un aimant, ce point est très important, il a été expliqué par Maxwell.

Soit un fil A (fig. 11) parcouru par un courant perpendiculaire aux lignes de force des pôles N et S d'un aimant.

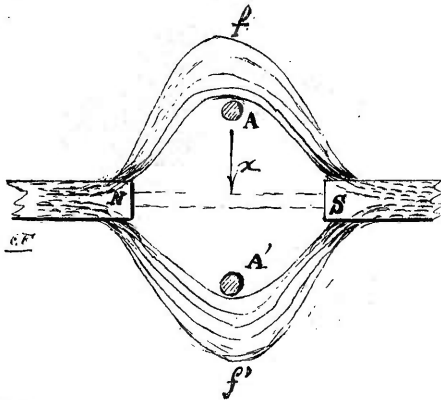


Fig. 11. — Effets réciproques des champs magnétique et galvanique.

Le courant repoussera ces lignes de force au-dessus de lui en f , mais comme elles tendent à se raccourcir, elles attireront le courant suivant x jusqu'en A' . Si à ce moment on inverse le courant, le sens du champ galvanique sera aussi retourné, il déviara et les lignes de force de l'aimant f' seront

toujours maintenues en dessous. Elles auront encore tendance à se raccourcir et repousseront le courant vers le haut. Le fil aura exécuté un tour, c'est la base de la théorie de la machine dynamo.

Il en serait de même si le champ galvanique agissait sur le champ magnétique.

ÉLECTRO-AIMANTS

On appelle électro-aimant un *aimant temporaire*, obtenu par l'électrisation du fer doux. C'est après les découvertes d'*Arago* et de *Davy*, que *Sturgeon* construisit l'électro-aimant.

En principe, un électro-aimant est constitué par un barreau de fer doux $F F'$, formant armature, placé à l'intérieur d'une bobine en bois ou en métal A , sur laquelle est enroulé en solénoïde un long fil de cuivre $c c$, bien isolé pour éviter les courts circuits (fig. 12). Si l'on envoie un courant dans ce fil $c c$, le barreau de fer est immédiatement aimanté et présente deux pôles F et F' . Dès que le courant est interrompu, le barreau retombe à l'état neutre, et toute aimantation cesse.

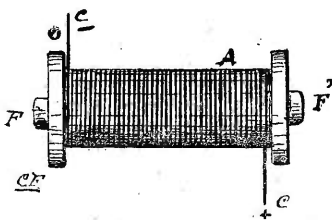


Fig. 12.— Electro-aimant.

L'excitation de l'électro-aimant correspond à la période d'aimantation, et le courant est dit d'excitation. La puissance des électro-aimants est beaucoup plus grande que celle des aimants ordinaires; ils ont reçu des applications nombreuses dans la télégraphie, la sonnerie électrique, les dynamos, etc.

Electro-aimants des dynamos. — Pour employer l'électro-aimant comme *inducteur* dans les machines dynamo, on a été obligé de lui donner des formes particulières, que nous allons examiner.

1° **Electro-aimants des machines-bipolaires.** — La forme la plus employée dans ces machines est celle dite en *fer à cheval*. Cet électro-aimant se compose (fig. 13) de deux cylindres ou noyaux, en fer doux D et D' , réunis par une culasse M , et terminés inférieurement par deux *pièces polaires* A et B , embrassant en partie l'induit R . Sur D et D' , sont enfilées deux bobines métalliques $E E'$, sur lesquelles est enroulé un

fil de cuivre f , bien isolé dans des enveloppes de soie et de caoutchouc; il passe d'une bobine à l'autre par une pièce conductrice p , dite de connexion. Les cylindres D et D' et les bobines $E E'$ sont appelés par les constructeurs *électros*.

Le courant pris sur l'induit R , en circulant dans le fil f , électrise toute l'armature magnétique et y détermine un circuit magnétique a, b, c, d , représenté en pointillé. Les lignes de force se font sentir aux extrémités des masses polaires A et B , et influencent l'induit R , comme nous le verrons plus loin.

2° **Inducteur des machines multipolaires.** — Dans les machines de haute puissance, l'inducteur est à plusieurs pôles, on le dit *multipolaire*.

Ordinairement, la carcasse magnétique est polygonale H, H, H, H , en acier doux fondu, avec des noyaux B, B, B, B (fig. 14).

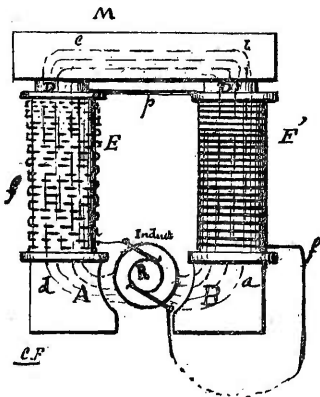


Fig. 13. — Electro-aimant des machines bipolaires

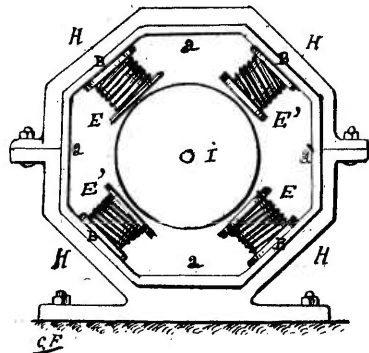


Fig. 14. — Electro-aimants des machines multipolaires.

Sur ceux-ci sont placées les bobines métalliques E, E', E' , au nombre de 4, 6, 8, 10, sur lesquelles on roule un fil de cuivre. Toutes les bobines sont réunies par des pièces de connexion a, a, a, a . Le circuit magnétique influence l'induit I .

Excitation d'un électro-aimant. — Pour produire le magnétisme des électro-aimants, des dynamos, on est obligé d'envoyer un courant emprunté à l'induit de la dynamo ou par d'autres moyens.

La quantité de magnétisme produite par un électro-aimant, d'après Lenz et Jacobi, est *proportionnelle au courant et au*

nombre de tours de fil dans la bobine ; ou, en d'autres termes, elle est proportionnelle aux ampères-tours. On tire la formule :

$$\text{Magnétisme } m = a I N$$

Le nombre d'ampères-tours d'excitation dépend donc du degré de saturation que l'on veut donner au fer et de la déperdition. Les électriciens calculent le magnétisme nécessaire pour une dynamo d'une force donnée, par le flux magnétique estimé en lignes de force pour une section de noyau déterminée. On obtient ainsi la force *magnéto-motrice* ou *magnétisante*.

Perméabilité. — On entend par perméabilité le pouvoir d'aimantation que possède un corps. C'est encore le rapport des lignes de force produites par une force magnétique sur un centimètre carré de métal et sur un centimètre carré d'air,

d'où $\mu = \frac{B}{H}$ = coefficient de perméabilité.

Exemple. — Une force magnétique est capable de créer dans l'air 50 lignes magnétiques par centimètre carré, un échantillon de fer soumis à cette même force a produit 16.062 lignes par centimètre carré. La perméabilité est donc $= \frac{16.062}{50} = 321$.

Donc, le fer est, à ce degré d'aimantation, 321 fois plus perméable que l'air.

La perméabilité pratique de l'air est égale à 1 ; pour les substances magnétiques elle est plus grande.

La limite d'aimantation constitue la saturation magnétique. Les tables de Hopkinson donnent pour limite pratique de saturation du fer le chiffre de 20.000 lignes, et de 12.000 pour la fonte.

D'après les courbes d'aimantation qu'on a établies, le fer doux est le métal le plus magnétique, puis viennent le fer forgé, l'acier recuit, l'acier étiré, la fonte. Le fer doux a une valeur magnétisante de 30 à 40 o/o supérieure à la fonte grise, c'est pourquoi on l'emploie dans la construction des noyaux des électros. On doit toujours utiliser de gros électros éloignés de leur point de saturation, car un petit électro-aimant arrivé à une certaine limite d'aimantation, il faut lui ajouter une force magnétisante considérable pour obtenir une augmentation de magnétisme.

Réductance. — La *réductance* ou *résistance magnétique* est la résistance qu'offre au magnétisme ou à l'aimantation un cir-

cuit. On a observé que la réluctance est variable suivant l'intensité des courants.

$$R = \frac{l}{S\mu}$$

Circuit magnétique. — Ritchie, Sturgeon, Joule et Faraday, ont reconnu qu'il existe une loi du circuit magnétique similaire à la loi d'Ohm pour les circuits électriques. En 1873, Rowland formula le premier cette loi et calcula les lignes magnétiques traversant un barreau, en divisant la force magnétisante de l'hélice par la résistance des lignes de force du fer. En 1882, Bosanquet employa le terme « force magnéto-motrice ».

La loi du circuit magnétique peut s'énoncer ainsi :

Flux magnétique = *Force magnéto-motrice*.

Hystérésis. — Lorsqu'une matière magnétique s'approche d'un pôle elle s'aimante, quand elle s'en éloigne elle se désaimante moins vite. Ce retard de la désaimantation sur l'aimantation a été appelé hystérésis (veut dire en grec traîner en arrière); une certaine quantité de magnétisme dit *rémanent* ou *résiduel* reste dans le corps. L'hystérésis est une perte d'énergie que Ewing a pu étudier d'une façon complète, en établissant un cycle d'aimantation et de désaimantation.

L'hystérésis est d'autant moins grand que la matière est plus magnétique, il est moins grand dans le fer que dans la fonte.

L'hystérésis est inhérent à tous les corps, sauf à l'air. Plus l'armature mobile est éloignée des *pôles inducteurs*, moins se manifeste l'hystérésis, mais plus le circuit magnétique est résistant. D'autre part, l'intensité du champ magnétique étant en raison inverse du carré de sa distance au milieu influencé, il faut réduire le plus possible l'espace.

INDUCTION ÉLECTRIQUE

Courants d'induction. — On donne le nom de *courants d'induction* ou de courants induits à des courants *instantanés* qui se développent, dans des conducteurs métalliques, sous l'influence des courants électriques ou des aimants. Il résulte que l'on peut produire des courants d'induction de deux manières:

1° Par l'influence d'un courant électrique sur un circuit fermé, les courants induits développés sont dits *dynamo-électriques* ;

2° Par l'influence d'un aimant ou par le magnétisme terrestre sur un circuit fermé, les courants induits développés sont dits *magnéto-électriques*.

Comme principe général, on doit bien retenir que les courants induits sont instantanés, c'est-à-dire qu'ils ne durent qu'un temps très court, et qu'ils sont bien plus élevés que les courants inducteurs. C'est en 1831 que Faraday fit la découverte des courants d'induction qui a été féconde en applications, dont la plus importante a été faite dans les machines dynamo-électriques.

Inducteur et induit. — On peut démontrer la formation des courants induits, en employant des bobines excitées par le courant d'une pile ou par un aimant, auxquels on présente un circuit fermé relié à un galvanomètre. Nous emploierons le dispositif de la figure 15, qui nous préparera à la théorie de la dynamo.

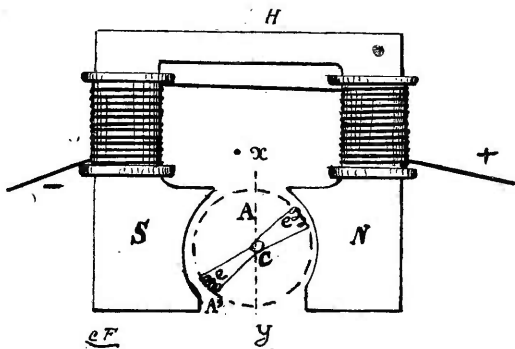


Fig. 15.— Inducteur et induit.

Toute machine d'induction comprend 2 parties : 1° un inducteur H ; 2° un induit A.

L'inducteur H est formé d'un électro-aimant dont les pôles sont en N et S ; l'induit A est constitué par un fil en hélice e , et dont les extrémités sont fermées et reliées à un collecteur c . En supposant que cet induit soit animé d'un mouvement de rotation par son axe c dans le champ magnétique de l'électro-aimant, voyons ce qui va se passer :

Quand A s'approche du pôle N, une série de courants induits se développent dans la bobine e , dont l'intensité croît jusqu'à la ligne des pôles N S, puis décroît jusqu'en y . Le sens des courants ne change pas dans cette demi-révolution, car la bobine e présente successivement au pôle N ses deux extrémités.

En y , le courant devient nul, mais si la bobine passe la ligne neutre xy , en A' par exemple, de nouveaux courants induits

se développeront, mais inverses aux premiers. Une rotation complète de la bobine détermine donc deux sortes de courants constants mais inverses, on a ce qu'on appelle *une période*.

Il s'ensuit que si on forme l'induit d'un grand nombre de sections A, A', A''..... Aⁿ, et qu'on les réunisse ensemble pour en former un circuit fermé, on obtiendra par la rotation une infinité de courants induits. Si l'on recueille ces courants par un collecteur ou commutateur en c, ils seront redressés et l'on aura ainsi un courant continu; les machines sont dites à courants continus. Si les courants ne sont pas redressés, on a les courants dits alternatifs; les machines sont appelées *alternateurs*.

Unité d'induction le Henry. — Le henry est l'unité d'induction. C'est l'induction qui existe dans un circuit, lorsque la force électro-motrice induite dans ce circuit est un volt, tandis que le courant inducteur varie à raison de 1 ampère par seconde.

C'est encore l'induction produite quand 100 millions de lignes magnétiques sont coupées, lorsqu'on établit ou supprime un ampère.

Loi générale des courants d'induction ou loi de Lenz. — Nous venons de voir que lorsqu'un circuit fermé s'approche du pôle d'un électro-aimant, un courant inverse se produit, le courant induit tend donc à s'opposer au rapprochement des 2 circuits (deux courants de sens contraire se repoussent); au contraire, quand le circuit s'éloigne, un courant induit *direct* ou de même sens se développe, il tend donc à s'opposer à l'éloignement des 2 circuits (deux courants de même sens s'attirent).

De ces deux faits, le physicien russe Lenz, en 1834, établit la loi suivante : *Dans tous les cas d'induction électro-magnétique, les courants induits ont une direction telle que leur réaction tend à s'opposer au mouvement qui les produit.*

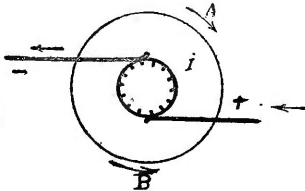


Fig. 16. — Réaction de l'induit.

Si, par exemple, nous prenons l'induit d'une dynamo I (fig. 16), que l'on fait tourner suivant la flèche A, il se produira un courant + — ; si, au contraire, on lui envoie un courant de même sens, l'induit tournera en sens inverse, c'est-à-dire suivant la flèche B. Donc, dans le premier cas, le courant + — tendait à renverser le courant et à s'opposer au mouvement. C'est la

force électromotrice de réaction de l'induit donnée par la loi de Lenz.

Self-induction. — On entend par self-induction l'induction qu'exercent sur elles-mêmes les spires du circuit fermé de l'induit : on dit qu'il y a auto-induction. On désigne les courants développés sous le nom d'*extra-courants* : on a l'*extra-courant de fermeture* et l'*extra-courant de rupture*, dont l'intensité est notablement supérieure au premier. La self-induction est une cause parasitaire, dont nous verrons les moyens de la réduire ; on la désigne aussi sous le nom de force contre-électromotrice.

Résistance du fil de l'induit. — La résistance qu'oppose le fil de l'induit à l'écoulement de l'électricité induite est une perte qui se transforme en chaleur. La valeur de celle-ci s'exprime par la loi de Joule $T = I^2 R t$.

Courants parasites de Foucault. — L'armature métallique, sur laquelle sont roulées les spires de l'induit, est influencée par les pôles de l'électro-aimant, il se produit dans sa masse des *courants parasites dits de Foucault*, qui ont pour effet de s'opposer à la rotation. Cette force détermine une production de chaleur qui échauffe l'induit. Pour diminuer cette perte, on divise l'armature de l'induit dans le sens perpendiculaire au courant parasite.

Tous les points que nous venons d'étudier nous permettent d'aborder l'étude de la machine *dynamo-électrique*.

GÉNÉRATEURS D'ÉLECTRICITÉ

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

HISTORIQUE. — C'est en 1831, après sa découverte des courants d'induction, que Faraday construisit la première machine *magnéto-électrique* à disque. En 1833, Pixi inventa la machine qui porte son nom, puis vinrent celles de Saxton et Clarke. En 1856, Werner Siemens inventa l'induit à armature. Wilde remplaça ensuite l'aimant permanent par un électro-aimant, excité par une petite machine magnéto-électrique séparée. En 1867, Varley, W Siemens et Wheastone empruntent une partie du courant de l'induit au *Shunt*, pour l'excitation de l'électro-aimant. Les machines dynamo-électriques auto-excitatrices étaient découvertes.

Principe d'une dynamo-électrique. — Une machine dynamo-électrique, ou plus simplement *dynamo*, est une machine d'induction. Elle se compose (fig. 17) de trois parties principales :

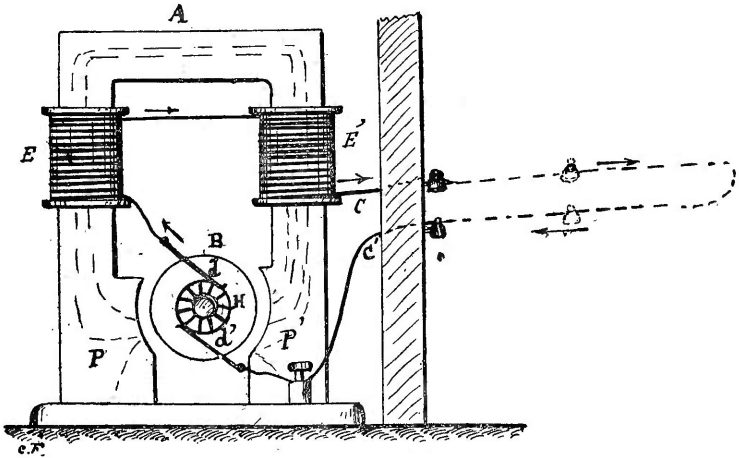


Fig. 17.— Principe d'une dynamo.

- 1° D'un inducteur A ;
- 2° D'un induit B ;
- 3° D'un circuit général électrique C C'.

Si nous examinons le fonctionnement, nous voyons que les bobines d'induction EE' déterminent l'aimantation des noyaux des électros, un circuit magnétique s'établit. Les pôles P et P' créent des lignes de force qui agissent par influence sur l'induit B, et y déterminent des courants d'induction. Comme B tourne rapidement, il présente successivement ses différentes bobines à l'influence des pôles P P'. Il en résulte que chaque bobine développe deux courants, un contraire et un direct, qui sont recueillis par une pièce H, dite *collecteur* ou *commutateur*. Ces courants sont reçus, suivant un axe de commutation, par des balais *d d'*, pour former le courant général, qui excite d'abord les bobines EE', puis sort en circuit par C, pour actionner les lampes ou les électromoteurs, et revenir par C' au balai *d'*.

Le circuit extérieur n'est donc, en quelque sorte, que la *canalisation* par où l'électricité s'échappe pour se transporter d'un point à un autre.

Excitation de la machine par elle-même. — Un point qui ne laisse pas d'embarrasser les débutants dans la théorie de la dynamo, est l'excitation des électros. En supposant une dynamo neuve n'ayant pas fonctionné, si on la met en rotation, elle produira un courant, par ce fait que le magnétisme terrestre détermine toujours un certain magnétisme dans le fer doux des électros. Cette faible aimantation est suffisante pour influencer l'induit et y produire des courants qui s'engagent dans le circuit des bobines des électros. Ces bobines augmentent l'aimantation de l'inducteur jusqu'à la vitesse de régime de la machine.

Quand une dynamo s'arrête, il reste, dans le fer doux de l'inducteur, toujours une petite quantité de magnétisme rémanent ou résiduel, qui sert dans une *nouvelle mise en marche*.

Dans une dynamo, l'électricité dérive de la transformation d'un travail moteur. — Pour que la dynamo produise de l'électricité, il faut que l'induit tourne dans le champ magnétique de l'inducteur. Cette production entraîne une dépense de force chez le moteur à vapeur, hydraulique, à vent, etc.

Détails de construction d'une dynamo

Trois parties sont surtout intéressantes : 1° l'inducteur ; 2° l'induit ; 3° le bâti.

Inducteur. — L'inducteur, comme nous l'avons vu, est composé d'un ou plusieurs électro-aimants, chargés de produire le champ magnétique. Les noyaux, devant s'aimanter, ce sont les parties les plus importantes. On les fait en fer doux coulé, et sont sectionnés transversalement en plusieurs parties, reliées par des nervures ; les espaces remplis d'air constituent des entrefers opposant une résistance magnétique considérable au flux de la réaction de l'induit, sans gêner le flux inducteur.

Dans la machine Rechniewski, les noyaux des électros sont formés par des tôles de fer doux, isolées les unes des autres et disposées perpendiculairement aux fils de l'induit. Le flux magnétique peut circuler sans encombre.

Avec ces excellentes dispositions, la réaction de l'induit est beaucoup diminuée et le calage des balais reste à peu près fixe.

Les bobines inductrices sont métalliques, circulaires ou rectangulaires, les fils d'excitation doivent être parfaitement isolés.

Les pièces polaires doivent être venues avec les noyaux et présenter un champ symétrique. Quelquefois, on trouve des machines ayant deux électros par pôle, on les dit machines à pôles conséquents.

Dépense d'excitation des électros et variation de l'intensité du champ magnétique. — On sait que l'intensité du champ magnétique est inversement proportionnelle à la force magnétisante. Si f est la force magnétisante, M l'intensité du champ, et r la résistance du circuit magnétique, on a : $M = \frac{r}{f}$; cette relation permet de faire varier M soit en augmentant la force magnétisante f , soit en diminuant la résistance du circuit magnétique r . Pratiquement, on intercale sur le *Shunt* d'excitation un rhéostat, qui permet de faire varier la force magnétisante; en introduisant dans le circuit d'excitation plus ou moins de résistance.

Différentes méthodes d'excitation des inducteurs

Le courant d'excitation des inducteurs peut être pris de différentes façons :

- 1° Excitation indépendante ;
- 2° Excitation par bobine séparée ;
- 3° Excitation en série-dynamo ;
- 4° Excitation en dérivation au Shunt-dynamo ;
- 5° Excitation en Compound.

1° *Excitation indépendante.* — C'est l'excitation de dynamo par dynamo : une petite machine, dite *excitatrice*, produit le courant d'excitation pour une dynamo plus puissante. On trouve souvent cette application pour les machines à courants alternatifs.

2° *Excitation séparée.* — Le courant d'excitation est produit par une bobine Siemens, fixée sur le prolongement de l'axe de l'induit. Dans certaines machines on a deux induits, l'un sert à l'excitation des électros, l'autre donne le courant dans le circuit extérieur.

Dynamos auto-excitatrices

3° *Excitation en série.* — La dynamo est dite excitée en circuit, parce que tout le courant sert à l'excitation. Dans la figure 18, le courant pris par le balai a sur l'induit I passe successivement dans les enroulements des bobines $E E'$, puis

dans le circuit général M et revient au balai *b*. L'enroulement sur les bobines ne comprend que quelques tours. Ce mode d'excitation est employé pour les transports de force, ou pour l'éclairage avec lampes à arcs en tension. La machine est à intensité constante et à force électromotrice variable.

4^o *Excitation en dérivation.* — L'excitation est obtenue par un courant dérivé ou Shunt, du courant général. Dans la figure 19, le Shunt est pris en *a*, il circule sur les électros *E E'*, suivant les flèches *fff*, et revient en *b*. Le courant *F F* circule dans le circuit extérieur M.

Ce système d'excitation est le plus employé, il sert indistinctement pour le transport de force, l'éclairage, la charge des accumulateurs et en galvanoplastie.

5^o *Excitation en Compound.* — Une machine est dite compound quand elle est excitée en double circuit; les bobines inductrices sont fractionnées de manière que dans une partie circule l'intensité totale du courant, et, dans l'autre, une fraction dérivée seulement. La figure 20 indique cette disposition.

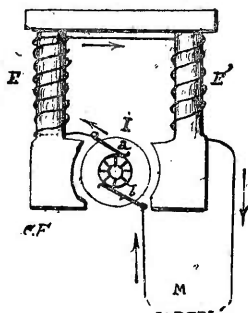


Fig. 18. — Excitation en série.

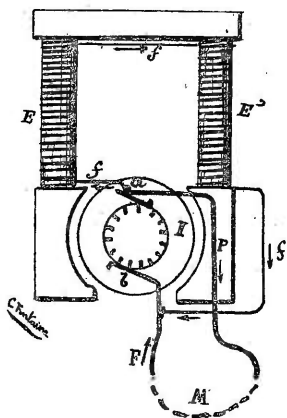


Fig. 19. — Excitation en dérivation.

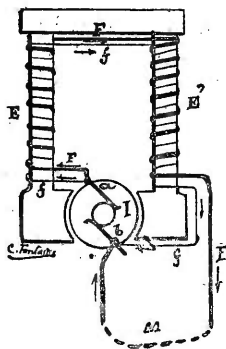


Fig. 20. — Excitation en Compound.

Le Shunt ou fil fin part de *a*, circule suivant *fff* sur les bobines *E E'* et revient en *b*. Le circuit principal part également

de *a*, il est en gros fil, circule sur les bobines, forme le circuit extérieur *M* et revient en *b*.

Dans cet enroulement, le fil dérivé, de petit diamètre, offre une grande résistance, il tend à augmenter la *f. e. m.*; le fil du circuit général, plus gros *FF*, tend au contraire à diminuer cette force électromotrice.

Les machines Compound sont donc, si la vitesse est régulière, à force électromotrice constante et à débit variable. La Compound sert pour l'éclairage et les transports de force, elle ne convient pas pour l'électrolyse. En résumé, l'enroulement en *Shunt* est le plus pratique sous tous les rapports.

Diminuer la dépense d'un champ magnétique donné. — Principe. Si l'électro-aimant reçoit *I* (ampères) en excitation,

pour avoir $\frac{I}{n}$ ampères, il faut augmenter *n* fois le nombre des spires du fil exciteur. En effet, la loi d'Ohm nous donne $I = \frac{E}{R}$, *n* spires donneront *nR* de résistance. On aura donc :

$$I = \frac{E}{nR}.$$

Exemple. — Une force électromotrice de 110 volts et une résistance de 10 ohms donnent un courant de 11 ampères; quelle est l'intensité du courant si on porte la résistance à $\frac{1}{4} R$?

Réponse :

$$I = \frac{E}{nR}, \text{ ou}$$

$$I = \frac{110}{4 \times 11} = 2 \text{ ampères } 5.$$

Induit. — L'induit est la partie la plus délicate d'une dynamo, il doit produire, comme nous l'avons vu, le courant électrique. Le fil induit, c'est-à-dire fil soumis à l'influence de l'électro-aimant, s'enroule de différentes façons, dont les deux principales sont : 1° en anneau; 2° en tambour.

1° *Anneau de Gramme.* — Gramme appliqua, le premier, ce mode d'enroulement dans ses dynamos. L'anneau comprend une armature *A* (fig. 21), formée de fil de fer doux, sur lequel s'enroulent 60 bobines *c c c* bien isolées, reliées en tension les unes aux autres en *ff*, de façon à former un circuit fermé. Les courants développés par chaque bobine passent dans les lames de cuivre rouge ou en bronze phosphoreux *H*, soudées

en *ff* avec les fils des bobines. Les lames H s'épanouissent pour former le collecteur M et sont isolées les unes des autres par une matière isolante ordinairement en mica. Les courants sont recueillis, suivant un axe de commutation perpendiculaire

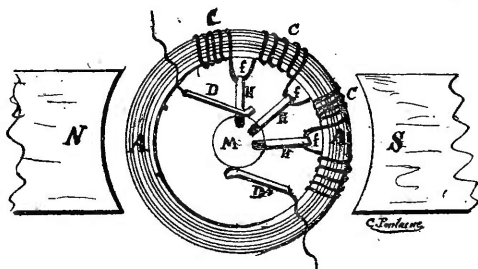


Fig. 21. — Anneau de Gramme.

aux pôles, par deux balais D D'. Les bobines, reliées en tension, produisent un courant continu, comme des piles associées suivant cette méthode, le commutateur *redresse les courants*.

2° *Enroulement en tambour*. — Cet enroulement est encore connu sous le nom d'enroulement Hefner-Alteneck-Siemens. Sur un cylindre, le fil part de 1 (fig. 22), traverse la base du

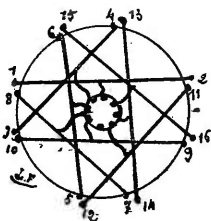


Fig. 22. — Enroulement Hefner.

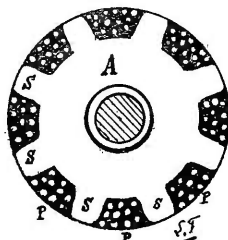


Fig. 23. — Armature dentée de Paccinotti.

côté du collecteur, et va en 2; de là, il suit la surface du cylindre parallèlement à son axe longitudinal et est influencé par le pôle nord par exemple, il coupe la base opposée du cylindre suivant un diamètre de cette base, et revient jusqu'en 3, en longeant la génératrice opposée, où il est influencé par le pôle sud, etc. Le fil se ferme de lui-même. Chaque partie influencée est reliée au collecteur, où des balais recueillent les courants et les redressent.

Armature dentée de Paccinotti. — En 1861, Paccinotti

inventa l'induit à armature dentée pour diminuer l'entrefer. Cette armature consiste en disques en fer doux A (fig. 23) isolés, portant à leur périphérie une série de dents SS , entre lesquelles viennent se loger les fils de l'induit PP , ils sont enroulés en tambour ou en anneau, suivant les constructeurs.

Induit en disque. — Dans certaines machines multipolaires, l'induit est en forme d'un disque sans armature, le refroidissement des fils se fait très rapidement.

Entrefer. — L'entrefer est l'espace ou jeu E (fig. 24) laissé entre l'induit et les pièces polaires de l'inducteur. Il doit être réduit au minimum, parce que la couche d'air interposée est diamagnétique et offre une très grande résistance au passage des lignes de force du circuit magnétique. L'induit denté de Paccinotti réduit le jeu au strict nécessaire, et les fils de l'induit ne sont pas sujets à se dénuder. De cette façon, la dépense d'excitation est diminuée.

Torsion du champ. — Nous avons vu que l'hystérésis est d'autant plus grand que l'armature de l'induit est plus rapprochée des pôles. Elle produit la torsion du champ (fig. 24), tor-

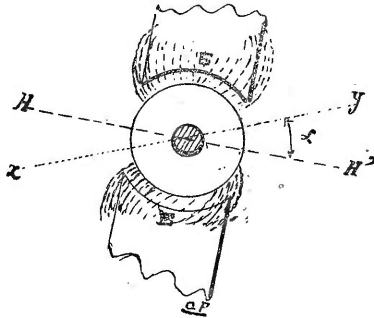


Fig. 24. — Torsion du champ.

sion qui s'opère dans le sens de la rotation. Le diamètre de commutation théorique HH' se trouve reporté en xy . L'angle α est dit angle de décalage ; on est obligé de rechercher par tâtonnement l'axe xy , pour placer les balais, sans quoi il se produit des étincelles de rupture. Les machines excitées en série ou en compound ont un diamètre de commutation changeant avec le débit.

Pour diminuer la torsion, il faut employer un champ magnétique intense, afin de concentrer énergiquement l'in-

fluence des inducteurs sur les points correspondants de l'armature de l'induit, les lignes de force sont plus raides et plus denses.

Vitesse des dynamos. — La rotation de l'induit est très variable, il peut tourner depuis 450 à plus de 2000 tours par minute. Plus la puissance de la machine est faible, plus grande est la vitesse de rotation. En général, la vitesse angulaire est comprise entre 20 à 30 mètres par seconde.

Il est utile que la vitesse puisse varier un peu, pour compenser les erreurs de construction. Ainsi, par exemple, une machine a pu être calculée pour produire un courant de 110 volts à 1000 tours par minute ; il peut se faire qu'elle les donne à 1040 tours ou à 950 seulement. On exagèrera donc toujours un peu l'excitation, quitte à faire un réglage au moyen d'un rhéostat d'excitation.

Puissance d'une dynamo. — La force électromotrice engendrée par l'induit est directement proportionnelle :

1° *A l'intensité du champ magnétique qui la produit ;*

2° *A la longueur du fil soumis à l'action de la force magnétisante inductrice ;*

3° *Au nombre de lignes de force coupées dans l'unité de temps, et par conséquent proportionnelle à la vitesse de translation des fils induits et, partant, à la vitesse de la machine.*

1^{er} PROBLÈME. — Doubler le rendement d'une dynamo, l'intensité du champ magnétique restant constante.

Si d est le diamètre de l'enduit, n le nombre de tours pendant l'unité de temps t :

1° On peut doubler sa force électromotrice en portant n à $2n$;

2° Si on fait $d = 2d$, la circonférence étant proportionnelle au diamètre, on pourra enrouler le double de fil.

Comme la *f. e. m.* est proportionnelle à la longueur, elle est doublée.

3° Si on fait $R = 2R$, on double aussi le rendement, car $I = \frac{E}{R}$, d'où $I = \frac{E}{2R}$ ou

$$2 IR = E \text{ force électromotrice.}$$

2^e PROBLÈME. — Doubler le rendement d'une dynamo, le champ magnétique étant variable. — On peut doubler la *f. e. m.* en doublant l'intensité du champ magnétique. Il faut employer de gros électros, éloignés de leur point de saturation.

Balais et porte-balais. — Les balais sont chargés de recueillir les courants du collecteur, suivant l'axe de commutation. Ils doivent être faits en métal très conducteur; on employait autrefois des faisceaux de fils flexibles en laiton. Aujourd'hui on ne sert guère que de cuivre électrolytique ou de charbon graphite.

La figure 25 représente un excellent système de balai lubrifiant de M. Henrion (Nancy). Il est formé de feuilles électroly-

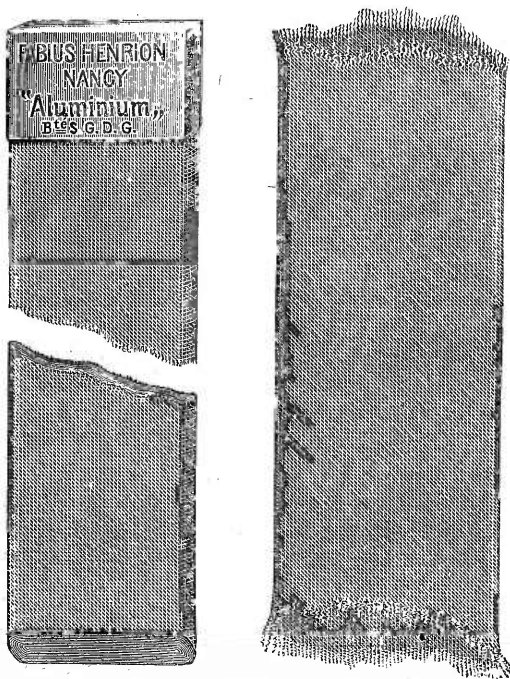


Fig. 25. — Balai lubrifiant et sa gaine (Henrion).

tiques, très minces, au nombre de 50 par millimètre d'épaisseur, entre lesquelles sont placées des toiles graphitiques. Le tout est enfermé dans une gaine tissée en fils de cuivre très fins. Le graphite est d'un toucher gras, et polit le collecteur, formant sur ses lames une couche noire qui les préserve de l'usure.

Le balai en graphite type Henrion (fig. 26) se fait en lames ou en blocs. Ceux-ci sont recouverts, par électrolyse, d'une épaisse couche de cuivre qui assure un bon contact avec les

porte-balais. Cet excellent système se recommande tout particulièrement par le minimum d'échauffement et de résistance qu'il produit.

Les balais sont montés sur un porte-balais, dont le collier embrasse l'arbre de l'induit, une poignée permet leur dépla-

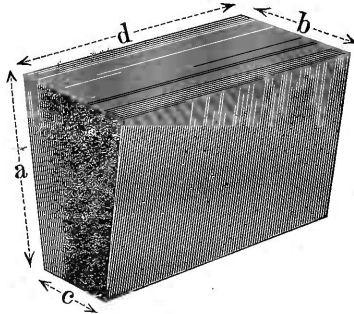


Fig. 26. — Bloc en graphite (Henrion).

cement sur le collecteur. Les balais forment deux groupes dans les dynamos bipolaires, et plusieurs dans les dynamos multipolaires. Chaque groupe comprend un ou plusieurs balais.

Bâti des dynamos. — Ordinairement, la carcasse magnétique est boulonnée sur le bâti, ou, dans quelques dynamos, elle

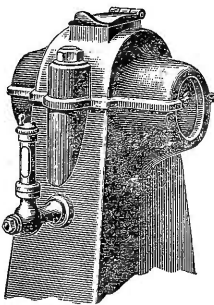


Fig. 27. — Vue d'ensemble d'un palier graisseur (Henrion).

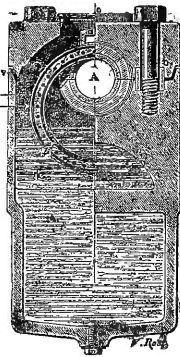


Fig. 28

Coupes du graisseur à bague Henrion.

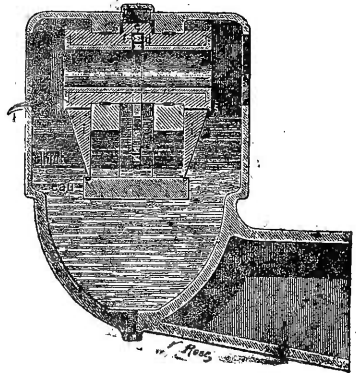


Fig. 29

fait corps avec lui. Le socle porte deux ou trois paliers, sur lesquels repose l'arbre de l'induit muni de la poulie de rota-

tion, celle-ci est simple ou double. Les paliers doivent avoir de longues portées, munies de coussinets en bronze phosphoreux avec graisseurs, afin d'éviter l'échauffement, car la rotation est très rapide.

Nous donnons, comme exemple de palier, l'excellent type Henrion, représenté par les figures 27, 28 et 29.

Classification des dynamos

On distingue dans les dynamos actuelles deux grandes classes : 1^o les dynamos à courants continus ; 2^o les dynamos à courants alternatifs ou alternateurs.

Dans chaque classe, on trouve des machines à basse et à haute tension (voltage).

Enfin, on a les génératrices produisant le courant électrique, et les réceptrices (électromoteurs ou alternomoteurs) utilisant le courant électrique envoyé par une génératrice.

DYNAMOS A COURANTS CONTINUS

Ces dynamos ont un collecteur ou commutateur, pour redresser le courant ; l'inducteur est fixe et l'induit rotatif. On distingue, dans ce groupe, les dynamos à basse tension (5 à 110 volts) et à haute tension (110, 250 à 500 volts), bipolaires ou multipolaires.

MACHINES BIPOLAIRES

Machine Gramme. — La dynamo Gramme est la plus ancienne des machines à courant continu, bon nombre de dynamos actuelles sont basées sur son principe. Elle est construite par la Société des « Machines Gramme » (Paris). La figure 30 montre dans son ensemble une bipolaire Gramme du *type supérieur*, ainsi appelée parce que les masses polaires sont tournées en haut. La construction est robuste, et l'ensemble est monté sur un bâti reposant par trois glissières sur des rails munis de tendeurs, afin de régler la courroie de commande. L'excitation des électros se fait en dérivation ou en compound, suivant le cas. Le montage de la bobine de l'induit est en anneau, comme nous l'avons vu ; la figure 31 le montre en détail : le N^o 27 représente l'ensemble de l'induit, le N^o 25 le collecteur et le N^o 26 l'arbre en acier sur lequel est clavetée la bobine.

Les balais sont démontables et peuvent être changés pendant la marche et décalés à volonté. Les coussinets sont en bronze phosphoreux, munis de graisseurs automatiques à bagues.

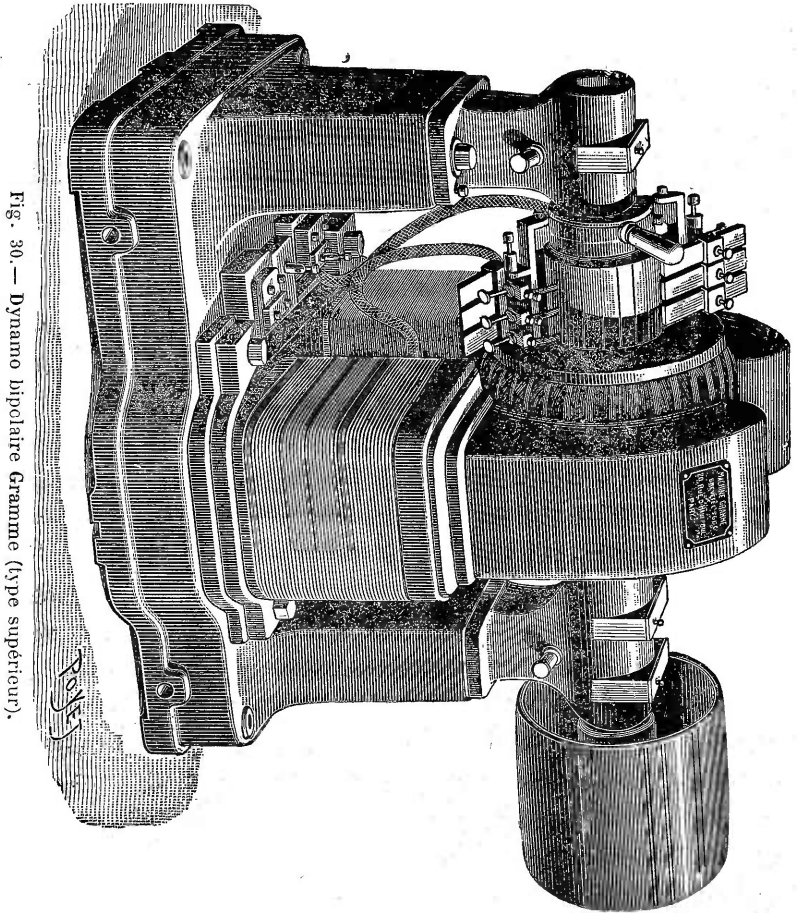


Fig. 30. — Dynamo bipolaire Gramme (type supérieur).

Le modèle bipolaire se construit pour des forces de 100 à 34500 watts (ces forces s'entendent par seconde : 0,135 cheval-vapeur et 46,87 chevaux-vapeur). Le nombre de tours par minute varie entre 3000 et 750 tours, les prix pour les forces précédentes oscillent entre 175 à 4200 fr.

Les rendements industriels que l'on peut obtenir sont de 80 à 87 o/o, suivant la force.

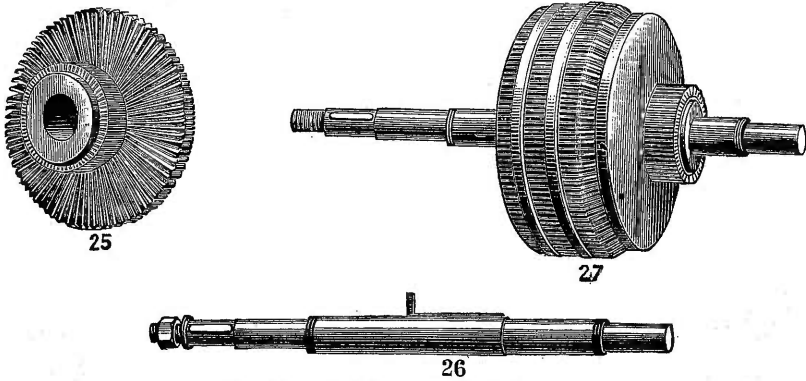


Fig. 31. — Détails de l'induit Gramme.

Machine Labour. — La dynamo bipolaire E. Labour, construite par la Société « L'Éclairage Électrique », à Paris, est

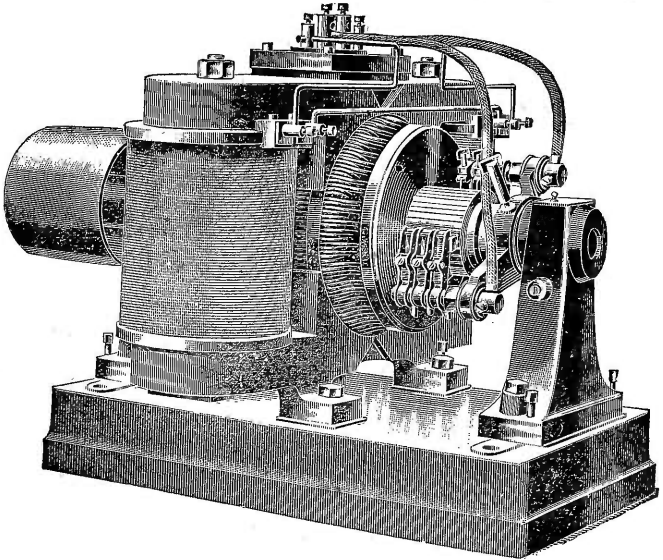


Fig. 32. — Dynamo bipolaire Labour.

représentée par la figure 32. Les pièces polaires sont en fer doux coulé, coupées pour permettre la visite et le démontage

de l'induit. Celui-ci est formé de disques de tôle montés sur un croisillon en bronze, solidement claveté sur l'arbre et résistant aux variations brusques de la charge. Les conducteurs sont en fils câblés pour supprimer l'échauffement dû aux courants de Foucault. Les balais sont en métal antifriction ou en métal.

Les modèles se construisent pour des forces de 1250 à 17500 watts, avec des forces électromotrices de 250 à 500 volts. La vitesse est comprise entre 2000 à 1000 tours par minute, suivant la force; les machines au voltage de 250 volts coûtent 625 fr. (1250 watts) et 2625 fr. (17500 watts).

Machine Henrion. — Cette excellente machine (fig. 33) est

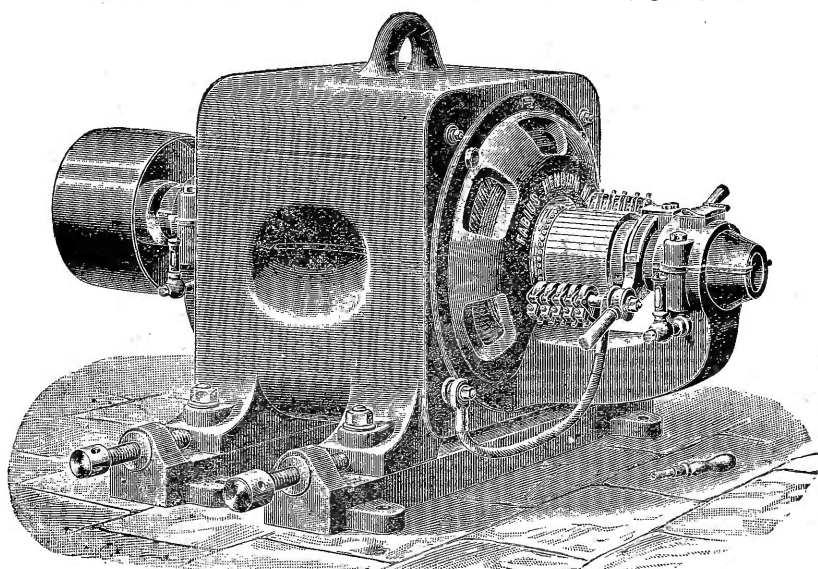


Fig. 33. — Dynamo Henrion.

construite à Nancy, par M. Henrion. Sa forme compacte la rend très légère et d'une installation commode. Le bâti est complètement en acier, et l'ensemble de la machine est renfermé dans un blindage prévenant tout accident et fermant le circuit magnétique. L'induit est très bien compris, la figure 34 en donne les détails. L'arbre porte un noyau sur lequel sont glissées des tôles en fer doux vernies, munies d'encoches *eee*; celles-ci assurent l'entraînement de l'induit, quelle que soit la résistance à vaincre. Les fils sont logés dans

des rainures qui les protègent contre toute détérioration. Le graissage est assuré par l'excellent dispositif dont nous avons déjà parlé.

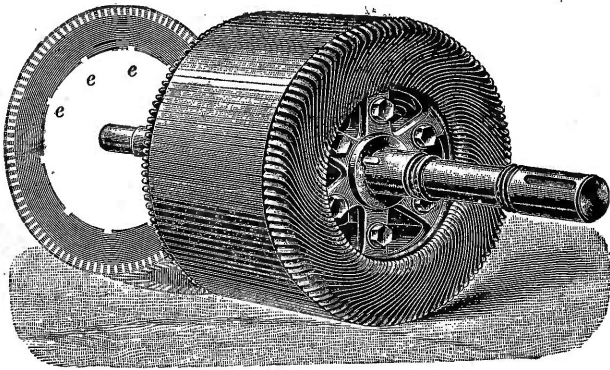


Fig. 34. — Induit Henrion.

La maison construit dix modèles, d'une puissance variant entre 260 à 19200 watts, tournant à 2850 et 900 tours par minute ; les prix varient de 180 à 2.190 fr.

Machine Rechniewski. — La machine Rechniewski, cons-

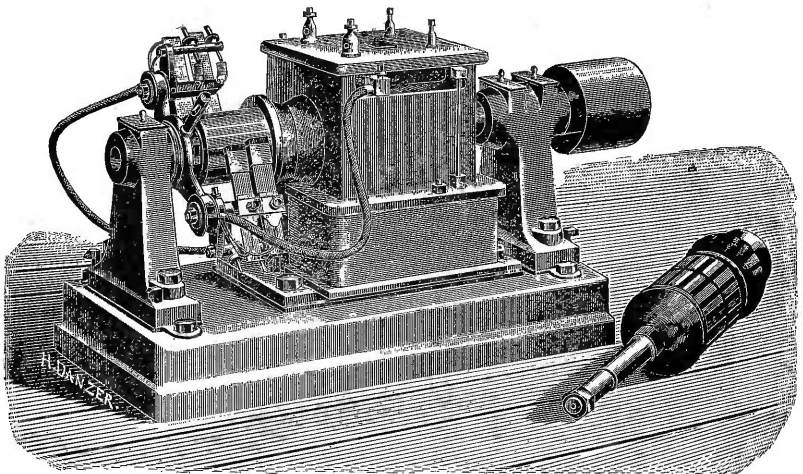


Fig. 35. — Dynamo bipolaire Rechniewski.

truite également par la Société l'« Éclairage Électrique », à Paris, est un excellent type de machine bipolaire (fig. 35).

Elle se caractérise par ses inducteurs feuilletés, en fer de Suède, de 4 à 6 dixièmes de millimètre d'épaisseur, isolés magnétiquement, ce qui permet de réaliser une grande induction magnétique avec une faible dépense d'excitation. Il en résulte que le rendement industriel s'élève à 90 o/o pour des puissances inférieures à 14 chevaux. Les machines Rechiniewski comprennent 15 numéros, variant de force entre 400 et 27500 watts, pour des voltages de 70 à 110 volts, et des vitesses de 2400 à 1300 tours par minute. Ces machines ont un faible emplacement : ainsi, pour une force de 10 chevaux, le bâti mesure 1^m09 de long, 0^m44 de large et 0^m65 de haut.

Voltage ordinaire des machines à courants continus. — Les dynamos à courant continu, destinées à l'éclairage, ont une différence de potentiel aux bornes 55, 70 à 110 volts ; pour les transports de force à distance, on emploie des machines à 250 et 500 volts.

Machines à bas voltage. — Les dynamos à bas voltage ont des applications industrielles considérables dans la fabrication du chlorate de potasse, de la soude, du tannage électrique des cuirs, de l'électrolyse des jus sucrés, etc. L'électro-

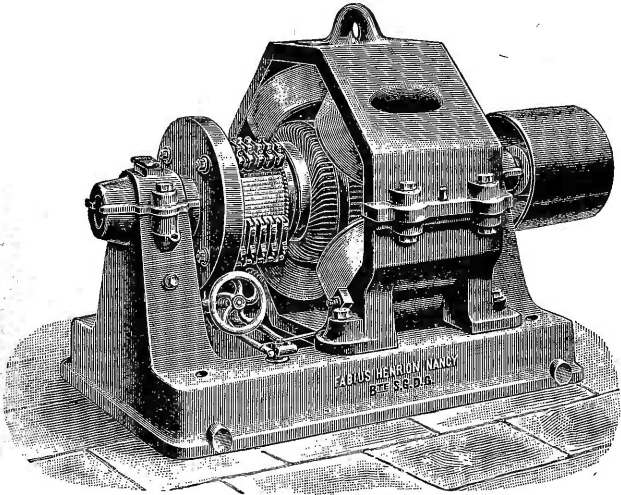


Fig. 36. — Dynamo multipolaire Henrion.

métallurgie l'emploie à la fabrication de l'aluminium, pour le traitement des minerais de cuivre, de zinc, à la galvanoplastie, etc. Les voltages employés sont de 5, 7 à 10 volts, pour des débits de 50 à 40000 ampères.

MACHINES MULTIPOLAIRES

Nous avons précédemment indiqué le principe de ces machines, chez lesquelles on a cherché à grouper les pôles deux à deux, pour influencer le maximum de spires dans un induit à grand diamètre. Ce dispositif a été adopté pour les grosses unités devant développer au moins 30 chevaux-vapeur. Les machines multipolaires à courant continu conviennent donc à de grandes installations. Les modèles de ces dynamos sont excessivement nombreux.

La figure 36 indique l'excellente machine Henrion à 6 pôles, le bâti est tout en acier et se monte sur des glissières. Le tambour de l'induit porte des rainures où viennent se loger les fils, ils sont à l'abri de tout glissement. Le secteur portebalais se manœuvre au moyen d'un volant.

La dynamo multipolaire Labour (fig. 37) est aussi à induit

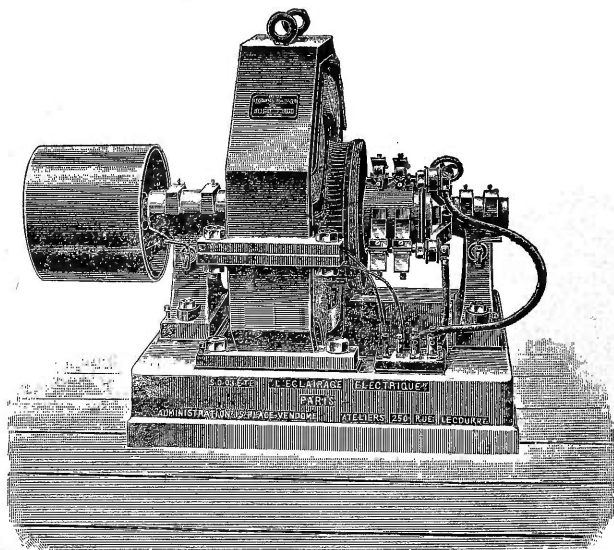


Fig 37. — Dynamo multipolaire Labour.

denté, elle peut supporter des surcharges de 30 o/o sans que sa solidité soit compromise. La construction est très soignée, et le rendement élevé.

La machine Thury, de Genève (Suisse), construite par la Compagnie Schneider, du Creusot, est une très bonne dynamo

à courant continu. Le type octogonal représenté (fig. 38), est d'une force de 27 chevaux et tourne à 600 tours par minute, ce qui permet de l'accoupler directement avec un moteur.

Le rendement industriel atteint 93 o/o.

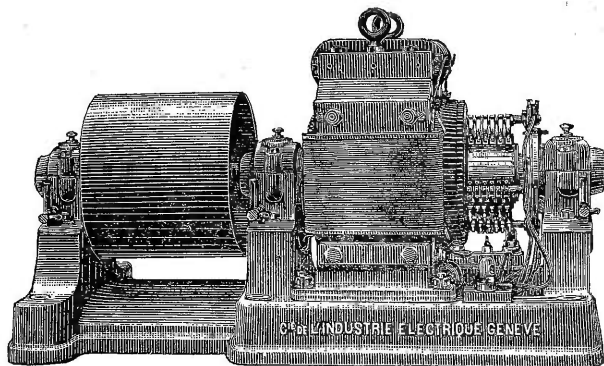


Fig. 38.— Machine Thury octogonale.

RÉCEPTRICES A COURANTS CONTINUS

Les réceptrices utilisant à distance les courants continus, pour les transformer en mouvement, se nomment généralement *électromoteurs*. On s'en sert, comme nous le verrons plus loin, au transport de la force à distance, c'est une des plus belles applications électriques modernes. La construction de ces machines est absolument identique à celle des génératrices, elles peuvent donc être bipolaires (fig. 39) ou multipolaires.

Ces électromoteurs s'établissent pour les plus petites forces (1/40 de cheval-vapeur) jusqu'aux plus grandes. Un type de la force de un cheval-vapeur coûte 350 à 400 fr. On peut donc installer très économiquement, sur un point voulu, la force nécessaire à la commande d'un appareil éloigné du centre de l'usine.

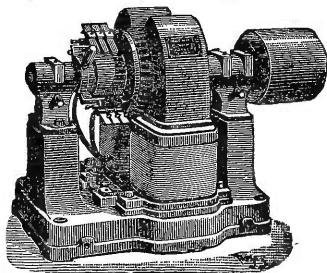


Fig. 39.— Dynamo réceptrice Gramme.

DYNAMOS A COURANTS ALTERNATIFS OU ALTERNATEURS

Courants périodiques. — Les machines à courants alternatifs ont une très grande importance aujourd'hui pour les transports de force à distance, elles ont reçu de nombreuses applications, même en agriculture.

Nous avons vu que la bobine d'un induit se déplaçant dans le champ magnétique d'un inducteur bipolaire détermine dans les spires, à chaque demi-révolution, deux courants en sens contraire dits alternatifs. Chaque révolution complète engendre une force électromotrice A B C (fig. 40), qui s'élève à un

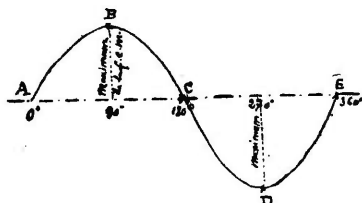


Fig. 40. — Phases d'un courant alternatif simple ou monophasé.

maximum, puis disparaît en C, suivie immédiatement par une *f. e. m.* C D E inverse, croissant et décroissant comme la précédente. Ces deux alternances forment une période, et les périodes données par l'induit dans une seconde constituent la fréquence ou périodicité des alternances que l'on désigne par la lettre n . Dans les machines bipolaires, n = le nombre de tours par seconde. Dans les machines multipolaires, n est proportionnellement plus grand que le nombre de pôles. On entend par *phase*, les variations par lesquelles la *f. e. m.* passe de zéro à son maximum pour revenir à zéro; cette force a son maximum de valeur suivant un certain angle de phase. Dans une génératrice à courant alternatif simple, on ne distingue qu'une phase par demi-tour exécuté par l'induit. Le courant est dit *monophasé*. La force électromotrice d'un

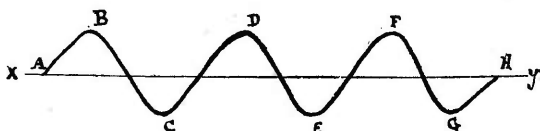


Fig. 41. — Ligne sinusoïdale que suivent les courants alternatifs.

courant alternatif suit donc une ligne sinusoïdale A B C D E F (fig. 41), obtenue suivant la valeur des sinus des angles de phase. On constate que les courants alternatifs ne se maintiennent pas toujours « au pas » ou en concordance avec les volts engendrés dans le circuit. S'il se produit de l'inductance ou de la capacité dans le circuit, les courants sont décalés en arrière ou en avant,

GÉNÉRATEURS A COURANTS ALTERNATIFS

Les alternateurs doivent être excités par une machine courant continu dite *excitatrice*, séparée ou accolée, et commandée par l'arbre de l'alternateur. En pratique, l'alternateur doit donner 40 à 60 périodes par seconde, pour permettre les transports de force et l'éclairage électrique. La machine à courants alternatifs ne possède pas de collecteur, il est remplacé par des bagues, ce qui est un grand avantage. Le voltage est ordinairement très élevé; quand il est faible, on emploie des *transformateurs*, comme nous le verrons plus loin.

Suivant les machines, l'induit peut être mobile à l'intérieur de l'inducteur; chez d'autres, c'est l'inducteur qui est mobile au centre de l'induit (machines à champ tournant).

Alternateurs monophasés. — Ces machines multipolai-

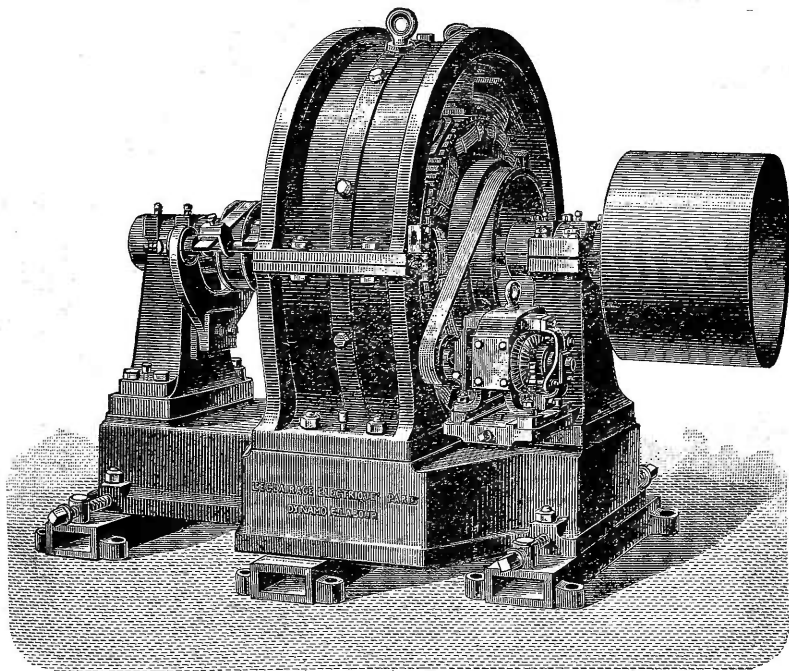


Fig. 42. — Alternateur monophasé (Labour).

res (fig. 42) donnent des courants alternatifs ordinaires à une phase, avec de basses ou de hautes tensions (60 à 2500 volts),

les fréquences varient entre 40 et 60. L'alternateur Labour, dont nous donnons le dessin, est une machine à induit tournant, excitée par une petite dynamo montée sur le même bâti, commandée par courroie, prenant le mouvement sur l'arbre de l'induit. Une machine de 20000 watts (27 chevaux-vapeur) coûte 3.450 fr.

Alternateurs biphasés, triphasés et polyphasés. — Ces alternateurs sont très employés aujourd'hui; sur l'induit ou sur l'inducteur, au lieu d'avoir une seule série de bobines, on en place plusieurs superposées, de façon qu'elles soient un peu en avant l'une de l'autre, il se produit des courants alternatifs de fréquence et d'intensité égales, mais différant de phase d'un degré voulu.

La figure 43 montre dans son ensemble l'alternateur Brown,



Fig. 43. — Alternateur Brown.

construit par la Compagnie «Électro-Mécanique», 11, avenue Trudaine (Paris). Il est à 8 pôles et fait 600 tours par minute, ce qui correspond à une fréquence de 40 périodes par seconde. Car $\frac{8}{2} = 4$ paires de pôles, et $\frac{600}{60} = 10$ tours par seconde. D'où $4 \times 10 = 40$ périodes. L'inducteur est fixe, formé

d'une couronne en fonte siliciée, portant les bobines rayonnantes. L'induit est constitué par un anneau de tôles de fer, portant des galettes de fil au nombre de 8 par phase, et couplées en deux séries parallèles; leurs extrémités aboutissent à deux bagues sur lesquelles frottent deux balais.

Citons encore les machines de Henrion, de Gramme, de Labour, etc.

ALTERNOMOTEURS

Ce nom est donné aux réceptrices à courants alternatifs. Ils sont à courants monophasés, biphasés ou triphasés.

1° Moteurs synchrones. — Ces moteurs sont alimentés par une génératrice à courants alternatifs ordinaires, les deux machines marchent en série, par synchronisme, à la même vitesse. Mais ces moteurs présentent deux graves défauts : 1° ils ne démarrent pas seuls, ils doivent être amenés à une certaine vitesse avant l'application du courant; 2° leurs inducteurs doivent être excités séparément par courant continu.

2° Moteurs asynchrones polyphasés. — Les moteurs asynchrones utilisent les courants biphasés et triphasés; on les emploie pour la distribution de la force dans les installations. L'inducteur est formé d'une série de bobines placées de manière à différer d'un certain angle de phase, produisant un champ magnétique tournant. Il en résulte que l'induit est entraîné par ce champ. Le montage des bobines inductrices se fait en *maille*, ou en *étoile*. L'induit le plus employé aujourd'hui est dit en cage d'écureuil. La figure 44 représente un alternomoteur Henrion, construit d'après les principes énoncés plus haut.

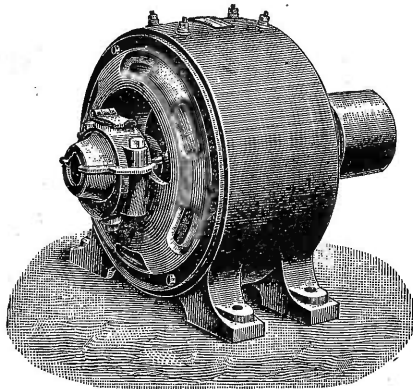


Fig. 44. — Moteur asynchrone Henrion (Nancy).

Les moteurs asynchrones démarrent avec un *torque*, ou moment tournant considérable.

Transformation des courants alternatifs. — On peut transformer les courants alternatifs en continus, en couplant la poulie de l'alternateur avec celle d'une dynamo à courant continu. Il y a nécessairement des pertes.

TRANSFORMATEURS

Les transformateurs sont des appareils chargés d'élever ou d'abaisser le voltage d'un courant (continu ou alternatif). Le principe en a été posé par Faraday. Soit un barreau en fer doux HH (fig. 45), sur lequel on enroule un fil de cuivre DD, de gros diamètre, et recevant de la dynamo génératrice le courant primaire à un faible voltage ;

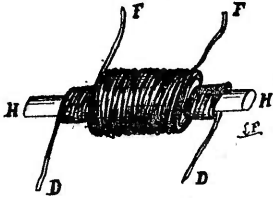


Fig. 45. — Principe des transformateurs.

au-dessus, on enroule un fil de cuivre très fin isolé F F. fermant le circuit. En admettant qu'on ait fait une hélice D D de 200 tours, recevant un courant de 50 volts, et que F F ait 4000 tours d'enroulement, quel sera le voltage ? On admet que la *f. e. m.* est en

proportion du nombre de spires, d'où le voltage obtenu sera de $\frac{50 \times 4000}{200} = 1000$ volts.

Le même calcul doit se faire quand il s'agit de réduire le voltage d'un courant de haute intensité, devant servir à l'alimentation des lampes électriques.

Le transformateur n'amplifie pas le courant, il ne fait qu'invertir l'ordre des deux facteurs du travail : volts \times ampères = watts. Si, par exemple, 10.000 watts sont produits par un courant de 50 volts sous un débit de 200 ampères, et que l'on fasse passer ce courant dans un transformateur qui l'élève à 500 volts, on voit que le débit en ampères ne sera plus que de :

$$10000 = 500 \times x$$

$$x = \frac{10000}{500} = 20 \text{ ampères.}$$

Le débit est donc 10 fois moindre.

Avantages des transformateurs pour les transports de force à distance. — On sait que la section d'un fil conducteur est en rapport avec l'intensité du courant et non avec sa tension ; on a donc intérêt, pour les transports de force à grande distance, à augmenter les volts et à diminuer les ampères.

On économise beaucoup de cuivre dans la canalisation. Mais, dans ce cas, il faut établir deux transformateurs, l'un au départ de la génératrice pour élever le voltage, l'autre à l'arrivée pour ramener la tension au taux où les appareils l'utilisent.

Types de transformateurs. — La bobine de Ruhmkorff donne une idée d'un transformateur.

Les appareils industriels sont établis sur les principes énoncés plus haut, ils doivent présenter un isolement parfait pour éviter des accidents terribles.

Les transformateurs du système Labour sont représentés dans la figure 46. Les noyaux sont formés par des lames

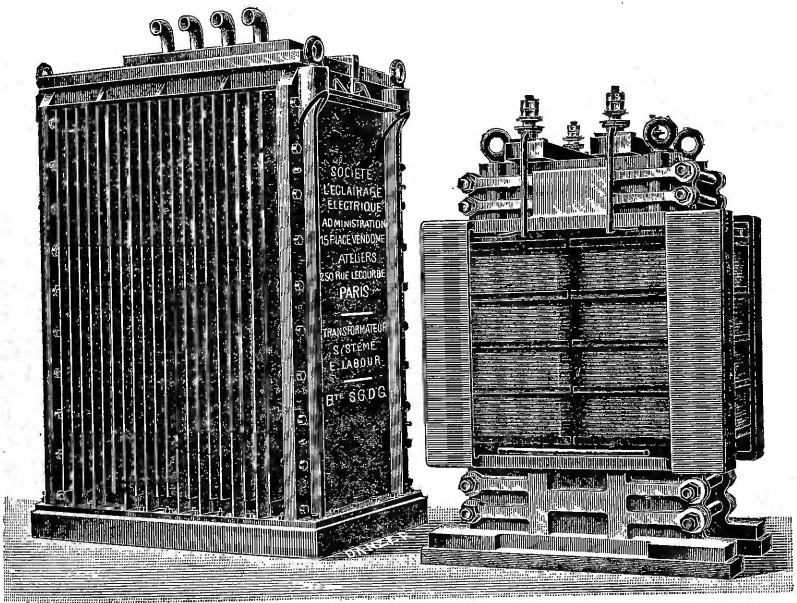


Fig. 46.— Transformateurs Labour.

métalliques isolées au papier verni ou à la gomme-laque, puis recuites après le travail de découpage et de perçage. Les deux circuits sont isolés à l'ébonite et le tout est renfermé dans une caisse. L'enveloppe et le noyau du transformateur sont reliés électriquement à la terre, pour prévenir les accidents.

On construit ces appareils pour des forces de 500 à 200.000 watts, pour des voltages de 5.000 à 10.000 volts, et pour des

fréquences de 40 périodes. Un transformateur de 10 chevaux-vapeur pèse 325 kil. environ, et coûte 850 fr. La dépense à vide est de 1,5 o/o, la perte de F. E. M. dans les enroulements en charge de 1,5 o/o, de sorte que les rendements moyens sont : à quart de charge, 94 o/o ; à demi-charge, 96 o/o ; à charge normale, 97 o/o.

La figure 47 montre également un transformateur Henrion, à 50 périodes, d'un très haut rendement.

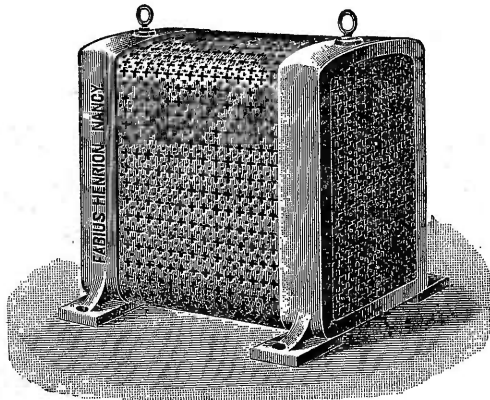


Fig. 47. — Transformateur Henrion (Nancy).

Dans le système Brown, l'isolement des bobines primaire et secondaire est obtenu par un bain d'huile.

Détermination de la puissance et du rendement des dynamos

Le travail électrique des dynamos s'exprime ordinairement en *watts* et s'obtient en multipliant la force *électromotrice* ou intensité du courant en *volts* par le débit en *ampères*. D'où le travail par seconde $T = E I$, ou $w = e i$.

Exemple. — Une dynamo fournit un courant de 200 volts sous 5 ampères ; quel est le travail par seconde ?

$$T = 200 \times 5 = 1000 \text{ watts.}$$

Étant donné qu'un cheval-vapeur vaut 736 watts, pour avoir le travail en chevaux dans l'exemple précédent, on a :

$$T = \frac{1000}{736} = 1 \text{ ch. } 35.$$

La lecture des volts et des ampères se fait au tableau de distribution.

On appelle *rendement électrique total* ou *coefficient de trans-*

formation d'une dynamo, le rapport du travail transformé $T f$ en énergie électrique, au travail absorbé $T a$;

$$\text{ou } \frac{T f}{T a} = R. e. l. \text{ coefficient de transformation.}$$

Le rendement électrique disponible, industriel ou commercial est le rapport de l'énergie disponible $T u$, dans le circuit extérieur, au travail absorbé $T a$;

$$\text{ou } \frac{T u}{T a} = R. ind. \text{ rendement industriel.}$$

La machine prend pour son excitation une certaine quantité de watts, qu'il faut retrancher du rendement électrique total.

PROBLÈME. — Une dynamo reçoit à sa poulie une force de 10,18 chevaux-vapeur, elle donne au tableau de distribution un voltage de 110 volts et un débit de 66,90 ampères. Exprimer en chevaux-vapeur le travail disponible aux bornes et le rendement industriel de la dynamo ?

Réponse. — Le travail fourni $T f$ en watts = $736 \times 10,18 = 7492$ watts 48.

Le travail transformé en électricité $T f = 110 \times 66,90 = 7359$ watts.

En chevaux : $\frac{7359}{736} = 9,99$ chevaux-vapeur ou 9,99 H P.

Le rendement industriel $\frac{T u}{T a} = \frac{7359}{7492,48} = 0,98$ o/o.

On emploie aussi, comme nous le verrons plus loin, l'expression *rendement final industriel*, qui est le rapport entre la puissance utilisée par une machine-outil ou toute une série d'appareils, au travail total fourni à la poulie de la dynamo génératrice.

Le rendement mécanique d'une dynamo comprend la détermination de certaines pertes. Nous donnons comme exemple le modèle suivant :

Diagramme d'une dynamo génératrice bipolaire Compound.

Vitesse normale : 2.000 tours par minute.

Débit normal : 12 ampères.

Résistance de l'anneau $R a = 0,81$ ohm.

Résistance du fil principal des électros $R e = 0,23$ ohm.

Résistance du fil dérivé $R d = 197$ ohms.

Nombre constant de tours par minute	Ampères utilisables i	Tension utilisable e	Puissance absorbée W'				Puissance totale W watts	Puissance utilisable $w = ei$ watts	Rendement mécanique industriel $\frac{w}{W}$
			par les inducteurs		par l'anneau $Ra \text{ } I^2$ watts	frottements hy- térésis; courants de Foucault			
			fil princip. $Re \text{ } I^2$ watts	fil dérivé $Rd \text{ } I^2$ watts					
2000	14	119	45	72	172,5	78	2033,5	4666	82 %
»	12	120	33	73	129	78	1753	1440	82,25 %
	40	120	23	73	91,5	78	4465,5	4200	82 %

Installations des dynamos

On ne saurait apporter trop de soins à l'installation d'une machine aussi délicate qu'une dynamo. En principe, elle doit être isolée dans un local approprié, à l'abri des poussières ; il faudra donc, quand l'espace le permettra, faire l'installation dans une petite chambre bien éclairée et propre.

A l'endroit où devra se faire la pose, on établira dans le sol un massif en maçonnerie (fig. 48), où sont noyés des boulons dont les têtes sortantes servent à fixer un cadre en bois constituant un isolant. La dynamo repose sur un deuxième cadre en fer, muni de glissières destinées à régler la tension de la courroie. Les électromoteurs peuvent s'établir à terre, sur un arbre de couche ou sur un pilier, à une certaine hauteur.

Commande. — La commande se fait avec courroie sans couture, et la vitesse de rotation doit être très régulière, sans quoi il se produit des oscillations qui rendent l'éclairage en particulier défectueux : le débit de la dynamo est influencé. Le moteur doit donc, en principe, avoir une vitesse de marche régulière. La commande peut se faire directement par le moteur ; les moteurs à vapeur, à détente variable, sont ceux qui conviennent le mieux dans ce cas.

Mais il arrive, généralement, que cette commande ne peut se faire directement, parce que les diamètres des deux poulies ont un rapport trop grand. Ainsi, par exemple, on peut avoir un arbre de commande de 120 tours par minute, devant transmettre le mouvement à une dynamo faisant 2000 tours.

Le rapport serait donc $\frac{2000}{120} = 16,66$; la poulie de départ

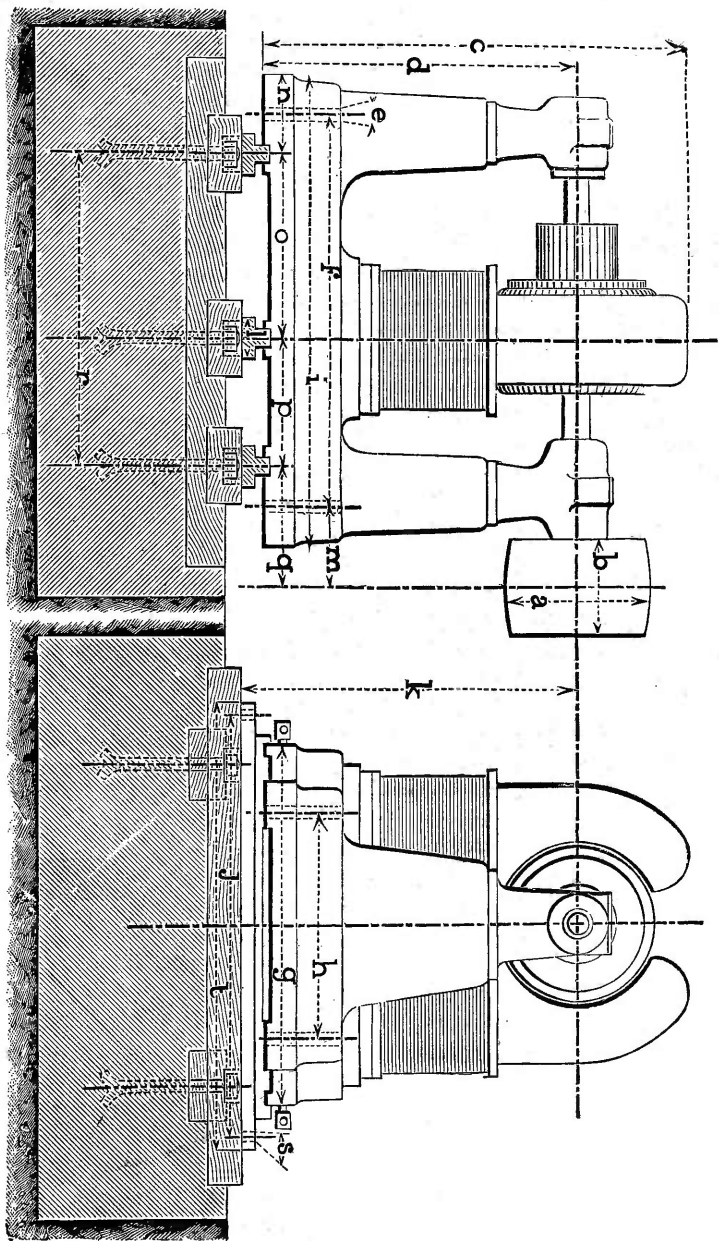


Fig. 48. — Installation d'une dynamo bipolaire Gramme.

devrait avoir 1 m. 666 de diamètre, tandis que celle de la dynamo n'aurait que 0 m. 10. Il vaudra donc mieux, dans ce cas, employer un intermédiaire pour augmenter la vitesse.

Voici la disposition que l'on pourra adopter (fig. 49). Sur

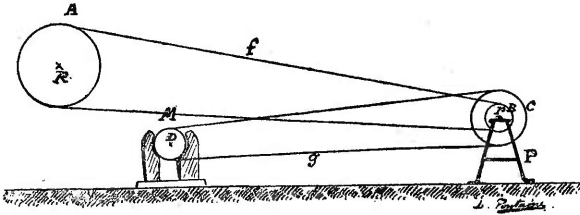


Fig. 49.— Installation d'une commande de dynamo par intermédiaire.

l'arbre moteur R, on cale une poulie A, commandant, par la courroie *f*, la poulie B, calée sur l'arbre *r* d'un intermédiaire P. Celui-ci porte une large poulie C, reliée par la courroie *g* à la poulie D de la dynamo M ; une poulie folle est accolée à D, ce qui permet d'arrêter la dynamo au moyen d'un embrayage sans arrêter la commande.

Reprenons les chiffres précédents pour calculer les diamètres à donner à nos poulies. Décomposons le chiffre 2000 en deux facteurs, puisque nous avons deux poulies de commande, soit 50 et 40 ($50 \times 40 = 2000$).

Donnons arbitrairement aux poulies B et D les diamètres de 0 m. 25 et 0 m. 30.

La poulie de départ A aura $0,25 \times 50 = 1$ m. 25 de diamètre.

La poulie C de l'intermédiaire aura $0,30 \times 40 = 1$ m. 20 de diamètre.

En faisant le rapport $\frac{A \times C}{B \times D}$ ou $\frac{1,25 \times 1,20}{0,25 \times 0,30} = 2000$ tours.

L'arbre de départ R faisant 120 tours, l'arbre *r* fera, d'après

$$\frac{D}{D'} = \frac{N'}{N} \text{ ou } \frac{1,25}{0,25} = \frac{x}{120} = 600 \text{ tours.}$$

Si l'on emploie une machine à vapeur pour la commande de la dynamo, il faut que le moteur soit muni d'un *régulateur très sensible*, sans quoi il se produit des oscillations dans l'éclairage. Pour donner un démarrage plus doux, on intercale entre la poulie de commande et la dynamo, dans les machines de grande puissance, un *manchon élastique*. Le moyeu de ce manchon reçoit les extrémités de l'arbre de la dynamo et de la poulie ; il est muni, à l'extérieur, d'une série de bras, articulés par des anneaux à un lourd disque en fonte évidé. Au

départ, le manchon tourne d'une certaine quantité, et ce n'est que lorsque les articulations sont tendues que la dynamo se met en marche. Les à-coups sont ainsi évités au départ.

Accouplement direct des dynamos. - Nous signalons certains systèmes de commande directe des dynamos attelées aux moteurs très employés en industrie. Les moteurs à eau Cadiot, qui actionnent une dynamo au moyen d'une turbine recevant l'eau sous pression d'une conduite, peuvent être employés pour la commande de petits appareils.

Certaines machines Thury, à courants alternatifs biphasés, faisant 80 tours par minute, sont commandées directement par l'arbre d'une turbine hydraulique. Un modèle de 1200 HP a été installé à l'usine de Chèvres, à Genève. Mais, généralement, les dynamos sont accouplées à un moteur à vapeur à grande vitesse (350 à 600 tours par minute), ce sont en général de grosses unités.

Parmi ces groupes électrogènes, il faut citer celui de Willans Robinson, dont le moteur est à triple expansion, donnant un rendement de 20 o/o des calories qui lui sont fournies. Ce système est très employé en Angleterre.

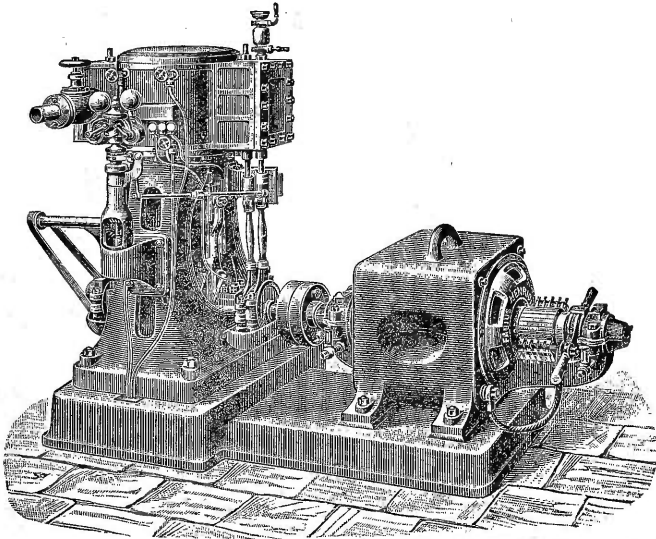


Fig. 50. — Moteur à vapeur et dynamo Henrion accouplés directement.

Citons ensuite les machines Crompton, Kapp, Reckniewki, Siemens, Westinghouse, etc.

La figure 50 montre, dans son ensemble, une installation

Henrion, dans laquelle une dynamo est actionnée directement par un moteur à pilon du type Compound. Le courant fourni est à débit variable, avec une tension constante, malgré les variations de vitesse du moteur. Beaucoup d'installations de ce genre ont été faites.

Appareils accessoires d'une installation électrique. — Toute installation électrique comporte un certain nombre d'appareils accessoires servant au réglage de la marche de la dynamo, au mesurage du courant électrique produit, etc. Ces appareils sont groupés sur un *tableau de distribution* accolé au mur de la salle et bien en vue de l'ouvrier électricien.

Les tableaux se font en marbre blanc ou en ardoise, et les connexions reliant les appareils au courant sont généralement placées derrière la plaque de support. Nous allons passer en revue les différents appareils principaux que l'on rencontre.

RHÉOSTATS

Les rhéostats sont des appareils qui permettent de mettre en circuit une longueur variable de fil, de façon à absorber une certaine quantité de travail qui se transforme en chaleur.

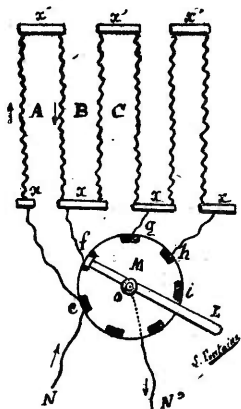


Fig. 51.— Principe d'un rhéostat.

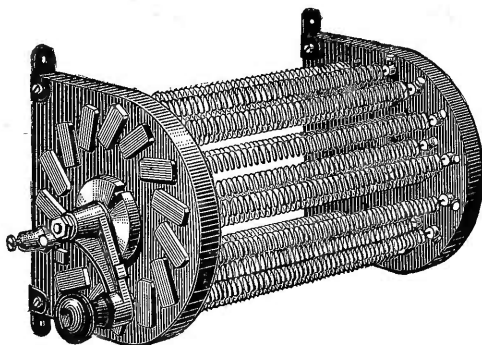


Fig. 52. — Rhéostat d'excitation de dynamo.

Autrement dit, ce sont des appareils de réglage de courant, ils ont des applications nombreuses, pour l'excitation des dynamos, dont le courant doit être distribué à un voltage donné aux lampes électriques, à la décharge des accumulateurs, etc. (fig. 51).

En principe, un rhéostat comprend une série de couples en fils de cuivre A B C D..., réunis deux à deux par des pièces de connexion $x x x \dots x' x' x'$. Les connexions $x x x$ sont reliées

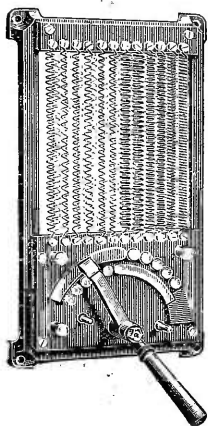


Fig. 53. — Régulateur de démarrage avec excitation automatique.

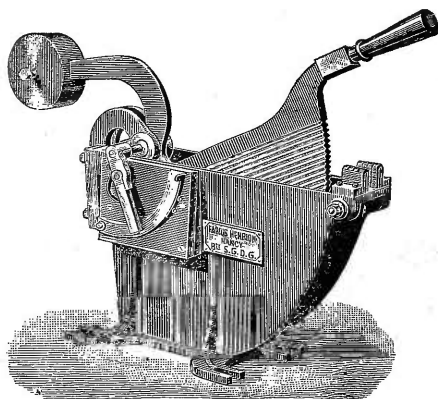


Fig. 54. — Régulateur hydraulique de démarrage.

par des fils aux *plots e f g h...* d'un commutateur M à plusieurs directions. Le circuit arrive par N, passe dans le couple A, sort par l'axe O et s'engage dans le circuit N'. En déplaçant

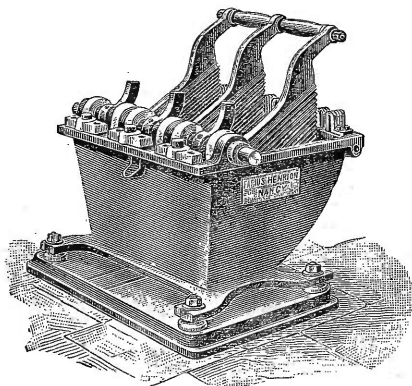


Fig. 55. — Appareil de démarrage hydraulique Henrion.

le levier L sur les plots *g h i*, etc., on met en circuit les spires B C D E. Les résistances sont, de cette façon, plus ou moins accrues et le courant subit les mêmes oscillations.

La figure 52 montre un rhéostat Gramme, construit sur le principe précédent ; les fils sont montés sur deux socles en ardoise, l'un d'eux porte la manette et les plots de contact. Il se construit, pour des machines excitées en série ou en dérivation, jusqu'à 120 volts. Pour les réceptrices, on emploie différents rhéostats de démarrage ; la figure 53 représente le type Henrion, il est à excitation automatique. On emploie aussi les régulateurs hydrauliques pour démarrage (fig. 54 et 55, Henrion), surtout dans les moteurs polyphasés.

Donc, une génératrice comprend un rhéostat d'excitation ; une réceptrice demande un rhéostat d'excitation et un rhéostat de démarrage.

Les manipulations à faire pour une génératrice et pour une réceptrice sont :

Génératrice

MISE EN MARCHÉ

1^o Exciter la dynamo au voltage indiqué, au moyen du rhéostat d'excitation.

2^o Fermer le circuit extérieur (1).

3^o Régler à nouveau le voltage.

ARRÊT

1^o Diminuer graduellement l'excitation au moyen du rhéostat.

2^o Couper le circuit extérieur.

3^o Couper l'excitation.

Réceptrice

MISE EN MARCHÉ

1^o Fermer l'excitation.

2^o Fermer le courant principal au moyen du rhéostat de mise en marche.

ARRÊT

1^o Couper le circuit principal au moyen du rhéostat de mise en marche.

2^o Couper l'excitation.

On emploie aussi des *inverseurs de marche* pour les réceptrices, elles peuvent tourner dans les deux sens.

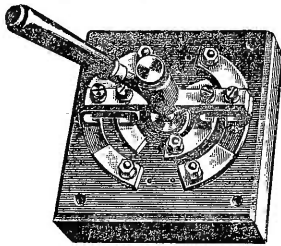


Fig. 56. — Commutateur bipolaire à 2 directrices jusqu'à 15-20 amp. (Henrion).

Le tableau de distribution comporte un certain nombre d'*interrupteurs* et de *commutateurs* (fig. 56), pour la fermeture ou l'ouverture du courant dans telle ou telle direction ; ils sont montés sur des plaques d'ardoise polies.

Les appareils de mesure, tels que voltmètres, ampèremètres, indicateurs de marche, etc., sont adjoints au tableau.

Si l'installation comporte une

(1) Fermer veut dire, dans ce cas, laisser passer le courant.

batterie d'accumulateurs, on intercale sur le circuit un *conjoncteur-disjoncteur* automatique et un *manipulateur adjoncteur*, pour régler la tension à la décharge.

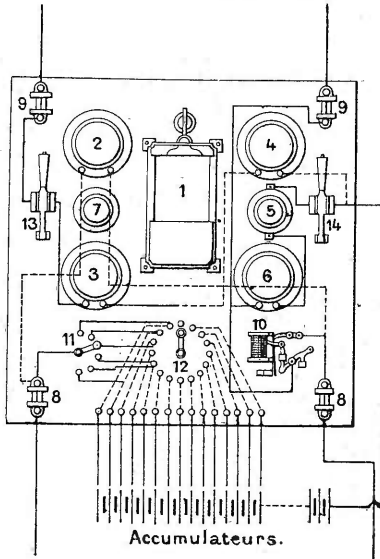


Fig. 57. — Tableau de distribution Henrion (Nancy).

La figure 57 est un tableau-type de la maison Henrion, pour dynamo en dérivation et une batterie d'accumulateurs chargée en une série.

ACCUMULATEURS

Les accumulateurs ou *piles secondaires* datent de 1860, époque à laquelle Planté, après les observations de la Rue, les réalisa pour la première fois. Ces appareils, comme leur nom semblerait l'indiquer, *n'emmagasinent pas de l'électricité*, ils *n'emmagasinent en charge que de l'énergie d'affinité chimique*, qu'ils restituent sous forme d'énergie électrique à la décharge.

L'énergie mécanique d'un moteur quelconque, d'intensité variable, peut donc être captée et être rendue par l'accumulateur avec une intensité supérieure; c'est là un des grands avantages de ces appareils. C'est aussi grâce à l'accumulateur que l'on peut obtenir l'éclairage électrique lorsque les dynamos sont arrêtées. Enfin, la traction électrique sur che-

min de fer et sur route, la mise en mouvement des bateaux sous-marins, ont été résolues par l'emploi des accumulateurs.

En principe, un accumulateur comprend un vase en verre V

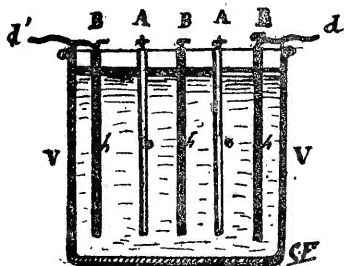


Fig. 58.— Principe d'une batterie d'accumulateurs.

(fig. 58), ou un bac en bois doublé en plomb ou en ébène, rempli d'eau acidulée (acide sulfurique SO^4H^2), appelée liquide électrolysable ou simplement *électrolyte*.

Dans le bac baignent des plaques de plomb A et B, appelées électrodes, reliées par des connexions à des conducteurs *d d'*, amenant le courant électrique ordi-

nairement pris en dérivation sur le circuit principal.

Théorie de l'accumulateur. — Si on lance un courant électrique dans l'appareil, l'eau est décomposée par électrolyse en ses deux éléments : hydrogène et oxygène. Sur les plaques positives de plomb A (anodes), se porte l'oxygène qui forme par combinaison du peroxyde de plomb (PbO^2). Sur les plaques négatives B (cathodes), se porte l'hydrogène qui la transforme en plomb réduit.

A la décharge, une action inverse se produit. Le circuit étant fermé (1), une nouvelle quantité d'eau se trouve décomposée, le peroxyde de la plaque A s'empare de l'hydrogène, ce qui le réduit à un degré d'oxydation moins élevé, tandis que l'oxygène se porte sur l'électrode B, et tend à oxyder en partie le plomb réduit. Ces combinaisons à la décharge produisent un courant électrique qui, conduit à une lampe ou à une dynamo (électromoteur), produit de la lumière ou du mouvement.

Un accumulateur du type que nous venons de décrire aurait une faible capacité et serait d'aucun emploi ; dans la pratique, on place plusieurs bacs, puis on les réunit en batterie.

Formation et matières actives des accumulateurs. — Ce n'est qu'après une série de charges et de décharges successives, que les électrodes acquièrent une certaine *capacité* ou

(1) Fermer un circuit, c'est réunir les deux extrémités des conducteurs.

porosité électrique. La plaque de plomb servant d'anode porte une couche de bioxyde de plomb, la plaque servant de cathode est, au contraire, formée de plomb à état spongieux. Ces parties, soumises aux combinaisons chimiques, constituent la *matière active* de l'accumulateur, et leur obtention constitue, ce que l'on appelle en langage électrique, leur *formation*.

On emploie deux genres de formation dans les accumulateurs actuels :

1° *Formation naturelle* ;

2° *Formation artificielle.*

La formation naturelle, genre Planté, s'obtient par une série de charges et de décharges électriques, il faut plusieurs mois pour obtenir une couche poreuse.

La formation artificielle a été trouvée, en 1881, par M. C. Faure, elle ne demande que quelques heures pour être obtenue. En principe, cette méthode consiste à enduire les électrodes d'une couche de minium ou litharge (sulfate de plomb), qui, sous l'influence de l'électrolyse, donnera, comme dans la formation naturelle, du peroxyde noir de plomb et du plomb réduit poreux.

Pratiquement, la plaque de plomb positive s'use beaucoup plus rapidement que la plaque négative, une certaine quantité de matière active tombe au fond du liquide. Cette chute est due aux oxydations et aux désoxydations successives.

Capacité utilisable des accumulateurs. — On entend par capacité utilisable des accumulateurs, la quantité d'électricité en ampères-heure qu'ils peuvent débiter. Ainsi, un accumulateur d'une capacité de 18 ampères-heure débitera : $3600 \times 18 = 64.800$ ampères. La capacité d'un accumulateur dépend de la quantité de matière active et de sa surface.

Types d'accumulateurs

1° ACCUMULATEURS A FORMATION NATURELLE. — Parmi ceux-ci, il faut citer ceux de Planté, de Tudor, de Peyrusson, etc.

Système Peyrusson. — Ce genre d'accumulateur est construit par MM. Pautier frères, à Angoulême. Chaque élément comprend deux électrodes (une négative et une positive), contenues primitivement dans un vase en grès, mais remplacé, aujourd'hui, par un bac en verre (fig. 61).

L'électrode positive est formée d'une forte tige centrale (fig. 60) servant de connexion, autour de laquelle sont soudés de nombreux feuilletts en plomb de 1/2 millimètre d'épaisseur

et rayonnant. Ceux-ci sont encastrés dans des culots en plomb de façon à former un tout rigide. Deux coupelles en porcelaine servent à isoler les deux électrodes.

L'électrode négative (fig. 59) est formée par une seule

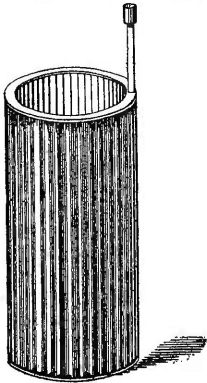


Fig. 59. — Plaque négative.

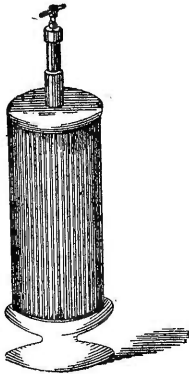


Fig. 60. — Plaque positive.

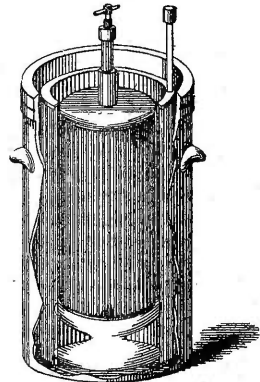


Fig. 61. — Élément monté.

feuille de plomb de 1/2 millimètre d'épaisseur, également plissée en éventail et roulée en cylindre. Des fentes sont pratiquées pour permettre au liquide électrolyte de circuler dans toutes les parties de l'appareil. Deux couronnes en plomb assurent la solidité, une tige sert de connexion. L'appareil est fermé par un couvercle.

MM. Pautier construisent un nouveau type d'électrode. Celle-ci est plane et constituée par une lame de plomb plissée de 1/2 millimètre d'épaisseur et perforée. Plusieurs éléments sont montés dans des bacs en ébonite, reçus dans des boîtes en bois.

La faible épaisseur des électrodes Peyrusson a permis de réduire considérablement le poids des batteries d'accumulateurs. Néanmoins, la résistance de construction est suffisante. En effet, la capacité de 40 ampères-heure, garantie par mètre carré de surface active, n'intéresse que 0 m. 027 d'épaisseur de l'électrode, soit 1/30 de millimètre d'épaisseur. Chaque kilogramme de plomb, au début de l'emploi, offre une capacité de 12 à 15 ampères-heure ; celle-ci s'accroît pendant le fonctionnement de la batterie.

Charge et décharge des batteries. — Les électrodes étant bien isolées par les manchons de porcelaine, les courts-circuits sont impossibles, les charges et les décharges peuvent s'éle-

ver à 4 ou 5 ampères-heure par kilogramme, sans danger de destruction. La conduite des batteries demande moins de prudence que celle des accumulateurs à formation artificielle.

Rendement. — Le rendement en intensité s'élève de 80 à 90 o/o, lorsque les accumulateurs sont déchargés avec modération, c'est-à-dire dans les limites ordinaires.

Système Henrion. — L'accumulateur Henrion est constitué par une série de bacs en verre remplis d'eau acidulée, dans laquelle baignent les électrodes. Celles-ci (fig. 62 et 63) sont

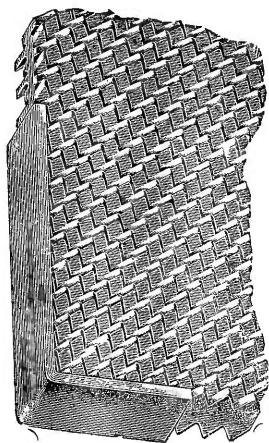


Fig. 62. — Plaque positive.

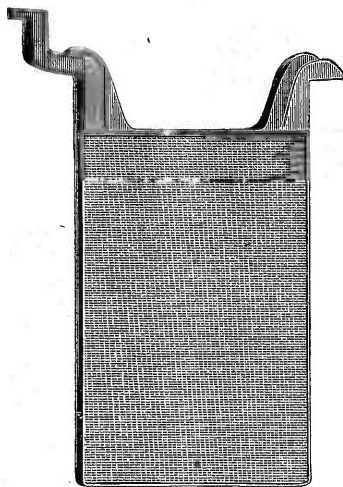


Fig. 63. — Plaque négative.

constituées par des lames de plomb épaisses formant âme ; sur celles-ci sont soudées des lamelles à clous assurant la rigidité des plaques. L'oxyde de plomb se forme sur les clous ; mais, comme ceux-ci ne sont pas en ligne continue, ils ne peuvent exercer aucun effort de traction ni de torsion. La figure 64 montre l'installation de plusieurs accumulateurs à poste fixe.

2^o ACCUMULATEURS A FORMATION ARTIFICIELLE. — **Système Faure.** — Dans cette classe on trouve beaucoup de systèmes ; citons seulement celui de Faure-Sellon-Volckmar, construit par M. Valls (Paris). Cet accumulateur est du type de ceux dits à grilles et à pastilles. La grille comprend des cavités

appelées cellules, où se trouve de la matière active formant des pastilles.

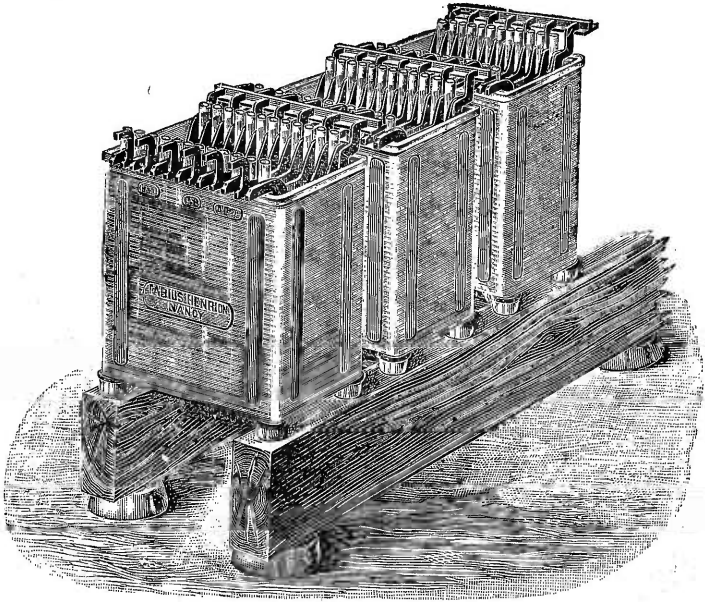


Fig. 64. — Batterie d'accumulateurs Henrion (Nancy).

L'électrode négative comprend une charpente D (fig. 65), quadrillée en métal inaltérable ; dans les cellules *m* est comprimée la matière active (minium), leur forme est un peu évasée pour empêcher la chute de l'oxyde. L'ensemble est soutenu par deux tiges H.

L'électrode positive (fig. 66) a un support en plomb doux P, qui devient actif au fur et à mesure du fonctionnement de l'accumulateur. La perte de capacité est ainsi comblée. L'ensemble est cloisonné par des nervures *ee*, dont les unes sont inclinées en sens inverse de la chute de la matière active qui s'y trouve comprimée. Les cellules sont de faible dimension. Pour donner plus de solidité à la plaque, on dispose des membrures *aa*, verticalement et horizontalement ; enfin, des ouvertures circulaires *tt* évitent les déformations. La réunion des éléments dans la cuve de l'accumulateur se fait par des *collecteurs-pôle*, auxquels aboutissent les tiges de soutien A.

Installation des batteries d'accumulateurs

Une batterie d'accumulateurs comprend une réunion de 40 à 60 bacs, étagés sur une charpente en bois isolée de terre par

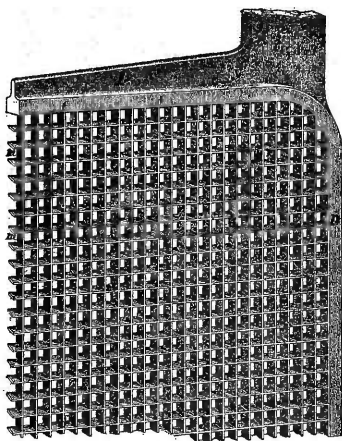


Fig. 65.— Électrode négative système Faure-Sellon-Volckmar.

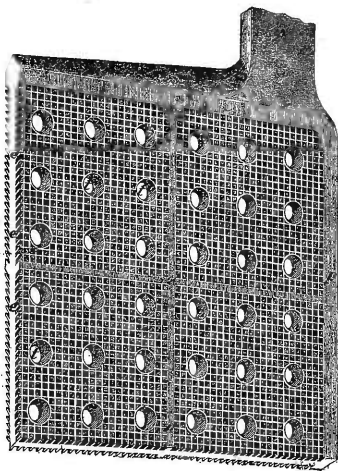


Fig. 66.— Electrode positive système Faure-Sellon-Volckmar.

des isolateurs en porcelaine à bain d'huile (fig. 67 et 68). Les bacs sont également isolés de la même manière.

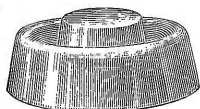


Fig. 67.— Isolateur en porcelaine pour étagère.



Fig. 68.— Isolateur en porcelaine avec bain d'huile.

La salle des accumulateurs doit être très propre et bien éclairée. Le groupage des éléments se fait en tension, de façon à obtenir le voltage et le débit nécessaire à l'alimentation des lampes électriques ou des électromoteurs.

Problèmes sur les accumulateurs

1^{er} PROBLÈME. — Combien faut-il employer d'éléments dans une batterie d'accumulateurs devant s'arrêter à la décharge à 1 volt 8 par élément, et devant alimenter des lampes à incandescence : 1^o à 70 volts ; 2^o à 110 volts.

1^{re} Réponse. — Les éléments se déchargeant en tension, on aura à 1 volt 8 : $\frac{70}{1,8} = 39$ éléments.

2^e Réponse :

$$\frac{110}{1,8} = 62 \text{ éléments.}$$

2^e PROBLÈME. — Quel est le poids de plomb qu'il faut employer dans une batterie d'accumulateurs pour produire un travail de 2 chevaux-vapeur, pendant une heure ?

Réponse. — Le cheval-vapeur vaut 736 watts par seconde, d'où la batterie devra donner $736 \times 3.600 \times 2 = 5.299.200$ watts.

On compte, en moyenne, qu'un kilogramme de plomb peut donner 6 ampères-heure, avec une différence de potentiel de 2 volts.

D'où un travail de : $6 \times 3.600 \times 2 = 63.200$ watts.

Le poids du plomb sera : $\frac{5299200}{63200} = 84$ kilogrammes.

3^e PROBLÈME. — Combien de lampes à incandescence de 10 bougies, à 3 watts par bougie, peut alimenter la batterie précédente, pendant cinq heures ?

Réponse. — Des 5.299.200 watts, on pourra utiliser par heure : $\frac{5299200}{5} = 1.059.840$ watts.

Une lampe de 10 bougies prendra par heure :

$$3 \times 10 \times 3.600 = 108.000 \text{ watts.}$$

Le nombre de lampes sera : $\frac{1059840}{108000} = 10$ lampes.

Charge conjoncteur-disjoncteur et décharge des accumulateurs. — Le courant de charge d'une batterie d'accumulateurs doit être en proportion avec le nombre d'éléments employés. Donnons un exemple :

Si une batterie a 62 éléments, dont la force électromotrice de chaque atteint 2 v. 5 à la fin de la charge, le courant à envoyer pour la charge devra être de : $2,5 \times 62 = 155$ volts.

Si l'on ne dispose que d'une dynamo de 80 volts, il faudra diviser la batterie en deux groupes de 31 éléments, réunis en quantité, et absorber, avec un rhéostat, 2 v. 5.

Le débit du courant en ampères varie suivant le nombre d'éléments et de leur capacité; il faut suivre, dans ce cas, les indications du constructeur.

Quand une batterie débute en service, il faut former à nou-

veau les plaques en leur fournissant un courant d'un demi-ampère par kilogramme d'électrodes, pendant 40 heures environ. Dans certains systèmes, ce chiffre est porté à 1, 2 ou 3 ampères par kilogramme.

En observant pendant la charge la tension des accumulateurs, on remarque au voltmètre que la charge monte uniformément jusqu'à 2 volts 05 par élément. Elle reste stationnaire pendant un certain temps, pour s'élever ensuite graduellement jusqu'à 2,58 et 2,60 volts. A ce moment il faut arrêter la charge, le bouillonnement de l'électrolyte l'indique.

Chaque installation d'accumulateurs doit être munie d'un appareil de sécurité, appelé conjoncteur-disjoncteur (fig. 69).

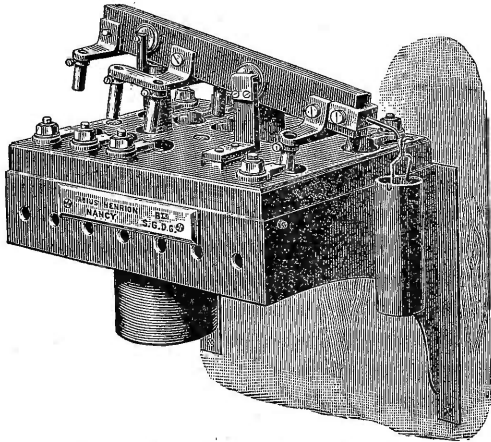


Fig. 69. — Conjoncteur-disjoncteur automatique Henrion.

Dès que l'intensité du courant est suffisante, celui-ci va à la batterie; si la dynamo vient à être arrêtée, le circuit est coupé et les accumulateurs ne peuvent se décharger sur la dynamo, autrement il y aurait un renversement de courant qui pourrait détériorer l'induit de la machine. Cet appareil permet la charge des accumulateurs avec une force variable, telle que celle du vent, comme nous l'avons vu.

A la décharge de la batterie, on récupère l'électricité moins les pertes. Pour l'alimentation des lampes, on doit pouvoir régler le nombre des éléments mis en décharge afin d'obtenir le voltage auquel elles fonctionnent.

Exemple. — Soit à alimenter des lampes à 110 volts avec une batterie de 62 éléments, ayant au début de la décharge une tension de 2 volts 6 chaque ?

Réponse. Nombre d'éléments à mettre en décharge au début :

$$\frac{110}{2,6} = 43 \text{ éléments.}$$

On devra absorber 1 v. 8 avec un rhéostat.

Quand le voltage diminue, on ajoute en circuit, au moyen d'un appareil appelé *réducteur de charge* ou *manipulateur-adjoncteur*, un certain nombre d'éléments pour remonter la tension.

Si, dès le début, nous avons mis les 62 éléments en décharge, la tension aurait été de $62 \times 2,6 = 161$ volts 2. Les lampes auraient été brûlées.

On construit ordinairement trois types d'accumulateurs, au point de vue de la durée de la décharge : 1° décharge variant de 3 à 10 heures ; 2° décharge en 2 heures ; 3° décharge rapide en 1 heure.

Plus la décharge est lente et l'intensité du courant basse, plus est élevé le rendement des accumulateurs. On estime que le voltage s'élève à 85 et 90 o/o de la force électromotrice reçue, et le rendement en travail varie entre 60, 70 à 80 o/o.

Entretien des batteries d'accumulateurs. — En dehors des soins de montage et de charge des plaques, on doit apporter la plus grande attention à l'entretien de la batterie. Le liquide électrolytique ou électrolyte doit être composé avec de l'eau très pure, distillée généralement, pour éviter le fer et le chlore. On devra verser l'acide sulfurique dans le liquide, en agitant doucement, pour rendre le mélange homogène, jusqu'à ce qu'il pèse 20° à 22° à l'aréomètre Baumé, suivant les systèmes.

En cours de marche, on doit visiter les bacs et opérer les nettoyages, afin d'éviter les courts-circuits.

L'entretien annuel des accumulateurs constitue une dépense assez élevée, qu'il faut évaluer à 10 o/o en moyenne; pour les types à grande capacité, la dépense ne s'élève pas à plus de 3 o/o. Les batteries pour la traction des voitures demandent un entretien très élevé, qui n'est pas moindre de 20 à 25 o/o par an.

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

Nous voici arrivé à la question la plus intéressante de l'électricité, c'est-à-dire à ses emplois en agriculture. L'industrie actuelle applique cette force à des usages multiples; l'agriculture jusqu'ici ne peut la mettre à contribution qu'à l'éclair-

rage et aux transports de force à distance. Mais que d'applications utiles et pratiques pourraient être faites par notre agriculture nationale, si les hommes dévoués et propriétaires terriens voulaient se mettre à la tête du progrès.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

PRINCIPE. — La lumière électrique est obtenue au moyen de corps offrant une très grande résistance au passage du courant, et devenant suffisamment incandescents pour projeter dans l'espace des rayons lumineux.

Quand la lumière électrique est produite par simple incandescence dans le vide (sans oxygène), on a l'éclairage par *lampes à incandescence*; quand, au contraire, l'éclairage se fait à l'air par une série d'étincelles formant *arc voltaïque*, on a l'éclairage par *lampes à arc*. Nous allons passer en revue ces deux méthodes d'éclairage, mais avant, nous devons dire quelques mots de la mesure de l'intensité lumineuse d'un foyer électrique.

Unités photométriques. — Elles sont au nombre de trois : le *carcel* employé en France, le *candle* employé en Angleterre et la *bougie* employée en Allemagne. Actuellement, on n'emploie guère que la bougie comme unité courante. Voici le tableau comparatif des différentes unités entre elles.

Désignation	Etalon de M. Violle	Carcel	Bougie de stéarine	Candle	Bougie allemande
Etalon de M. Violle	1	2,080	13,520	15,392	15,808
Carcel	0,481	1	6,500	7,400	7,60
Bougie de stéarine	0,074	0,154	1	1,139	1,169
Bougie allemande	0,063	0,132	0,855	0,974	1

Eclairage par lampes à incandescence

HISTORIQUE. — Cet éclairage s'obtient au moyen d'un fil de charbon, rendu incandescent dans une ampoule de verre où le vide existe. La moindre parcelle d'oxygène détruirait ce fil par combustion. Edison essaya, en 1878, de rendre incandescent le platine. C'est en 1879 que Swan inventa la lampe à filament de charbon, renfermé dans une ampoule de verre où le vide existait. La même année, Edison essaya un filament enroulé, fabriqué avec du noir de fumée et du goudron carbonisé. Swan prépara des filaments avec du coton parcheminé dans l'acide sulfurique, puis carbonisé. Enfin, en 1880, Edison résolut le problème définitivement, il remplaça le coton par une fibre

de bambou carbonisée. Aujourd'hui, on emploie généralement des fils de charbon préparés avec de la cellulose parcheminée et carbonisés en vase clos.

Lampes à incandescence. — Une lampe à incandescence moderne comprend une ampoule de verre mince, en forme de poire V (fig. 70), obtenue par soufflage. Le vide est fait, à l'intérieur, au moyen de trompes à mercure, pouvant traiter 200 et 300 lampes à la fois. Le goulot est fermé par une douille ou culot C, portant à l'intérieur une matière isolante (plâtre, porcelaine, nitrite), dans laquelle sont noyés deux fils de platine *ee*, auxquels sont attachées les extrémités du filament de charbon *u*. Le courant, entrant par A, reçoit de la part du fil *u* une très grande résistance, qui détermine une production de chaleur énorme portant le charbon au rouge blanc, puis il sort par B.

La disposition du filament à l'intérieur de l'ampoule varie suivant les constructeurs. Edison a adopté la forme en U (fig. 70), Maxim a employé la forme en boucle (fig. 71). Les figures 72 et 73 montrent une lampe Henrich avec son culot à baïonnette, servant à le fixer à la douille (fig. 73).

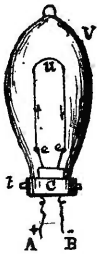


Fig. 70

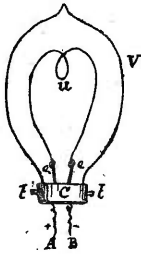


Fig. 71

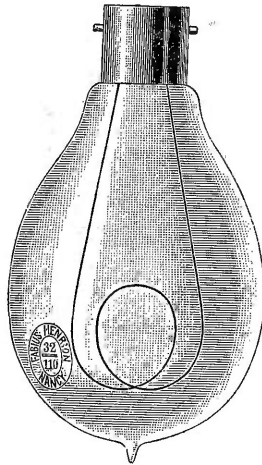


Fig. 72



Fig. 73

Fig. 70. — Lampe à incandescence Edison. — Fig. 71. — Système Maxim. — Fig. 72. — Lampe électrique. — Fig. 73. — Culot à baïonnette pour fixer les lampes électriques.

Puissance et durée des lampes. — La dépense d'électricité des lampes à incandescence est proportionnelle à l'intensité lumineuse que l'on veut obtenir. Si on réduit la dépense, la durée

de la lampe diminue aussi ; ainsi une lampe, construite pour une dépense de 4 watts par bougie, dure 1000 à 1200 heures ; à 3 watts 5, elle ne dure que 700 à 800 heures ; à 3 watts, 500 heures ; à 2 watts 5, 300 heures seulement. Donc, en principe, si la puissance électrique est à bon marché, il faut faire durer les lampes le plus longtemps possible ; au contraire, quand la puissance s'achète à plus de 1 fr. le kilowatt-heure, on aura avantage à réduire la durée des lampes. Le prix d'achat de celles-ci est largement compensé par l'économie de force.

Ordinairement, la lampe porte une étiquette indiquant le voltage et le nombre de bougies ; ainsi 110-16 veut dire que la lampe est construite pour un courant de 110 volts et pour une intensité lumineuse de 16 bougies. En moyenne, chaque lampe coûte 1 fr. 20.

Calcul de la puissance motrice pour une installation de lampes à incandescence. — Ce problème est de la plus haute importance. Si l'on connaît le voltage du courant et le débit nécessaire par unité, on peut déterminer le *travail théorique* par seconde au moyen de la formule $T = I^2 R$. En multipliant par le nombre n de lampes, on a le travail total.

Exemple : 20 lampes de 16 bougies demandent un débit de 0,6 ampère par seconde, la résistance est de 170 ohms ; quel est le travail nécessaire ?

$T = 0,6 \times 0,6 \times 170 \times 20 = 1224$ watts ou 1 ch. 69 par seconde.

Le problème peut se résoudre d'une autre façon, connaissant le travail absorbé par chaque lampe.

Exemple : Quel est le travail théorique demandé par 20 lampes de 16 bougies, demandant 3 watts 5 par bougie ?

$T = 3,5 \times 16 \times 20 = 1120$ watts, soit 1 ch. 5.

Il faudra ajouter à cette dépense les pertes dues à la résistance de la canalisation.

Montage des lampes. — Le montage le plus employé pour les lampes à incandescence se fait en dérivation, il est encore appelé montage en arc parallèle (fig. 74).

Les conducteurs d'aller et de retour A et B alimentent des fils en dérivation $n n n$, sur lesquels sont montées les lampes $f f$, indépendantes les unes des autres. Pour éclairer dans

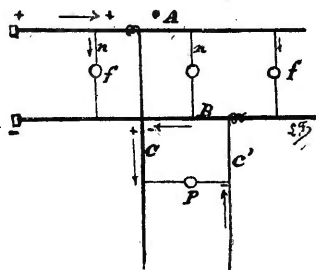


Fig. 74. — Montage des lampes à incandescence en dérivation.

d'autres directions, on prend en dérivation, sur les conducteurs A B, une canalisation CC', qui permet d'intercaler d'autres lampes P.

Le groupage en *série* consiste à monter toutes les lampes sur le circuit, à la condition de prendre des lampes à un certain potentiel. Ainsi, un courant de 120 volts admettrait 2 lampes de 60 volts en série, 4 à 30 volts. Dans ce groupage, les lampes sont dépendantes les unes des autres.



Fig. 75. — Conducteurs en dérivation sous la même enveloppe (Henrion).

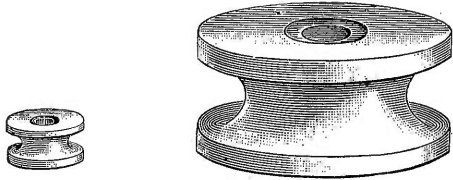


Fig. 76 et 77. — Poulies isolantes.

Détails du montage. — Les conducteurs employés à l'intérieur des bâtiments doivent être placés sous isolement en caoutchouc, recouvert de fil de soie ou de tresse. Souvent, les deux conducteurs de la dérivation sont placés sous la même enveloppe (fig. 75).

Dans les salles habitées, on dissimule ordinairement les fils conducteurs dans des moulures en bois de la même couleur que celle de l'ameublement. Depuis quelque temps, on fait

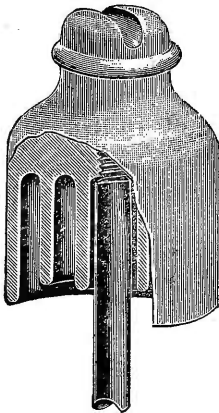


Fig. 78. — Cloche isolatrice.

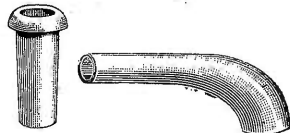


Fig. 79. — Passe-fils. Fig. 80. - Pipe.

usage de tubes en carton bitumé, raccordés au plomb (système Bergmann).

Mais, généralement, les conducteurs sont tendus le long des murs, soutenus de distance en distance par des isolateurs en porcelaine en

forme de poulie (fig. 76 et 77) ou de cloche en porcelaine (fig. 78). Pour traverser les cloisons peu épaisses, on se sert de passe-fils (fig. 79), et pour les murs on emploie les pipes (fig. 80).

Chaque lampe doit être munie d'un interrupteur pour ouvrir ou fermer le circuit; le plus simple est l'interrupteur unipolaire (fig. 81 et 82).

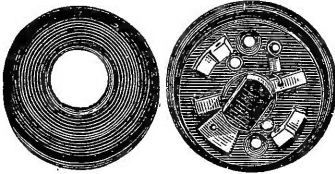


Fig. 81.
Interrupteurs unipolaires.

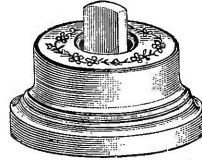


Fig. 82.

Afin de prévenir l'échauffement des fils pouvant occasionner des incendies, on intercale dans le circuit un coupe-circuit (fig. 83). Lorsque le voltage dépasse la limite de sécurité, une lame de plomb fond et intercepte le courant. Pour le rétablir, on remplace la lame de plomb.

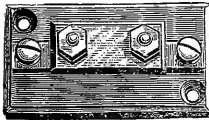


Fig. 83. - Coupe-circuit unipolaire
(Bardon).

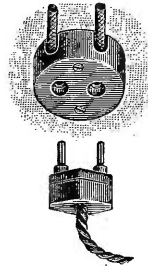


Fig. 84. - Prise de courant.

Les conducteurs de dérivation se greffent sur le circuit au moyen de prises de courant (fig. 84).

Éclairage par arc voltaïque

L'éclairage par arc se fait à l'air, au moyen de deux charbons taillés en pointe, placés à une faible distance. Ce phénomène a été observé, pour la première fois, par H. Davy. On peut employer, indifféremment, les courants continus ou les courants alternatifs.

Pour que l'arc jaillisse, il faut que les pointes de charbon soient en contact, car la différence de potentiel est insuffisante à une étincelle pour franchir même $\frac{1}{1000}$ de millimètre d'un espace d'air. Mais quand les charbons sont en contact, un courant s'établit de l'un à l'autre, et, lorsqu'on les sépare, une étincelle se produit, volatilissant une petite quantité de charbon; la température est d'environ 3500° C., d'après Violle. La vapeur de charbon, très échauffée, radie beaucoup plus de lumière que l'arc lui-même.

L'intensité d'éclairement étant beaucoup plus puissante que celle donnée par les lampes à incandescence, les lampes à arc peuvent être employées pour les travaux des champs exécutés la nuit, comme cela se pratique en Amérique (1). On emploie, dans ce système d'éclairage, les *lampes à arc* et les bougies électriques.

Lampes à arc. — On emploie, dans ces lampes, des crayons en charbon de forme cylindrique (fig. 85), ayant 10 à 11 millimètres de diamètre et 0 m. 40 de longueur. Ils sont fixés l'un au-dessus de l'autre, les pointes à 5 millimètres d'intervalle. Comme l'usure est d'environ 2 centimètres 1/2 par heure, il faut compenser cette perte par un rapprochement automatique des crayons. On emploie pour cela des régulateurs.

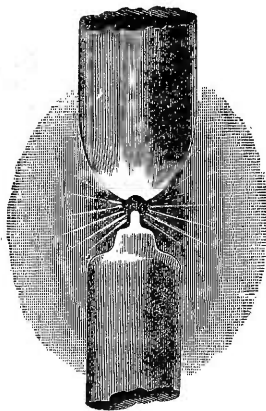


Fig. 85.— Charbons.

Quand on se sert des courants continus, le crayon positif s'use beaucoup plus vite que le négatif, des particules de charbon sont arrachées et son extrémité se creuse en cratère, tandis que la pointe négative s'allonge. Avec les courants alternatifs, l'usure est régulière.

On emploie des charbons artificiels; il entre, dans leur fabrication, de la poudre de coke, du noir de fumée, du sirop de

(1) Dans quelques fermes de l'Allemagne, on utilise des lignes d'éclairage portatives. Les supports sont formés par trois piquets en trépied, avec isolateurs pour les fils soutenant chacun une lampe à arc. La ligne se déplace d'un champ à l'autre, suivant les cultures à exécuter pendant la nuit.

sucre; la pâte est soumise à la presse hydraulique, puis, passée dans une filière, de laquelle sortent les crayons très réguliers. Ceux-ci sont ensuite portés dans un creuset et soumis à une haute température.

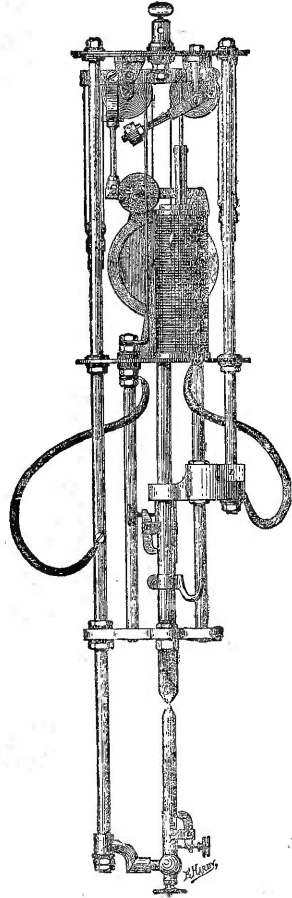
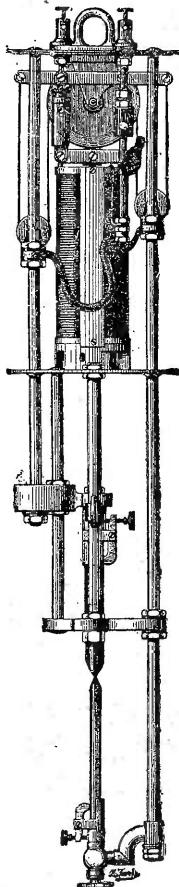
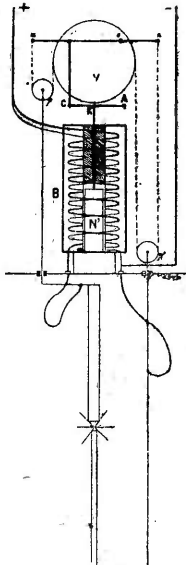


Fig. 86.— Principe de la lampe Bardon. — Fig. 87.— Lampe Bardon pour courants continus. — Fig. 88.— Lampe Bardon pour courants alternatifs.

Les lampes à arc se différencient par leur système de réglage. On a abandonné les régulateurs à mouvement d'horlogerie, dont le premier type a été inventé par Foucault. On

emploi, aujourd'hui, des régulateurs à bobines formant électro-aimant, qui élèvent ou abaissent les porte-charbons. L'excitation de ces bobines se fait en tension, en dérivation, ou en compound. Dans ce dernier cas, on a les *régulateurs différentiels*, qui sont certainement les meilleurs.

Lampe Bardon. — M. Bardon, constructeur, 61, boulevard National (Paris), fabrique un excellent système de lampe à arc différentielle, à point lumineux fixe.

En principe (fig. 86), cette lampe comprend un boisseau B métallique dans lequel se trouve une bobine excitée par le fil conducteur et par un fil plus fin pris en dérivation, agissant en sens contraire. Le premier fil est relié au porte-charbon positif, le deuxième au porte-charbon négatif. Dans l'intérieur de la bobine se trouve un noyau en fer doux N, creusé inférieurement pour en recevoir un mobile N', muni d'une tige K fixée à un sabot A C, faisant frein sur une poulie à gorge V. Le sabot oscille autour de A, il commande en même temps un levier C o', relié en o' à un levier d'allumage *mn* oscillant en o. Un cordelet en soie, attaché à l'extrémité *m*, supporte une poulie *p*, à laquelle est fixé le porte-charbon positif, puis il passe sur V, soutient une deuxième poulie *p'*, portant le porte-crayon négatif et revient s'attacher en *n*.

Fonctionnement et réglage. — Au repos, les charbons, sollicités par la masse du porte-charbon supérieur, se rapprochent et restent en contact. Lorsque le courant passe dans la bobine, le noyau N attire le noyau N', celui-ci monte et, par le levier K, fait agir le frein A C sur le volant V et l'immobilise. Le levier *mn* bascule autour de o, en faisant éloigner les deux charbons; celui du haut monte, tandis que celui du bas descend : l'arc jaillit au même instant.

La lampe fonctionnant, les charbons diminuent de longueur, l'arc grandit et la résistance est augmentée. L'excitation de la bobine N diminue, le noyau N' est moins attiré et descend, desserrant le frein. Un glissement du cordelet se produit et les deux charbons se rapprochent. Le réglage se fait d'une manière ininterrompue et l'appareil est d'une grande sensibilité. La figure 87 représente la lampe Bardon pour courants continus, sans appareillage, et la figure 88 le type pour courants alternatifs; les débits varient entre 2 à 6 ampères et les prix oscillent entre 100 à 110 fr. La durée des charbons, suivant les modèles et le débit, va de 6 à 16 heures.

Lampe Pilsen. — Une très bonne lampe à arc est le système Pilsen, de M. Henrion (Nancy). La figure 89 représente

la lampe à courants continus dépourvue de tout appareillage. Le schéma (fig. 90) nous permettra d'expliquer le fonctionnement. Sur deux bobines s'enroulent des solénoïdes S S'; S reçoit le courant et se fixe à la tige A; S' prend un courant

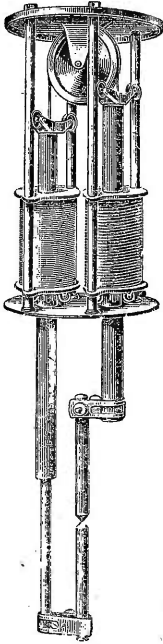


Fig. 89. — Lampe Pilsen.

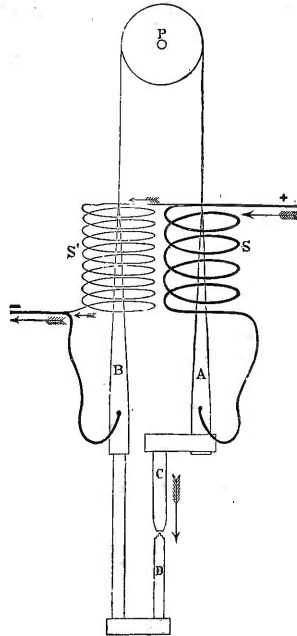


Fig. 90. — Principe de la lampe Pilsen.

dérivé et se relie au circuit. Les solénoïdes sont traversés par deux tiges coniques A et B, suspendues au moyen d'un cordon passant sur une poulie à gorge P, et munies inférieurement de porte-charbons C et D. Le guidage des tiges A et B se fait au moyen de galets et de glissières très visibles sur la figure 89.

Fonctionnement. — Au repos, les charbons C et D ont leurs pointes en contact; quand le courant circule dans le solénoïde S, celui-ci aspire la tige A, C s'éloigne de D et l'arc jaillit. Au fur et à mesure que l'arc s'allonge, l'intensité du courant diminue et S laisse redescendre A, mais, en même temps, S' recevant plus de courant aspire B, l'arc diminue. La combinaison des efforts des solénoïdes tend donc à maintenir les

charbons à une distance proportionnelle à l'intensité du courant. Dès qu'il y a une augmentation, le soléno S attire A et l'arc, devenant plus grand, absorbe la variation. Le phéno-

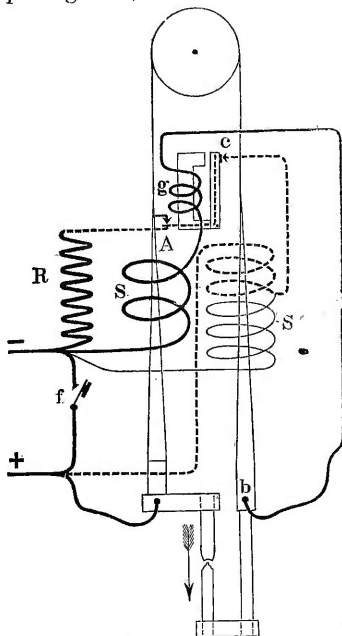


Fig. 91.— Principe de la lampe à arc Pilsen, à courants alternatifs.

mène inverse se produit, lorsque la résistance augmente et que l'intensité lumineuse diminue. La lampe Pilsen est donc différentielle et d'une grande sensibilité ; le centrage des charbons se fait au moyen d'un dispositif très rapide.

La lampe Pilsen à courants alternatifs diffère un peu de la précédente. D'après le schéma (fig. 91), supposons qu'à la mise en marche les charbons ne se touchent pas, le courant passe de la borne + à travers le gros fil représenté en pointillé ----- qui fait le tour de la bobine dérivée S', et de là, par le contact en platine C, dans la résistance R qui communique au pôle -. Le crayon inférieur est alors attiré par le soléno S' et les charbons viennent en contact. A ce moment, un nouveau chemin est ouvert au courant qui, du pôle +, peut passer à travers les charbons, puis par l'électro-aimant g et la bobine principale S, pour regagner le pôle -. Par suite de l'aimantation de l'électro g, le contact en platine C est rompu et le

courant principal ne traverse plus que l'axe, l'électro g et la bobine S , tandis que la dérivation est formée par les deux enroulements du solénoïde S' qui prend ses contacts aux deux bornes de la lampe.

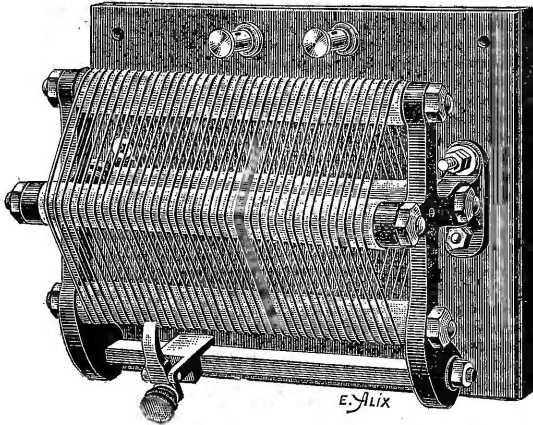


Fig. 92. — Rhéostat de réglage des lampes à arc Bardon.

Lorsque les charbons sont usés, il se produit un contact en A , et le courant passe directement du pôle $+$ au pôle $-$ à travers la résistance R , la lampe étant hors du circuit.

Enfin, une clef f permet de mettre la lampe hors circuit, sans que le courant passe par la résistance R .

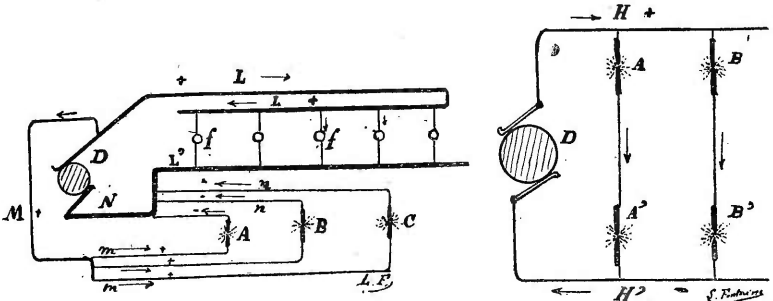


Fig. 93. — Montage des lampes à arc en tension avec des lampes à incandescence en dérivation.

Fig. 94. — Montage des lampes à arc en dérivation.

Montage des lampes à arc. — Les lampes à arc fonctionnent à des bas voltages, compris entre 45 et 55 volts. Il est donc

indispensable d'intercaler dans le circuit un *rhéostat de réglage des lampes*. Comme excellent système, nous indiquerons celui de M. Bardon (fig. 92). La carcasse est en fonte, recouverte d'amiante, sur laquelle sont tendus des fils de ferro-nickel, métal de haute résistance électrique. Un curseur, mobile le long d'une tringle en cuivre, permet de régler la résistance avec beaucoup de précision.

Le premier mode de groupage est celui en tension (fig. 93). La dynamo est en D, on prend un courant en dérivation M, sur lequel s'en greffent d'autres *mmm* se rendant aux lampes ABC, les fils *nnn* ramènent le courant au balai conducteur N. Dans notre figure, on voit, associé à l'éclairage précédent, l'éclairage à incandescence, dont le fil L alimente par dérivation les lampes *fff*; le courant revient par L' se greffer au conducteur N. Il faut employer une dynamo à débit constant.

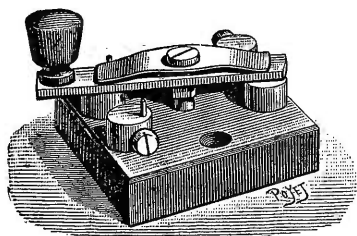


Fig. 95.— Interrupteur à plots, socle en marbre ou en ardoise (Bardon).

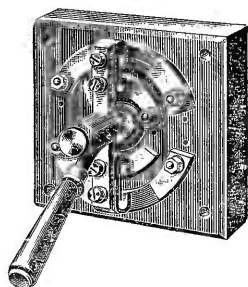


Fig. 96.— Commutateur à plusieurs directions (Henrion).

On peut parfaitement monter les lampes à arcs sur le circuit des lampes à incandescence à 110 volts. Dans ce cas, il faudrait grouper ces lampes en série de deux, chacune prend 40 volts, la différence est absorbée par la résistance des conducteurs et par un rhéostat. L'inconvénient du montage en série réside dans la dépendance de tous les régulateurs.

Le montage en *dérivation* ou en *arc parallèle* est le plus simple. Entre les conducteurs H et H' (fig. 94), partant des bornes de la dynamo D, on prend le courant en dérivation se rendant à deux lampes montées en série AA, BB', pour que le voltage soit abaissé, comme nous l'avons vu plus haut.

Chaque groupe de lampes doit être muni d'un interrupteur, qui peut être à plots et à manette (fig. 95), ou on emploie un commutateur à plusieurs directions (fig. 96).

Appareillages des lampes à arc (1). - L'éclairage à arc se fait rarement à l'air libre, l'arc est renfermé dans des globes de verre dépoli, pour que la lumière soit moins crue. Pour l'éclai-

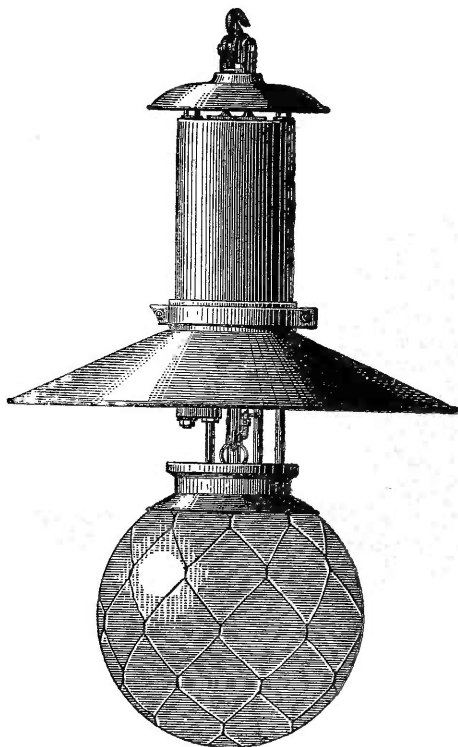


Fig. 97. - Appareillage pour éclairage à l'extérieur
(Bardon).

rage à l'extérieur, on ajoute, en outre, un réflecteur (fig. 97), qui répartit la lumière sur une plus grande surface.

Les globes pour l'éclairage à l'intérieur sont de forme très variable, les figures 98, 99, 100, 101 et 102 en donnent un certain nombre d'exemples.

(1) L'appareillage, dans l'éclairage électrique, consiste à joindre aux lampes certains organes pour projeter les rayons lumineux ou en atténuer l'éclat trop vif.

Répartition des lampes. — Dans l'éclairage à arc, il faut que les lampes soient placées à une certaine hauteur; voici quelques données réunies dans le tableau suivant :

Intensité en ampères	Longueur d'arc correspondante	Ecartement des lampes		Hauteur au-dessus du sol	Puissance en carrels	Energie absorbée en watts par carcel	Diamètre des charbons	Intensité lumineuse en bougies
		Extérieur	Grands locaux					
4	1,5 m/m	»	8m	4m	30	6	6,5	180
6	2 m/m	»	10	5 à 6	50	5,75	7,5	300
8	2,5	75m	12	8 à 10	70	5,50	9	450
10	3 m/m	100	16	12 à 14	90	5,25	10	550
20	4,5	200	24	20	200	4,5	16	1250
30	5	300	30	25	400	4	20	2500
50	7	500	50	32	650	3,5	28	3800

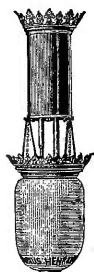


Fig. 98



Fig. 99



Fig. 100

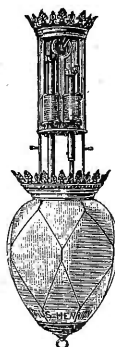


Fig. 101

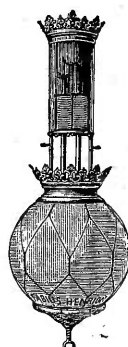


Fig. 102

Appareillages pour lampes d'éclairage d'intérieur (Henrion).

Pour l'éclairage des cours ou des champs, on est obligé d'élever la lampe à arc à une certaine hauteur, suivant sa puissance. On se sert pour cela de pylônes en fer (fig. 103), supportant les isolateurs d'arrivée de courant. Un petit treuil à manivelle permet de descendre la lampe pour le changement des charbons. Un support plus économique peut être

fait en bois, sous forme de mât (fig. 104), avec tête en fer forgé.

Les débits les plus courants pour les lampes à arc varient ordinairement de 2 à 12 ampères. Elles absorbent en tension 37 à 45 volts; en dérivation simple, 51 à 57 volts; en dérivation par groupe de deux, 99 à 105 volts, dépen- sant dans ce cas un centime et demi de charbons par lampe et par heure.

Bougies électri- ques.— Les bougies électriques ont été inventées par le Russe Jablochkoff, dans le but de simplifier l'éclairage à arc. Une bougie électrique consiste en principe, en deux charbons verticaux, séparés l'un de l'autre par un isolant se volatilisant au fur et à mesure de l'usure des charbons. La bougie est fixée à un support, auquel aboutissent les deux électrodes. L'arc jaillit entre les pointes des charbons, l'usure se fait très régulièrement, sans aucun appareil de réglage automatique. Le système d'éclairage par bougies électriques est peu employé.

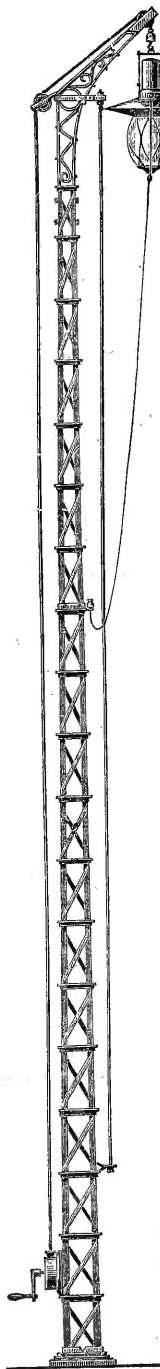


Fig. 103

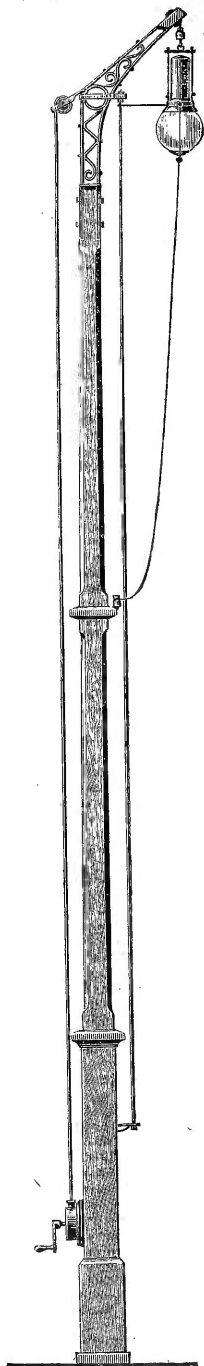


Fig. 104

Fig. 103.— Pylône en fer cornière (Henrion).
Fig. 104.— Mât.

Transport de l'énergie électrique à distance

L'avenir de l'électricité en agriculture réside, bien certainement, dans l'utilisation des forces naturelles gratuites, dont l'énorme puissance est perdue. Capter les forces des cours d'eau, du vent, des marées, et les transformer en électricité transportable au loin, au moyen de canalisations, tel a été le grand problème que les ingénieurs ont tenté de résoudre depuis 25 ans. Il est certain que, dans beaucoup de cas, les forces hydrauliques pourraient être asservies et employées à la commande des machines agricoles.

Le premier essai de transport de force électrique à distance est dû à MM. Fontaine et Gramme qui, en 1873, firent mouvoir, à une distance de 1000 mètres, une pompe centrifuge Neut et Dumont, au moyen de deux machines Gramme. En 1882, M. Marcel Desprez fit des expériences à l'exposition de Munich, où il transporta de Miesbach (57 kil.) la force de 1/2 cheval-vapeur avec 40 o/o de rendement. Il faut ensuite citer les expériences du chemin de fer du Nord, celles de Vizille à Grenoble, de Creil-Paris, etc.

Les premiers essais faits en agriculture datent de 1876, époque à laquelle MM. Chrétien et Félix, de Sermaize (Marne), employèrent des treuils électriques pour commander des charrues. Nous arrivons à des tentatives plus récentes. Vers 1894, M. le comte Asarta, de Fraforéano (Italie), actionne ses charrues, ses instruments d'intérieur, éclaire ses bâtiments et le village voisin au moyen de la puissance d'une roue hydraulique, située à 3 kilomètres, sur le *Roggia Barbarigo*.

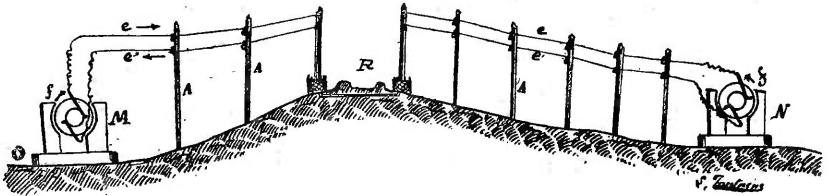


Fig. 105. — Principe de la transmission de la force électrique à distance.

Un très important transport de force a été fait par MM. Menier, dans leur ferme de Noisiel (Seine-et-Marne), que nous étudierons avec plus de détails dans la suite.

En 1894-1895, M. Félix Prat, à Engibaud (Tarn), fait une installation de transport de force électrique, très importante, sur laquelle nous reviendrons plus loin. Enfin, l'expérience la plus récente est celle de Berteaucourt-Epourdon (Aisne),

où M. Alfred Maguin, constructeur à Charmes, exécuta un labourage au moyen d'une charrue électrique du type Zimmermann, que nous décrirons aussi plus loin.

Principe de la transmission de l'énergie électrique. — La réversibilité. — Comme nous l'avons vu, le fluide électrique dérive d'une transformation du mouvement; ce fluide peut, inversement, redevenir mouvement et actionner une dynamo placée à plusieurs kilomètres de la première. C'est là *le principe de la réversibilité*, sur lequel est basé le transport de la force à distance. Une transmission du genre de celle qui nous occupe comprend donc une *dynamo génératrice*, une *ligne électrique* et une *dynamo réceptrice* (électromoteur ou alternomoteur).

Dans la figure 105, la génératrice M est installée à l'usine hydraulique, contenant une roue ou une turbine. Le courant est lancé dans le conducteur d'aller *e*, arrive à la réceptrice N, la met en mouvement, puis revient par le fil de retour *e'* à la génératrice.

Dynamos. — Les dynamos (génératrice et réceptrice) peuvent être à courants continus ou à courants alternatifs. Disons tout de suite que l'on tend de plus en plus à employer, dans les grands transports à fortes distances, les dynamos à courants alternatifs. Avec les hauts voltages fournis par ces machines, il y a économie de cuivre dans la ligne et diminution de perte. La rotation de la génératrice se fait suivant *f*,

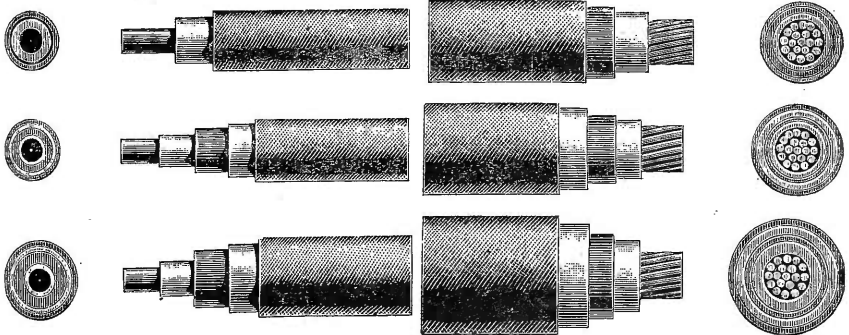


Fig. 106. — Fils conducteurs mis sous isolants.

Fig. 107. — Câbles pour transport de force.

tandis que la réceptrice N tourne en sens inverse, suivant *f'* (fig. 105).

La ligne électrique. — La ligne sert de canalisation à

l'écoulement de l'électricité, elle se fait en fils de bronze sili-
ceux, de très haute conductibilité. La canalisation peut être
aérienne ou souterraine, faite avec un fil unique nu ou isolé,
ou avec un câble formé de plusieurs fils disposés en torons.
Les canalisations à fil unique et nu supportent des intensités
de 5 à 6 ampères par millimètre carré de section, lorsque
cette section ne dépasse pas 20 millimètres carrés. Au delà,
il est préférable d'employer plusieurs conducteurs en dériva-
tion ou des câbles.

Les figures 106 et 107 montrent des conducteurs avec diffé-
rents isolements. Les câbles aériens (fig. 107), pour les trans-
ports importants et à haut voltage, sont constitués par une
série de couches isolantes en caoutchouc.

Les câbles armés sont employés pour les transmissions
souterraines, on les place dans des canalisations, ou quel-
quefois dans une couche de sable. Mais il faut qu'ils reçoivent
un isolement très solide, mis sous plomb et avec bandes
d'acier.

Les conducteurs simples se réunissent au moyen de liga-
tures, de différents systèmes; la plus simple est donnée par
la figure 108. Les extrémités A et B des conducteurs se lient
en torsade *t*. On emploie également beaucoup la ligature an-
glaise, dite Britania-Joint (fig. 109). Les extrémités des con-



Fig. 108.— Joint à la mode française.



Fig. 109. — Ligature anglaise.

ducteurs M et N sont recourbées à angle droit *a* et *b*. Ces
parties sont rapprochées sur une certaine longueur et solide-
ment liées par un fil *e e*. Quand il s'agit de câbles, on emploie
l'épissure et des isolants (caoutchouc ou chaterton). Une pince
est indispensable pour faire ces raccords, et un tendeur pour
la pose des fils sur les poteaux.

Pose de la canalisation. — Les fils ou câbles formant les
canalisations aériennes sont tendus sur des poteaux en bois
de pin, de 6 mètres de haut A A A (fig. 105), munis d'isolateurs
en porcelaine. Ceux-ci sont en forme de cloche (fig. 110), mu-
nis de ferrures permettant de les fixer.

On emploie aussi des poteaux métalliques (fig. 111), formés
de deux fers en T, boulonnés ensemble, et munis d'isola-
teurs; la base est fixée par de solides pattes dans un massif
en maçonnerie.

Quand on a plusieurs conducteurs parallèles, on emploie une série d'isolateurs, montés sur un même support (fig. 112).

Pertes de la ligne. — On estime les pertes ohmiques des lignes de transport à 10 ou 15 o/o, suivant le voltage et la distance.

Le rendement industriel atteint les chiffres de 69, 70, 71 à 76 o/o; c'est, comme on le voit, quand on emploie une force gratuite telle que l'eau, un très bon rendement.

DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE TRANSMISSION DE LA FORCE ÉLECTRIQUE

Sur une canalisation électrique, formant un circuit fermé, on peut prendre, dans tous ses points, des courants dérivés, que l'on ferme, sur le courant principal. Chacun de ces courants dérivés peut actionner une dynamo réceptrice, à *poste mobile* ou à *poste fixe*. Il y a donc deux cas bien distincts en pratique, dans l'utilisation d'une réceptrice:

1° La réceptrice sert à la locomotion électrique;

2° La réceptrice sert comme moteur fixe.

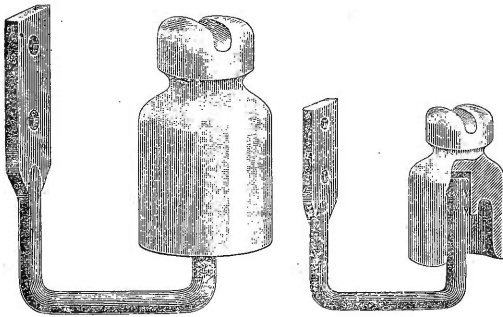


Fig. 110. — Cloches isolatrices pour poteaux.



Fig. 112. — Isolateur.

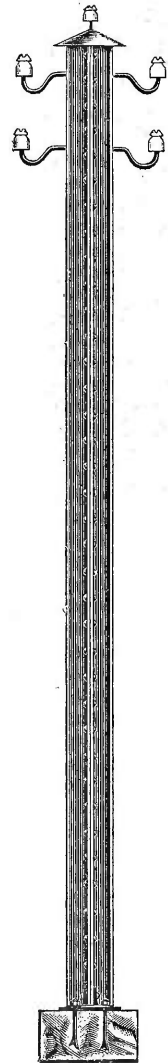


Fig. 111. — Poteau métallique.

Dans la locomotion électrique, la dynamo réceptrice est

montée sur l'essieu d'une voiture et se déplace avec le véhicule ; la prise du courant dérivé se fait sur fil nu, au moyen d'un galet courant en dessous de la ligne et situé à l'extrémité d'une tige appelée *trolley*.

A poste fixe, une réceptrice s'installe de plusieurs façons :

1° Sur une assise en maçonnerie, comme une génératrice ordinaire, et actionne un ensemble mécanique quelconque ;

2° Elle est montée sur un chariot permettant son déplacement au point voulu de la ligne électrique, à laquelle on la relie. Cette deuxième disposition est généralement employée comme treuil électrique. La prise du courant pour une machine à poste fixe se fait par pinces spéciales. Dans certaines char-rues électriques, la dynamo réceptrice prend son courant par *trolley* et l'ensemble se hale sur une chaîne d'amarre. Ce système tient à la fois des deux précédents.

LOCOMOTION ÉLECTRIQUE

L'emploi de l'électricité, comme force motrice pour les transports, est appelé à un grand avenir. Elle donne non seulement la rapidité, mais encore une faible dépense sur les anciens moyens de locomotion. Sans trop sortir du cadre de notre ouvrage, nous pouvons dire deux mots de la locomotion électrique, si répandue à l'heure actuelle dans beaucoup de villes. Les Compagnies de chemins de fer, en France, ont même tenté des essais dans cette voie.

En 1894, la Compagnie de l'Ouest mit en circulation, sur la ligne de Paris au Havre, une locomotive électrique du système J. Heilmann. Une dynamo, montée sur le truck d'une forte chaudière, était actionnée par un moteur à vapeur indépendant de celle-ci. Le courant électrique produit se rendait à des dynamos calées sur les essieux de la locomotive. Cette transformation de la force élastique de la vapeur en puissance électrique a permis d'obtenir des vitesses considérables.

Il est à croire que, dans un avenir plus ou moins éloigné, on sera obligé d'employer l'électricité comme moteur dans les chemins de fer, car les gisements de houille vont en s'épuisant.

Ce sont surtout les tramways qui utilisent l'électricité ; les automobiles, dans les villes, font également usage des accumulateurs, ils peuvent être rechargés dans une usine génératrice quelconque.

Cinq systèmes sont employés dans les tramways électriques :

1° Le courant est fourni par une batterie d'accumulateurs placée dans une voiture ;

2° Le courant, envoyé d'une usine centrale, circule dans les deux rails de la ligne, l'ensemble est isolé. Les roues des voitures, également isolées, prennent le courant aux rails ;

3° Le courant est envoyé dans un troisième rail isolé, situé entre ceux sur lesquels roulent les voitures. La dynamo prend le courant sur le rail intermédiaire, les rails ordinaires servent de fil de retour ;

4° Le rail isolé peut être remplacé par un fil conducteur souterrain ;

5° On a le système par fil aérien et par trolley. L'un des conducteurs est formé par un fil de cuivre, soutenu de distance en distance, le long des rues, par des poteaux munis d'isolateurs ; il part d'un pôle de la dynamo génératrice et est relié par son autre extrémité aux deux rails de la ligne, également en communication par fils avec l'autre pôle de la dynamo. Le courant est ainsi fermé en empruntant les rails où circulent les voitures. Pour actionner celles-ci, les deux dynamos qui sont calées sur les essieux empruntent un courant dérivé au fil aérien par un trolley, dont la base de la perche est munie d'un ressort qui fait appuyer un galet en dessous du fil conducteur. Le courant retourne aux rails par le bâti et les roues de la voiture. Citons, dans ce genre de tramways, le système Thomson-Houston, très répandu en Amérique et dans beaucoup de villes françaises.

Distribution de l'électricité dans une exploitation

La période des tâtonnements est passée, et il ne suffit plus aujourd'hui d'envisager seulement le transport de l'électricité à la ferme pour l'éclairage et la mise en marche des machines d'intérieur, mais encore d'employer cette force à la commande des instruments de culture. Le problème se complique donc ; il s'agit de distribuer, à la surface des terres de la ferme, un réseau de lignes électriques actionnant des dynamos réceptrices, qui, à leur tour, par leur mouvement, commandent les machines de culture. C'est le but final visé, et qui est en partie réalisé dans plusieurs exploitations.

Soit une ferme représentée en plan par la figure 113, la rivière est à une certaine distance de la ferme H. A l'endroit le plus convenable M, on établit une chute d'eau, avec un bâtiment très simple pour la dynamo génératrice et les quelques transmissions nécessaires. Le moteur le plus convenable pour une installation à créer est la turbine. La propriété est traversée par la canalisation A B ou ligne principale, sur

laquelle viennent se greffer, en dérivation, les lignes secondaires C D E F.

Il est inutile de dire que toutes ces canalisations sont à double fil. A la ferme H, on établira une réceptrice à demeure pour mettre en marche tous les appareils d'intérieur : concasseur, hache-paille, batteuse, pompe, etc.

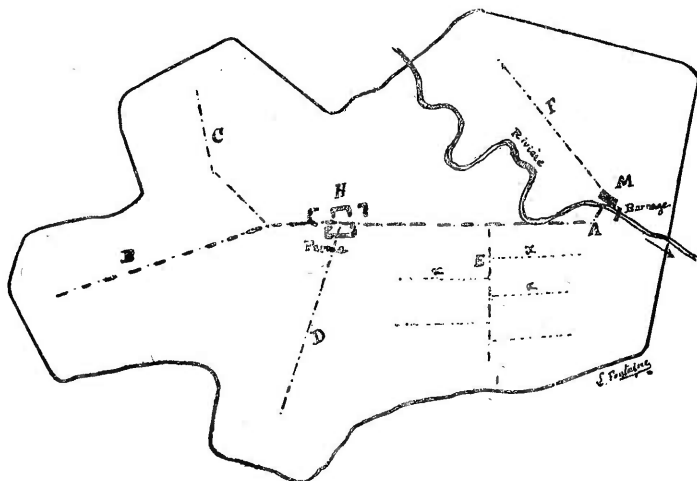


Fig. 113. — Distribution de la puissance électrique dans une exploitation.

Pour les travaux des champs, on fera des prises *xx* sur les canalisations secondaires C D E F, qui actionneront les dynamos réceptrices locomobiles. On est actuellement en présence de deux systèmes. Dans l'un, on monte la réceptrice sur un treuil se déplaçant sur rails ; par une série d'engrenages, l'arbre moteur actionne un tambour sur lequel vient s'enrouler un câble en acier tirant l'instrument agricole. Dans l'autre système, l'instrument emporte lui-même sa réceptrice, et la prise du courant électrique se fait par *trolley* sur des lignes électriques volantes.

Pour nous, l'avenir restera aux treuils, car le déplacement des lignes électriques volantes ne se comprend guère que sur un sol nu, déplacement qui ne peut se faire dans des récoltes.

Aujourd'hui, beaucoup de maisons fabriquent des treuils électriques locomobiles que l'on transporte d'un point à un autre comme une voiture. On peut ainsi faire la commande,

par simple courroie d'une foule d'appareils. La figure 114 montre dans son ensemble une batteuse actionnée par un treuil locomobile Thury, de Genève, placé à droite de la figure.

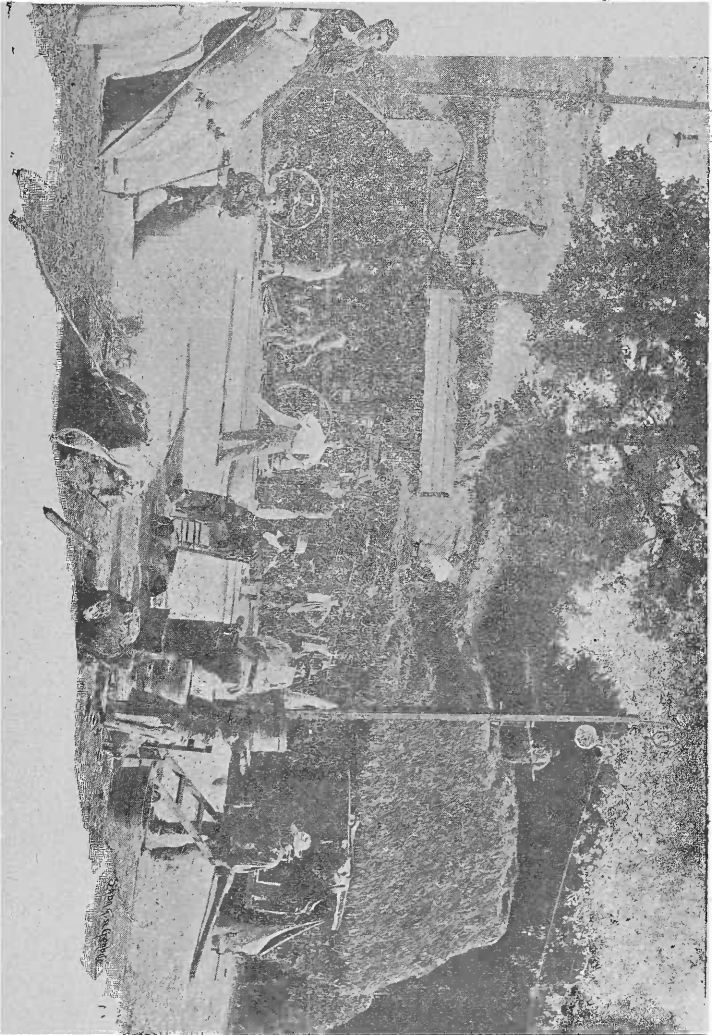


Fig. 114. — Batteuse à grand travail actionnée par treuil électrique Thury.

Lorsque certains appareils sont éloignés de la commande principale et que les frais d'une transmission sont trop élevés, il est préférable d'employer un électromoteur, alimenté par deux fils.

Les figures 115 et 116 montrent deux exemples de ce genre ; le premier est un hache-paille commandé par courroie ; le deuxième est une pompe centrifuge, couplée directement avec la dynamo.

Systèmes de distribution de l'électricité. — Tous les systèmes de distribution électrique reposent sur les deux bases suivantes :

- 1° La distribution est à intensité constante ;
- 2° La distribution est à potentiel constant.

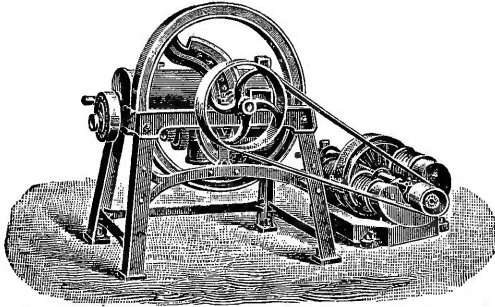


Fig. 115.— Hache-paille commandé par un électromoteur.

La première distribution est à débit constant (ampères) et à voltage variable ; elle a été inventée en 1880 par G. Cabanellas. Très employée en Amérique, elle exige le montage des appareils en tension.

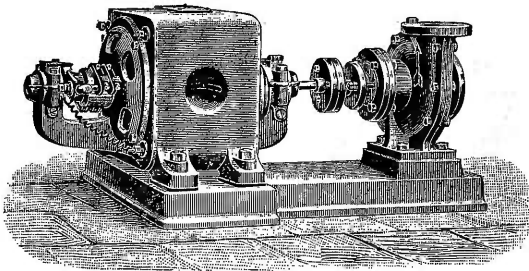


Fig. 116.— Pompe centrifuge commandée par un électromoteur (Henrion).

Généralement, on emploie la distribution à potentiel ou à voltage constant et à débit variable.

Quant aux méthodes de montage des appareils sur le circuit, il est très variable. Généralement, en agriculture, on aura à employer la dérivation ; les deux fils de la canalisation

sont tendus côte à côte. Sur le trajet, on greffe des fils secondaires aux lampes ou aux moteurs.

Le système à trois fils, inventé par Edison, pourrait trouver des applications dans les grandes agglomérations agricoles. Dans ce système, entre les deux conducteurs principaux, s'en trouve un troisième dit fil neutre. On peut alimenter deux séries de lampes indépendantes en faisant une grande économie de fil de cuivre. Au début, cette distribution exigeait deux génératrices montées en série; aujourd'hui, une dynamo suffit, comme dans le système Fives-Lille. Signalons d'autres distributions employées dans l'éclairage des villes, telles que la distribution par *feeders*, très appliquée en Angleterre, et la distribution à cinq fils, de Siemens et Halske.

Exemples de transports de force électrique

L'électricité a déjà conquis en industrie une large place comme force motrice, et chaque jour l'utilisation des chutes d'eau situées à de grandes distances des usines sont utilisées.

Les exemples de ce genre sont beaucoup plus restreints en agriculture, nous laissons de côté, bien entendu, les nombreux cas où l'électricité est employée à l'éclairage; beaucoup d'usines agricoles, en effet, possèdent des installations de ce genre.

EXEMPLE DE NOISIEL

Le vaste domaine de Noisiel (Seine-et-Marne), appartenant à MM. Menier, bien connus par leur chocolaterie, renferme plusieurs villages, et la ferme du Buisson, remarquable modèle d'exploitation agricole.

Dès 1889, la ferme et l'usine de la chocolaterie étaient réunies par une transmission électrique à courants continus. En 1893, MM. Menier remanièrent complètement l'installation et adoptèrent, dans la nouvelle, les machines à courants alternatifs biphasés, du système Brown.

L'usine génératrice, dont nous donnons une vue d'ensemble (fig. 117), est située sur la Marne, à 2 kilomètres environ de la ferme du Buisson. Elle comprend une force motrice de 200 chevaux, fournie par 3 turbines à siphon, dont les arbres verticaux sont en A, elles peuvent être couplées sur un même arbre de transmission.

Une partie de cette force est distraite pour la ferme; la salle des turbines sert également à la génératrice H, munie de sa courroie de commande reliée aux poulies *f* et S. L'excitation de l'inducteur de cet alternateur est fournie par une

dynamo bipolaire D, placée au fond de la salle; elle tourne à raison de 1.800 tours par minute, avec un débit de 15 ampères sous 90 volts. Elle sert, en outre, à exciter un embrayage magnétique, système Bovet, dépensant 1,5 ampère sous 50 volts et au moyen duquel la courroie motrice de l'alternateur

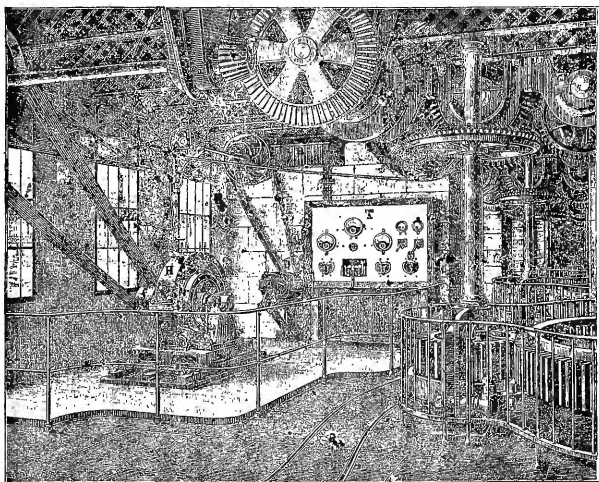


Fig. 117. — Salle des machines de Noisiel.

est embrayée. Celui-ci est à 2 phases et à 8 pôles, de la puissance de 75 chevaux, du poids de 2.700 kil.; il fait 800 tours pour une fréquence de 40 périodes à la seconde. Il peut donner, aux bornes de

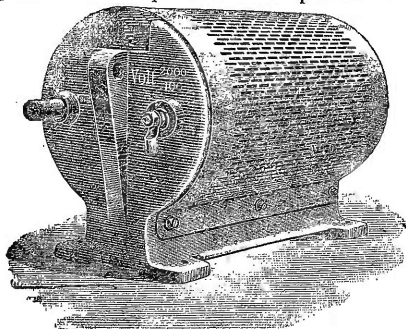


Fig. 118. — Transformateur de départ Brown.

chaque phase, 150 volts et 165 ampères, soit $165 \times 150 \times 2 = 49500$ watts ou, en chiffres ronds, 50.000 watts. Les courants passent de l'alternateur au tableau de distribution T, puis, de là, à deux transformateurs R de 1.500 watts chaque, qui élèvent la tension de 150 à 2.700 volts. Ces transformateurs (fig. 118)

sont formés par des tôles mises en noyau, sur lequel s'enrou-

lent les bobines ; le tout est plongé dans un bain d'huile. Le rendement atteint 96 o/o, soit une perte de 625 watts.

Sur les 50.000 watts que peut produire l'alternateur, 30.000 (40,7 H P) seulement sont transmis à la ferme. Le câble de transport est formé de quatre torons de 7mm^2 de section chaque, qui pour les endroits souterrains sont isolés au caoutchouc et mis sous plomb, armé de deux bandes d'acier enroulées en sens contraire (système Menier). La ligne, en partant des transformateurs, est souterraine sur un parcours de 500 mètres, puis elle devient aérienne, traverse ensuite souterrainement une route départementale et reste aérienne jusqu'à l'entrée de la ferme. Aux points où le câble disparaît sous terre, sont placés des poteaux métalliques, munis de parafoudres et garantis à la base par un grillage en ronce artificielle.

La résistance totale du circuit, d'après M. Boucherot, serait de 4,5 à 5 ohms, soit une perte de charge de 2 o/o, et le rendement de la ligne, suivant les diversés charges des transformateurs, atteindrait 0,98 à pleine charge, 0,99 à mi-charge et 0,993 au dixième de charge.

Pour ramener le courant à un voltage permettant de l'utiliser par les moteurs et par l'éclairage, on emploie des trans-

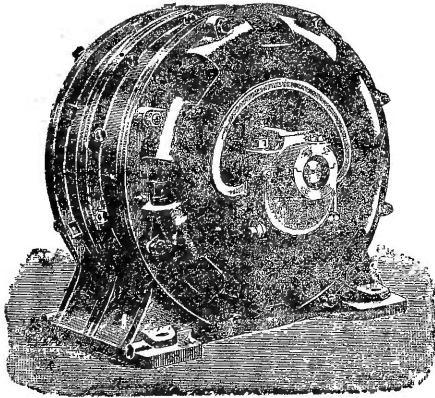


Fig. 119.— Réceptrice Brown.

formateurs d'arrivée qui de 2.700 volts le réduisent à 105. Le courant est alors distribué à trois moteurs, dont deux biphasés de 15 à 20 chevaux chaque (fig. 119), et un monophasé de 1 cheval 1/2. Les deux premiers sont alimentés avec des câbles de 50mm^2 de section, ils font 800 tours par minute et pèsent 520 kil. Chaque moteur est muni d'un appa-

reil de démarrage, en reliant les deux circuits des bobines de l'inducteur à deux bobines de self-induction, mises en dérivation sur la canalisation principale. Ces bobines prennent une faible partie du courant, mais elles jouent le rôle de transformateur, elles élèvent le voltage du courant, déterminant dans l'inducteur du moteur un torque ou moment tournant considérable. Dès que le moteur est à sa vitesse de régime, on met directement l'inducteur en dérivation sur le circuit.

Un des moteurs actionne une batteuse à grand travail, se déplaçant sur une voie A, dans une grange (fig. 120). La

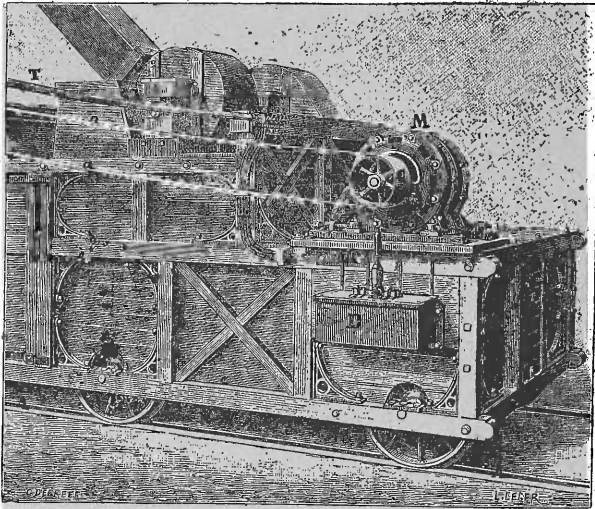


Fig. 120.— Installation d'une batteuse commandée par un alternomoteur Brown.

dynamo M est placée à l'arrière de la batteuse et commande par la courroie *aa* et par G la poulie du batteur; l'appareil de démarrage est enfermé dans une boîte D, où aboutissent les fils de prise de courant T. Au fur et à mesure du battage du tas de gerbes, on avance la machine; 4 prises de courant facilitent ces déplacements.

Le deuxième moteur met en mouvement toute une série d'appareils (fig. 121). L'électromoteur R est logée dans une salle spéciale et reçoit le courant par la ligne A, aboutissant à un tableau de distribution. La courroie de commande *ff* passe sur des poulies de renvoi B *r*, soutenues par un pylône

P et par des chaises ; elle vient mettre en mouvement un arbre H, sur lequel sont calées différentes poulies. On voit, à droite de la figure et au rez-de-chaussée, un laveur de betteraves L, suivi d'un élévateur, venant déverser les racines dans un coupe-racines. Les cossettes tombent en dessous

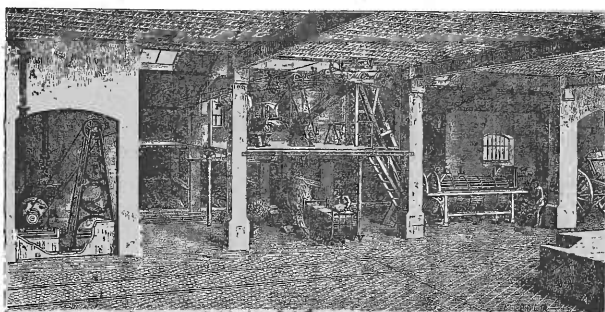


Fig. 121.— Salle de manutention du Buisson.

dans des cases à fermentation, lesquelles reçoivent en même temps de la paille coupée venant d'un hache-paille. Les manutentions se font au moyen de wagonnets V.

Le troisième moteur actionne un treuil, destiné au levage des bottes de foin.

D'après M. Boucherot, le rendement total de la distribution de force a oscillé entre 69 à 69,5 o/o.

EXEMPLE D'ENGIBAUD

M. Prat, dans sa propriété d'Engibaud (Tarn), a fait la plus belle application de l'électricité qu'il n'y ait eue jusqu'alors en France ; il a cherché à résoudre le problème de la culture à l'électricité.

La propriété est traversée par un ruisseau de faible importance, il fallut emmagasiner l'eau dans des réservoirs importants. L'établissement de la chute se fit sur l'emplacement d'un ancien moulin, à 1.600 mètres du château. Le moteur hydraulique employé est une turbine à cuve qui, sous une chute de 7 mètres, peut donner une force de 30 chevaux. Elle actionne deux dynamos à courant continu Gramme ; l'une produit l'électricité pour le transport, elle marche à 880 tours par minute, débite 40 ampères sous 375 volts ; la deuxième est destinée à l'éclairage du château et ses dépendances, elle donne 30 ampères sous 120 volts.

Pour établir la ligne électrique, on a profité de la présence de deux lignes de peupliers très hauts, qu'on a coupés à 7 mètres de haut et sur lesquels ont été fixés les isolateurs (fig. 122). Deux de ceux-ci ont 1.800 mètres chacun et servent au transport de la puissance; deux autres ont 1.600 mètres

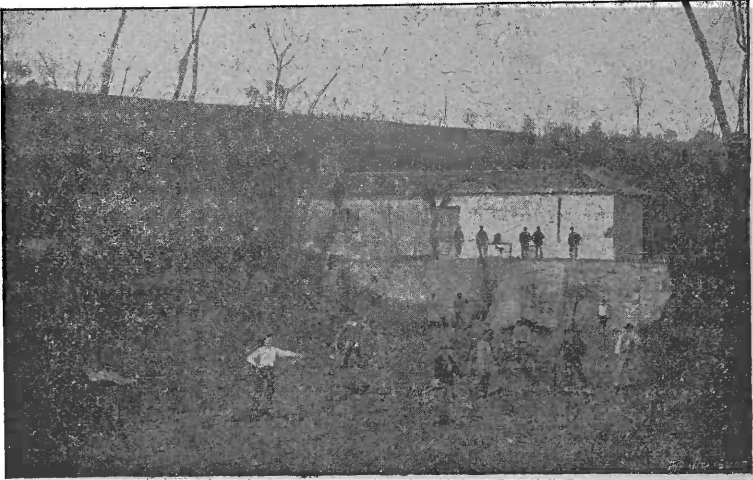


Fig. 122. — Vue extérieure du bâtiment des machines de la ferme d'Engibaud.

chacun et servent à l'éclairage. Sur la ligne destinée à la mise en marche des machines agricoles, sont greffées en dérivation des lignes secondaires se rendant aux différentes pièces de terre.

Le principal objectif de M. Prat, dans le début de son entreprise, était de défoncer sa propriété.

Nous nous occuperons donc surtout des labours profonds, en nous servant des figures tirées des articles que nous avons publiés sur ce sujet dans le journal « La Revue de Viticulture ».

Supposons la transmission électrique de la figure 123, en S se trouve l'usine génératrice d'électricité, la poulie de commande p est reliée par une courroie f à la dynamo A. La ligne électrique aérienne comprend deux fils conducteurs : l'un a est dit d'aller, l'autre b est dit de retour. Ces fils sont soutenus par des poteaux en bois H, munis d'isolateurs en porcelaine. Pour mettre en marche une défonceuse, on installera

sur la fourrière du champ, et près de la ligne électrique, un treuil B, portant une dynamo réceptrice. Avec deux conducteurs n , on prend en dérivation un courant électrique qui détermine la mise en marche de la dynamo et par suite celle des tambours de traction. Il suffira d'attacher aux câbles une défonceuse C, pour obtenir le labourage du sol. Telle est, dans son principe, la méthode employée par M. Prat, pour la mise en marche des machines agricoles dans les terres de sa ferme.

Le treuil électrique employé est du système Pelous, constructeurs à Toulouse (fig. 124).

Cette machine est locomobile, roulant sur quatre galets dans deux rails creux; elle s'avance automatiquement en tirant sur un petit câble attaché à un point fixe. Le mécanicien, à chaque rayage, fait l'avancement en enroulant l'extrémité du câble sur une poupée fixée sur l'axe des tambours, comme nous l'avons indiqué pour les treuils à vapeur Pelous (1).

Au milieu du bâti rectangulaire, est montée la dynamo réceptrice Gramme, faisant 800 tours par minute; son axe porte un pignon denté qui transmet son mouvement à un train d'engrenages commandant les tambours de traction et de retour. Les câbles ont environ 250 mètres pour celui de traction, et 550 mètres pour celui de retour; ils passent en

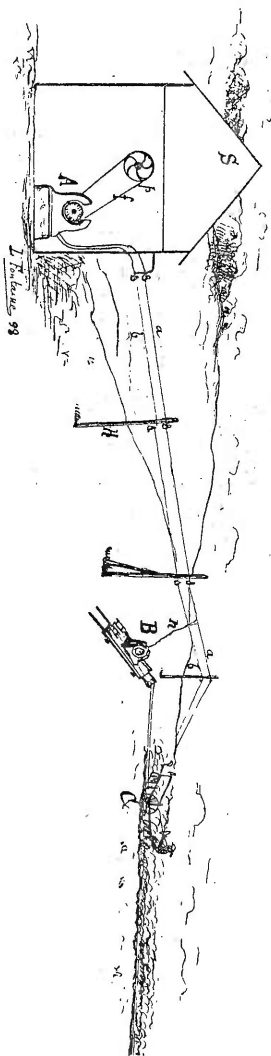


Fig. 123. — Application d'un transport de force électrique pour le labour des terres.

(1) Voir le fascicule des machines à vapeur (Coulet, Montpellier).

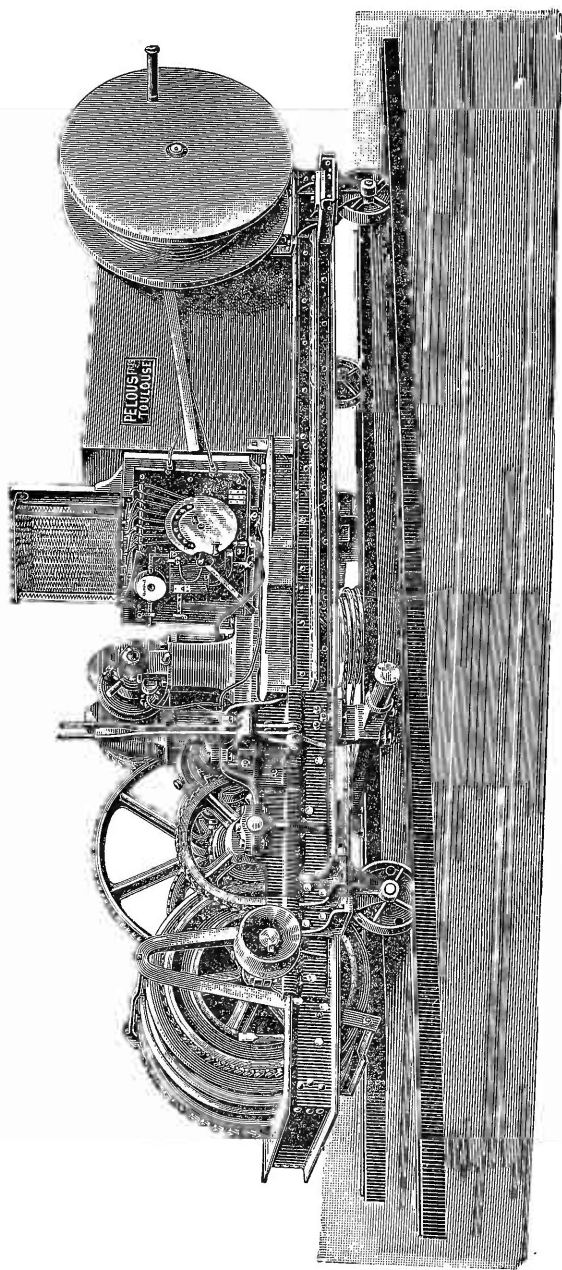


Fig. 124. — Vue d'ensemble d'un treuil électrique Pelous.

dessous du bâti, sur deux poulies de renvoi, avant de s'attacher à la défonceuse.

Le courant électrique se prend en dérivation sur la ligne aérienne, au moyen de deux fils de 200 mètres de longueur, réunis sous la même enveloppe et accrochés par deux étaux à griffes en cuivre. On peut ainsi, sans déplacement de la prise, labourer 400 mètres de largeur de terrain, et, en admettant une longueur de raie de 450 mètres, on effectue 18 hectares de défoncement. Les fils de dérivation sont roulés sur un tambour en bois, muni d'une manivelle, très visible à droite de la figure 124.

À côté de la dynamo se trouve un tableau de distribution en ardoise, où le mécanicien a sous la main le commutateur, le voltmètre, le rhéostat, etc. Le treuil est mis en relation avec l'usine par un fil électrique commandant une sonnerie, qui permet aux deux mécaniciens de donner le courant ou de le suspendre. Enfin, deux leviers d'embrayage règlent la marche à l'avant ou à l'arrière des tambours, où s'enroulent les câbles. Afin de donner de la stabilité à l'ensemble de la machine, une caisse chargée de terre est placée à un bout et vient faire contre-poids aux tambours quand ils sont en marche. Pour le transport, on adapte à l'essieu du treuil deux roues et des brancards pour atteler les chevaux.

Quelques modifications ont été apportées par MM. Pelous depuis l'apparition de leur treuil. La caisse de charge a été supprimée et a été remplacée par la dynamo, se trouvant ainsi reportée à l'opposé des tambours. Les engrenages sont supprimés, et les treuils sont commandés par une simple courroie. L'arbre de ces treuils comporte deux poulies, l'une fixe et l'autre folle. La poulie folle porte une résistance que l'on règle proportionnellement à celle prise par la poulie fixe ou de commande. De telle sorte que, la charrue étant arrêtée et ayant terminé son sillon, le conducteur fait passer la courroie sur la poulie folle sans s'occuper de la dynamo qui tourne toujours à la même vitesse, la résistance éprouvée étant la même. Les leviers de changement de marche pour les tambours sont toujours les mêmes. Ces modifications ont simplifié le treuil Pelous et l'ont porté à un très haut degré de perfection.

Voici maintenant l'application du treuil sur champ. La ligne électrique ef (fig. 125) court le long de la pièce à défoncer ; sur la fourrière ii' est installé le treuil B sur ses rails dd . La dérivation ab prend le courant pour le distribuer à la réceptrice. À l'autre extrémité du champ et suivant xy est tendue une amarre cc' , portant une poulie à gorge P, déplacée à chaque

raie. Au milieu de la pièce en D, se trouve une deuxième poulie à gorge. Le câble de traction r , après avoir passé sur la poulie à gorge g , est attaché à l'avant de la défonceuse A, tandis que le câble de retour $r' r'' r'''$ est accroché à l'arrière, après avoir été passé sur les poulies $g' D$ et P.

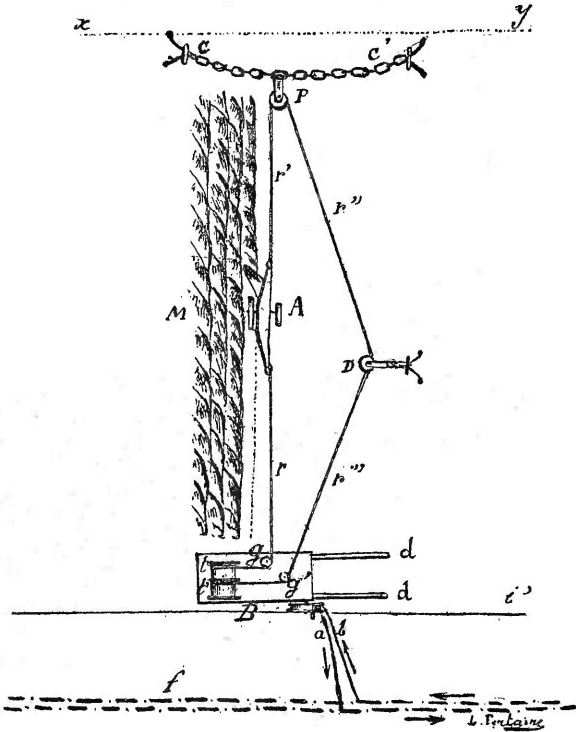


Fig. 125.— Disposition du treuil en fonctionnement sur champ.

En embrayant le tambour de traction t , la défonceuse est appelée vers le treuil B et ouvre des raies M; au contraire, en embrayant t' , la défonceuse revient en arrière et à vide. A chaque raie, le mécanicien avance le treuil et la poulie P d'une largeur de raie.

L'ancienne défonceuse Pelous, du type bascule, a été remplacée par un nouveau système beaucoup plus simple, moins lourd et moins coûteux. Dans ses parties essentielles, cette défonceuse se caractérise par un âge en deux parties, liées ensemble par un fort boulon. Une vis de terrage, placée près du point de liaison, sert à régler la profondeur. L'avant-

train est bas, son essieu porte deux roues d'inégal diamètre. La partie antérieure de l'âge repose sur une sellette qui peut osciller à droite ou à gauche, sous l'influence d'un secteur denté, mis en mouvement par une vis sans fin que le conducteur commande de son siège au moyen d'une tige à manivelle. Le corps de la charrue est très fort, avec un versoir allongé. L'appareil de déterrage comprend un levier coudé, articulé à l'arrière de l'âge, et porte une roue de raie et un crochet, auquel on attache un câble de retour. La sortie de terre se fait très régulièrement. Suivant sa force, cette nouvelle défonceuse coûte 950 à 1.050 fr.

Le treuil électrique, avec 300 mètres de câble de traction et 600 mètres de câble de retour, coûte 7.500 fr.; les défonceuses, pour labours de 0^m50 à 0^m80 de profondeur, pèsent 1.200 à 2.000 kilog., se vendant à raison de 1 fr. 15 le kilogramme.

Dans l'application du treuil Pelous, que nous avons décrit précédemment, les divers essais de labourage ont donné les résultats suivants :

Vitesse de charrue en travail : 26^m50 par minute. Vitesse de charrue à retour à vide : 87 mètres par minute. Profondeur du sillon : 0^m60. Largeur de la bande : 0^m50.

Dynamo génératrice charrue en travail : 375 volts et 35 ampères.

Dynamo génératrice charrue retour à vide : 375 volts et 16 ampères.

Dynamo réceptrice charrue en travail : 325 volts et 35 ampères.

Dynamo réceptrice charrue retour à vide : 350 volts et 16 ampères.

La surface défoncée par heure était d'environ 400 mètres carrés, soit, par dix heures, 4.000 mètres carrés.

Cherchons à déterminer le rendement final de la transmission électrique à la charrue; en admettant un rendement industriel de 0,815, on a alors comme force nécessaire à l'arbre de l'usine commandant la génératrice :

$$\frac{375 \times 35}{736 \times 0,815} = 21 \text{ chevaux } 8.$$

Énergie réellement transmise à la génératrice

$$\frac{375 \times 35}{736} = 17 \text{ chevaux } 8.$$

A l'arrivée sur la dynamo réceptrice, l'énergie est de

$$\frac{325 \times 35}{736} = 15 \text{ chevaux } 5.$$

Le rendement industriel de la dynamo étant, comme pour 8^m

la génératrice, de 0,815, le travail absorbé par le treuil est de $15,5 \times 0,815 = 12$ chevaux 6. D'après cela, le coefficient de transformation de l'énergie électrique en travail mécanique est de

$$\frac{12,6}{17,8} = 0,71.$$

La charrue à vide, sans faire de sillon, roulant sur le terrain et tirée par le treuil, a donné les indications suivantes :

360 volts \times 10 ampères = 3600 watts, ou

$$\frac{3600}{736} = 4 \text{ chevaux } 90.$$

soit en kilogrammètres $75 \times 4,90 = 365$ kgm.

Ce travail représente les résistances passives dues au mécanisme, à l'enroulement et au déroulement des câbles. Lorsque la défonceuse travaille, l'effort devient beaucoup plus grand, et si on admet que le mécanisme rend les 0,80 du travail moteur, on a comme résistance passive totale

$$\frac{100 \times 365}{80} = 455 \text{ kmg.}$$

Si nous déduisons ces 455 kgm. du travail fourni par la réceptrice, on a

$$15,5 \times 75 = 1160 \text{ kgm.} - 455 = 705 \text{ kgm.}$$

représentant le travail du labourage.

Nous avons vu que le travail absorbé par la dynamo génératrice sur l'arbre de la turbine était de

$$21 \text{ chevaux } 8 \times 75 = 1640 \text{ kgm.}$$

Le rendement final du travail du moteur à celui de la charrue sera

$$\frac{705}{1640} = 0,43.$$

La charrue se déplaçant à raison de 26^m50 par minute, soit 0^m411 par seconde, l'effort de traction correspondant sera de

$$\frac{705}{0,441} = 1600 \text{ kilogr.}$$

La largeur du sillon étant de 0^m50 sur 0^m55 de profondeur, la traction par décimètre carré de section de labour sera de

$$\frac{1600}{5 \times 5,5} = 58 \text{ kilogr.}$$

D'après des expériences récentes, faites par MM. Pelous, un treuil, dont la réceptrice recevait 14 chevaux 7, a produit une surface défoncée à 0^m60 de profondeur, 74 ares en 11 heures 1/4. Il est évident que la surface serait aisément triplée en labours ordinaires et en employant une charrue à plusieurs raies.

Le point intéressant de la question est le chiffre de la dépense d'installation; voici, en résumé, cette dépense :

Travaux de terrassements, constructions, turbine, dynamo génératrice, ligne aérienne, etc., etc	13 650 fr.
Appareil de labourage, treuil, crics, etc... ..	12.600
Téléphone, éclairage électrique du château, ligne aérienne de 1.600 mètres, lampes électriques, lustrerie, etc..... ..	7 850
Total général de l'installation.....	43 300 fr.

Dans ces 43.300 fr., il se trouve une certaine partie de travaux consacrés en commun à l'éclairage et au transport, de sorte qu'il ne faut estimer réellement qu'à 30.000 fr. la dépense faite aux champs. Nous pouvons donc chercher le prix de revient du défoncement à l'hectare.

En admettant que le labourage puisse se faire pendant 120 jours de l'année, et que la surface défoncée soit en moyenne de $1/3$ d'hectare, on a : $120 \times 0,333 = 40$ hectares.

Le personnel employé se décompose comme suit :

1 homme à l'usine génératrice	3 fr. par jour.
1 — au treuil	3 —
1 — à la charrue.....	3 —
1 aide	2 —
Total....	11 fr. par jour,

Les frais annuels seront de :

Amortissement du capital à 10 o/o	3.000 fr
Main-d'œuvre 120×11	1 320
Huile et divers.... ..	100
Total.....	4.420 fr.

Par suite, le prix de revient d'un hectare défoncé est de $4420 : 40 = 110$ fr.

Le résultat financier de l'entreprise ne laisse aucun doute sur la réussite et l'obtention de belles récoltes qu'est en droit d'espérer M. Prat. Ajoutons que, dans la suite, on ne se contentera plus, à Engibaud, de défoncer et labourer le sol, mais que l'on mettra en marche, électriquement, toute la série des appareils aratoires : herses, rouleaux, faucheuses, etc.

Quant à la critique que l'on pourrait élever au sujet des difficultés concernant la conduite des appareils électriques, nous dirons que, dès le troisième jour, les ouvriers de M. Prat faisaient fonctionner tout l'ensemble.

Signalons, pour terminer, qu'une petite scierie a été établie pour débiter les bois en grume, l'électromoteur commande en même temps les appareils d'intérieur de la ferme, tels que hache-paille, égreneur à maïs, etc. L'exemple d'Engibaud ne saurait donc avoir trop d'imitateurs.

LES CHARRUES ÉLECTRIQUES

Expérience de Berteaucourt

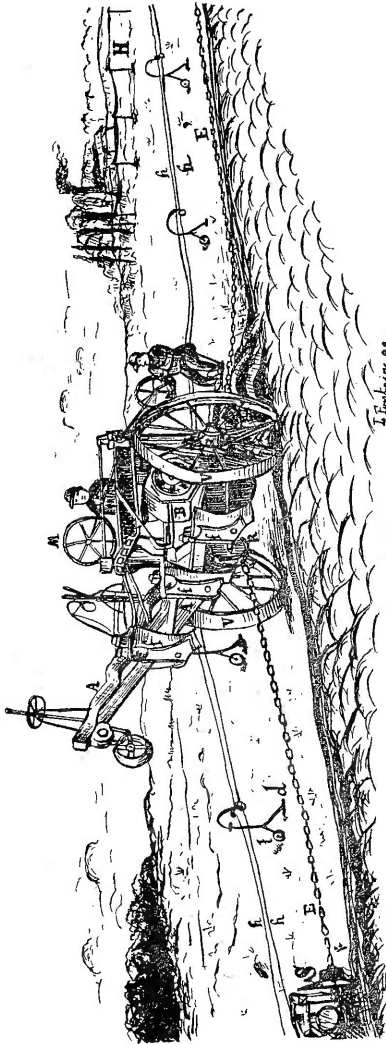


Fig. 126. — Vue d'ensemble de la charrue électrique Zimmermann exécutant un labour.

On a tenté, comme nous l'avons déjà dit, la traction électrique directe des appareils agricoles, en montant sur leur bâti une dynamo réceptrice. La machine emporte avec elle son moteur.

La première tentative faite dans ce sens fut celle de la Compagnie Zimmermann, à Halle-sur-Saale (Saxe) en octobre 1894. La charrue Zimmermann fut expérimentée en France, en 1896, par le constructeur bien connu, M. Maguin, de Charmes (Aisne), dans la propriété de M. Landrin, à Berteaucourt. La figure 126 donne une vue d'ensemble de la charrue en travail. Le bâti de celle-ci A A est du type bascule, porté au milieu par deux grandes roues V V, dont les supports sont réglables en marche par un mécanisme spécial M. Sur chaque côté du bâti, sont fixés trois corps de charrue f f f, qui, dans le cas

d'un défoncement, pourraient être remplacés par un corps unique et puissant. Au milieu de l'appareil est montée la dynamo réceptrice B à 4 pôles, dont l'axe porte un pignon denté qui commande un train d'engrenages destiné à diminuer la vitesse et qui, en définitive, transmet le mouvement à une roue à empreinte R. Entre les saillies de celles-ci viennent se loger les mailles d'une chaîne calibrée E E' fixée à ses extrémités à deux ancres S, qu'on peut déplacer à chaque rayage. La roue, en tournant, prend un point d'appui sur la chaîne, et l'ensemble de la charrue avance en ouvrant les raies de labour. Le système employé ici est donc absolument indiqué à celui des bateaux toueurs.

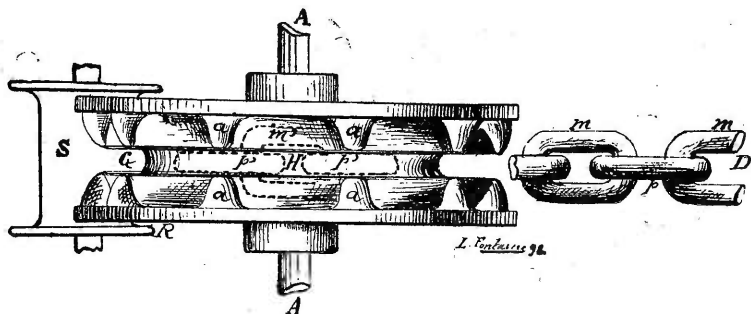


Fig. 127. — Roue à empreinte servant à haler la charrue Zimmermann.

La figure 127 indique, dans ses détails, la roue R et la chaîne D. L'axe de R est enfilé sur l'arbre moteur AA. Le corps de la roue porte une gorge G, des empreintes H H et des saillies a a.

La chaîne D est formée de mailles *m m p*, calibrées, de 15 millimètres de diamètre, et pouvant résister à une traction pratique de 1.800 kilogrammes par millimètre carré. En marche, les mailles *m m* viennent se loger dans les empreintes H, et les mailles *p p* se placent en *p' p'*, dans la gorge G.

La chaîne est maintenue appliquée sur la noix par deux galets S, et passe en dessous. Quand la charrue est en travail, le brin libre E' est déjeté en dehors du rayage au moyen d'un système de galets particulier, de sorte que lorsque la charrue revient, il se trouve dans la position voulue pour la traction.

Voyons maintenant comment la distribution de l'électricité se fait à la charrue. La dynamo génératrice peut être installée à la ferme et est mise en mouvement par un moteur quelconque; de l'usine part la ligne électrique H (fig. 126) et se

dirige au milieu des pièces de terre cultivées. Quand on veut labourer, on prend en dérivation le courant électrique au moyen de deux griffes solidaires d'une âme en cuivre, traversant une perche en bois jouant le rôle d'isolateur. A ces pièces sont fixés par des vis de pression deux conducteurs *h h*, roulés sur un tambour porté par les ancrés. Ces conducteurs sont alors tendus parallèlement au labour et soutenus, tous les 10 mètres environ, par des supports ayant un patin *d* et une roulette *t*. La charrue prend alors le courant électrique sur cette ligne, au moyen d'un double frotteur, semblable au trolley des tramways électriques. Ce qu'il y a de très curieux dans ce système, c'est que la charrue, en passant devant les supports, les soulève par son trolley et les porte en avant sur la partie non labourée, pour que la ligne soit à une distance donnée pour le retour.

Dans l'expérience de Berteaucourt, le rayage était de 230 à 240 mètres, parcouru en quatre minutes environ, donnant une vitesse de labour de 1 mètre par seconde. La charrue avait deux corps, et le labour s'effectuait dans une terre très argileuse, à raison de 0^m23 de profondeur sur 0^m73 de largeur. La résistance du labour a été évaluée à 924 kilogr., et celle nécessaire au roulement de la machine à 250 kilogr., soit une résistance totale de 1.200 kilogr. environ. La génératrice était actionnée par une machine à vapeur de 29 chevaux, placée dans un coin du champ: elle débitait 24,5 chevaux électriques; comme la charrue dépensait par seconde 924 kilogrammètres, le rendement industriel s'établit à environ 42,4 o/o. Le travail effectué a été d'environ 1 hectare 1/2 à 1 hectare 6, pour les journées courtes d'hiver (essais du 22 novembre 1896). Le chantier comprenait quatre hommes, dont un laboureur-conducteur et trois aides pour déplacer les ancrés.

EXEMPLES ALLEMANDS

L'évolution économique de l'Allemagne montre que sa puissance commerciale s'affirme de plus en plus dans le monde entier. Notre redoutable concurrent d'outre-Rhin s'efforce d'adjoindre, dans sa production, les éléments les plus nouveaux, en appliquant les données scientifiques récentes à toutes ses industries. L'agriculture reçoit, du gouvernement allemand, de très larges encouragements, car, comme dans tout autre pays, cette branche du travail national est une des forces productives que l'on doit faire progresser avant tout.

C'est, en effet, à la culture du sol que coopère le plus grand nombre d'habitants d'un pays, quel qu'il soit.

La production du sucre et de l'alcool en Saxe, en Silésie et en Bavière, régions particulièrement propices, comme sol, à la culture betteravière, a pris un essor considérable au point de vue industriel.

Le développement actuel de l'emploi de l'électricité comme force motrice en Allemagne peut être comparable au courant qui s'établit en Angleterre, vers 1855, pour l'emploi de la vapeur dans la culture des terres. La grande propriété, en effet, domine dans beaucoup de provinces prussiennes, et c'est à cette cause que sont dues les applications mécaniques nouvelles dans une très large proportion. Enfin, les constructeurs allemands se sont appliqués, pour ce qui est de l'électricité, à produire des appareils appropriés au travail du sol.

Dès 1883, Werner von Siemens entreprit, sous les auspices du gouvernement belge, des essais de labourage électrique. En 1895, Siemens et Halske reçurent l'ordre, du ministre de l'agriculture allemande, d'utiliser la force hydraulique de 40 chevaux d'une rivière, la Nette, affluent de l'Innerste, force destinée à la culture du domaine national du Sillium, situé dans le district de Marienburg. D'autres exemples furent également établis dans des domaines nationaux, à Rodenberg (district de Cassel), à Kleinhof (district de Kœnisberg), à Seesdranken (district de Gumbinnen) et à Cloeden (district de Merseburg).

La Société allemande d'agriculture a également, par ses concours, contribué dans une large mesure à l'extension de l'emploi de l'électricité dans les fermes d'outre-Rhin. On voit, par ce qui précède, l'importance considérable qu'attache le gouvernement allemand à modifier les procédés de culture, sachant que la production du sol n'est pas sans effet sur le bien-être de ses populations rurales.

L'Exposition de Hambourg est venue concentrer et mettre en relief tous les systèmes électrotechniques proposés pour les fermes, soit dans la culture proprement dite, soit dans la commande des machines d'intérieur.

Passons en revue les appareils allemands.

Le système Zimmermann, de Halle-sur-Saale, avec ligne électrique volante, ne semble avoir d'avenir que dans les fermes de moyenne importance. La puissance électrique est fournie par une chute d'eau ou par une machine à vapeur, actionnant une dynamo génératrice. La prise du courant à la ligne se fait par dérivation au point voulu du champ à cultiver ; ce courant est reçu par un wagon portant les câbles con-

ducteurs, placés sur des isolateurs mobiles, tendus par un wagon situé à l'autre extrémité du champ. Parallèlement à la ligne mobile et du côté du labour, s'allonge une chaîne à toueur sur laquelle se hale l'instrument de culture (charrue, herse, semoir, etc.). Nous rappelons que la réceptrice est fixée sur le bâti de l'instrument, elle porte une roue à noix, engrenant avec la chaîne à toueur ; le courant est pris par trolley sur la ligne volante.

L'emploi des treuils électriques est le plus répandu en Allemagne ; néanmoins, le système par treuil à simple effet, comme celui de M. Prat, à Engibaud, n'est pas utilisé. On se sert de treuils à double effet, c'est-à-dire faisant fonctionner l'instrument de culture à l'aller et au retour.

M. Brutschke a résolu le problème de la culture au moyen d'un seul treuil électrique et d'une ancre. Le treuil est automoteur, formé d'un bâti en fer monté sur quatre roues métalliques ; il porte la réceptrice commandant deux séries d'engrenages : la première met en mouvement les deux tambours tracteurs ; la deuxième fait avancer l'ensemble du treuil à chaque rayage. A l'arrière du treuil est accroché un char, monté sur ses deux roues, dont le tambour dévide sur le sol les conducteurs de prise de courant. A l'autre bout du rayage et en face du treuil électrique, se trouve une ancre automotrice portant une poulie à gorge, sur laquelle passent les deux brins du câble tracteur. Cette ancre est basse, avec de larges roues munies d'une bande coupante ; pour lui donner la stabilité nécessaire, un grappin à quatre dents courbes et puissantes s'enfonce dans le sol, perpendiculairement à la ligne de traction. L'ensemble de l'ancre se hale vers un point fixe ; situé en avant, au moyen d'un câble et d'un petit treuil lorsque la charrue retourne au treuil.

A chaque rayage, il faut relever le grappin par une petite grue solidaire de l'ancre, et faire avancer l'appareil. Pour cela, l'ouvrier à l'ancre embraye la poulie de renvoi, qui ne fournit presque pas d'effort — puisque la charrue est appelée par le treuil électrique, — avec les engrenages de la grue et ceux du petit tambour d'avancement. La grue soulève le grappin, et il suffit de débrayer pour que celui-ci retombe en terre et que l'appareil cesse d'avancer. La poulie à gorge est alors en face de la charrue qui revient vers elle.

Le système Brutschke est employé dans la propriété de Gross Behnitz ; il a également fonctionné à Klein-Wanzleben (district de Wanzleben).

Dans les systèmes à deux treuils électriques, placés à cha-

que bout du rayage, on a les machines Dollberg-Schuckert, Koerting, Siemens et Halske, Förster.

Le type Dollberg a été employé, en 1895, près de Diedrichshagen. Les treuils à un seul tambour d'enroulement se meuvent mécaniquement sur des rails. Le courant venant de l'usine primaire ou génératrice est triphasé, à 2200 volts; il est ramené à 320 volts par un transformateur monté sur le bâti de chaque treuil. L'instrument de culture va d'un treuil à l'autre par un seul câble, à raison de 70 mètres par minute.

Le système Siemens-Halske fut également expérimenté, en 1895, dans la ferme nationale du Sillium; c'est, on peut le dire, un modèle d'utilisation de la puissance électrique au travail du sol. L'usine primaire est à 2 kilom. 75 de la ferme, la dynamo, à courants triphasés, débite 14 ampères 5, à la tension de 1500 volts. La prise du courant dans les champs s'opère à un transformateur monté sur chariot, transportable par animaux. Le courant, après avoir été ramené à 500 volts par le transformateur, se rend, par un câble se déroulant sur le sol, à la réceptrice de chaque treuil électrique.

Les treuils Siemens pèsent environ 10.500 kil. chaque et sont automoteurs; ils représentent sur champ la même disposition que le système Fowler à deux machines. Chaque réceptrice peut développer, sur le câble, 25 chevaux de force, à la vitesse de 960 tours par minute.

Les appareils Förster fonctionnent au domaine Cløeden. Les treuils électriques sont enfermés dans une lourde voiture automotrice, dont le poids leur permet de faire en quelque sorte ancre, comme dans le système Siemens. Le courant, ici, est continu, d'une tension de 500 volts; il est pris en dérivation par le premier treuil, puis il se rend au second par le câble tracteur de l'instrument aratoire pour revenir ensuite à la canalisation générale.

Voici réunies, dans un tableau général, quelques données relatives aux systèmes électriques allemands, dues à M. Renaud. (Voir tableau page 122).

En résumé, le système à deux treuils électriques tend, en Allemagne, à prendre une place prépondérante parmi les autres; il n'atteint cependant pas, au point de vue économique, le système Zimmermann. Ce dernier a, en revanche, le grave défaut d'immobiliser sur chaque instrument une dynamo réceptrice.

On tend également, dans les grandes fermes allemandes, à utiliser l'électricité aux transports des récoltes lourdes. La maison Koppel, de Berlin, établit des voies Decauville, sur lesquelles circulent de petites locomotives électriques; la

SYSTÈME	RENDEMENT P. 100	PUISSANCE AUX SOCS	SURFACE labourée en 1 heure sans arrêt au maximum		ARRÊT P. 100	SURFACE labourée effectivement en 1 heure		150 HECTARES sont labourés en	
			30 cm.	25 cm		30 cm.	25 cm	30 cm.	25 cm
			Chev.-vap.	Hectares		Hectares	Hectares	Hectares	Heures
Siemens	66	16.5	0.37	0.47	20	0.295	0.375	500	400
Dollberg	66	16.5	0.37	0.47	30	0.260	0.330	572	455
Brutschke	60	15	0.34	0.43	20	0.270	0.345	550	435
Zimmermann ..	60	15	0.34	0.43	30	0.240	0.300	630	500

NOTA. — Dans ce tableau, le moteur du treuil fournit 25 chevaux pour les quatre cas.

ligne électrique s'établit par poteaux ou par des cadres formant U au-dessus de la voie, distants les uns des autres de 30 à 40 mètres. Des isolateurs, placés en dessous de chaque cadre, supportent le conducteur. Les locomotives prennent le courant en dérivation par un trolley en archet, et chaque essieu est muni d'une réceptrice. La sucrerie de Groenendyk, près Oosterhout (Hollande), utilise ce moyen de transport pour les betteraves; 17.500 kil. de racines sont portées du port à l'usine par jour. Citons, pour terminer sur l'Allemagne, un transport de bois effectué par chemin de fer à voie étroite, réalisé par l'Union, au moyen du trolley Schuckert et les moteurs Thomson-Houston.

AVENIR DE L'ÉLECTRICITÉ AUX COLONIES

Les colonies offrent un vaste champ à l'emploi de l'électricité; les grandes concessions faites aux particuliers ou aux compagnies se prêtent admirablement bien à l'utilisation de cette force. Que de services immenses peut rendre la puissance motrice de l'eau ou de la vapeur, transformée en électricité, dans ces régions où la main-d'œuvre est rare et chère. L'Algérie en profite déjà; à Ben-Sala, près de Boufarick, M. Abel Pilon cultive des vignobles à l'aide d'une charrue électrique; il faut également citer les installations de M. Pech à Abziza, où les celliers sont desservis électriquement, de l'usine municipale d'El Biar, près d'Alger, qui éclaire la ville et vend la force motrice aux particuliers.

CONCLUSIONS

Actuellement, en agriculture, la production à grands rendements, comme les machines à grand travail dans l'industrie, doit être l'objectif constant du cultivateur. Cette puissance productive, comme nous l'avons déjà dit bien des fois dans le cours de cet ouvrage, réside dans deux facteurs : 1° engrais ; 2° main-d'œuvre. On a dit, avec juste raison, que les améliorations du sol doivent précéder les bons instruments ; mais ce que l'on n'ajoute pas, c'est que ces instruments devraient être actionnés le plus économiquement possible. Cette conséquence du progrès chez toutes les nations, et qui nous entraîne, fait que nous devons utiliser à cette belle industrie, que l'on appelle l'agriculture, les découvertes de la science. Quand on voit, de nos jours, dans certaines régions, des charruées, à peu près semblables à celles des Romains, labourer le sol, on se demande véritablement à quoi servent les travaux scientifiques des siècles !

La véritable pierre d'achoppement, dans la diminution des prix de revient des denrées, réside donc dans la main-d'œuvre. Substituer le moteur inanimé au moteur animé, tel est le problème de la culture moderne. La machine n'enlèvera pas le pain à l'ouvrier des champs, tous les exemples attestent le contraire.

L'électricité est le moteur d'avenir, sa canalisation par fil la rend précieuse pour l'agriculture qui demande du travail sur de grandes surfaces. On peut s'adresser, pour sa production, aux moteurs inanimés, tels que vents, marées (1), vagues (2),

(1) Le moulin à marée de Pont-l'Abbé (Finistère) est un exemple qui pourrait parfaitement donner une application à la production de l'électricité. Un étang est situé à 4 kilomètres de la mer, il a 18 hectares de superficie ; à marée montante, il se remplit d'eau par 9 clapets s'ouvrant du dehors en dedans. A marée descendante, les clapets se ferment et retiennent l'eau. Celle-ci est utilisée par deux turbines de 140 chevaux, commandant un moulin de 10 paires de meules. A Ploumanach (Côtes-du-Nord), on trouve également un autre exemple ; l'étang mesure 1 hectare 5 de superficie, la chute a 4 à 5 mètres.

(2) Les vagues produisent une force motrice que l'on a essayé de capter en Amérique. La *Compagnie des Forces de l'Océan de Los Angeles*, à Potencia-Beach (Californie), a établi des jetées s'avancant d'une centaine de mètres en mer. A l'extrémité de chacune d'elles, on a disposé trois flotteurs en tôle, lestés avec du ciment, et de 9 mètres

gaz pauvre, pétrole, vapeur, chutes d'eau. On estime environ que l'on pourrait employer en France 10 millions de chevaux-vapeur fournis par les cours d'eau; 1.028.807 chevaux seraient seulement utilisés.

Il y a longtemps que certains esprits ont caressé l'idée de voir les animaux supprimés des travaux de culture; le fait peut être parfaitement réalisé aujourd'hui. Restreint dans son rôle de machine de consommation, l'animal transforme en lait ou en graisse les produits de la ferme, en leur donnant une plus-value.

Pour nous résumer, nous dirons que l'électricité est appelée à un grand avenir dans les fermes, là où les installations particulières pourront se faire dans les grandes exploitations; la culture des terres se fera plus rapidement, en temps utile; le sol sera mieux préparé, et partant les récoltes seront plus abondantes et d'un prix de revient moins élevé. Les instruments d'intérieur, tels que tarares, haché-paille, batteuses, etc., pourront être commandés très économiquement. Quant à prévoir le temps où la moyenne et la petite culture pourront employer l'électricité comme moteur, nul ne peut le prévoir. Mais ce serait faire œuvre de pessimiste que de prétendre le contraire; de grandes usines centrales d'électricité peuvent s'établir où la force des chutes d'eau sera transformée en électricité, qu'un réseau distribuera aux fermes, semblable au réseau télégraphique actuel.

carrés de surface chaque Ces flotteurs sont réunis par des tiges à des pompes à eau ayant une course de 0 m. 30; la pression est d'environ 8 kilogrammètres par centimètre carré et la force transmise par flotteur est de 2 à 3 chevaux. L'eau refoulée actionne une roue Pelton accouplée à une dynamo génératrice.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

	PAGES
Historique de l'électricité.....	1
Définition de l'électricité	3
Production de l'électricité	3
Électricité statique et électricité dynamique.....	4
Unités électriques en général	4
Unités dérivées	5
Problèmes	5
Unités magnétiques	7
Unités électriques dans le système des unités électrostatiques ..	7
Unités électriques dans le système des unités électromagnétiques..	7
Unités pratiques de l'électricité	8
Unité de résistance, l'ohm	8
Unité de force électromotrice, le volt.....	8
Unité d'intensité, l'ampère.....	8
Unité de débit, le coulomb	9
Unité de capacité, le farad.....	9

ETUDE DU COURANT ELECTRIQUE

Générateur d'électricité, la pile	10
Théorie de la pile.....	10
Circuit électrique.....	11
Potentiel électrique ou énergie potentielle.....	11
Force électromotrice d'un courant.....	12
Résistance des conducteurs.....	12
Division des corps au point de vue de leur résistance ohmique..	13
Résistance spécifique des corps conducteurs de l'électricité.....	14
Lois de la résistance.....	14
Utilité des résistances	15
Oscillations et ondes électriques.....	15
Problèmes sur les résistances des conducteurs.....	16
Problèmes sur l'influence de la longueur et de l'épaisseur du conducteur.....	16
Problèmes sur l'influence de la nature du conducteur.....	17
Problèmes sur l'influence de la longueur du diamètre et de la nature du fil	18

Mesure de l'intensité des courants électriques	19
Loi d'Ohm	19
Problèmes sur la loi d'Ohm	20
Formule du travail électrique	21
Problèmes sur le travail électrique	21
Loi de Joule	22
Problèmes sur la loi de Joule	23

MAGNÉTISME ET ÉLECTRO-MAGNÉTISME

Aimants	24
Différents aimants	24
Pôles, lignes de force et champ magnétique d'un aimant	25
Lois de Faraday	25
Lois de la force magnétique	26
Magnétisme des courants ou galvanisme	26
Examen des courants de même sens et de sens contraire	27
Lois des circuits parallèles et obliques ou lois d'Ampère	27
Effets réciproques des champs magnétique et galvanique. — Théorie de James Clerk Maxwell	28
Électro-aimants	29
Électro-aimants des dynamos	29
Électro-aimants des machines bipolaires	29
Électro-aimants des machines multipolaires	30
Excitation d'un électro-aimant	30
Perméabilité	31
Réductance	31
Circuit magnétique	32
Hystérésis	32
Induction électrique	32
Inducteur et induit	33
Unité d'induction, le Henry	34
Lois de Lenz	34
Self-induction	35
Résistance du fil de l'induit	35
Courants de Foucault	35

MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

Historique des dynamos	35
Principe d'une dynamo électrique	36
Excitation de la machine par elle-même	37
Dérivation de l'électricité du travail moteur	37
Détails de construction d'une dynamo	37
Inducteur	37
Dépense d'excitation des électros et variation de l'intensité du champ magnétique	38
Différentes méthodes d'excitation des inducteurs	38
Diminuer la dépense d'un champ magnétique donné	40

Induit.....	40
Enroulement Gramme.....	40
Enroulement en tambour.....	41
Armature dentée de Paccinotti.....	41
Induit en disque.....	42
Entrefer.....	42
Torsion du champ.....	42
Vitesse des dynamos.....	43
Puissance d'une dynamo.....	43
Problèmes.....	43
Balais et porte-balais.....	44
Bâti des dynamos.....	45
Classification des dynamos.....	46

DYNAMOS A COURANTS CONTINUS

Machines bipolaires.....	46
Machine Gramme.....	46
Machine Labour.....	48
Machine Henrion.....	49
Machine Reckniewki.....	50
Voltage ordinaire des machines à courants continus.....	51
Machines à bas voltage.....	51
Machines multipolaires.....	52
Machine Labour.....	52
Machine Thury.....	52
Réceptrices à courants continus ou électromoteurs.....	53

DYNAMOS A COURANTS ALTERNATIFS

Courants périodiques.....	54
Fréquence ou périodicité.....	54
Phases d'un courant alternatif.....	54

GÉNÉRATEURS A COURANTS ALTERNATIFS

Excitation de dynamos à courants alternatifs.....	55
Alternateurs monophasés.....	55
Alternateurs biphasés, triphasés et polyphasés.....	56
Réceptrices à courants alternatifs ou alternomoteurs.....	57
Moteurs synchrones.....	57
Moteurs asynchrones polyphasés.....	57
Transformation des courants alternatifs en courants continus.....	58

TRANSFORMATEURS

Principe des transformateurs.....	58
Avantages des transformateurs pour les transports de force à distance.....	58
Types de transformateurs.....	59

Détermination de la puissance et du rendement des dynamos...	60
Exemple	61
Diagramme d'une dynamo génératrice bipolaire compound	61

INSTALLATIONS DES DYNAMOS

Local d'une dynamo	62
Commande d'une dynamo.....	62
Intermédiaire et exemple de calcul pour commande d'une dynamo.....	64
Accouplement direct des dynamos avec un moteur.....	65

APPAREILS ACCESSOIRES D'UNE INSTALLATION ÉLECTRIQUE

Tableau de distribution.....	66
Rhéostats, leur principe	66
Rhéostats d'excitation pour les génératrices et rhéostats de démarrage pour les réceptrices.....	68
Manipulations de mise en marche et d'arrêt pour génératrice et réceptrice	68
Inverseurs, interrupteurs et commutateurs.....	68
Conjoncteur-disjoncteur et manipulateur-adjoncteur.....	69

ACCUMULATEURS

Historique des accumulateurs.....	69
Principe des accumulateurs.....	70
Théorie de l'accumulateur.....	70
Formation et matières actives des accumulateurs.....	70
Capacité utilisable des accumulateurs.....	71
Types d'accumulateurs.....	71
1° Accumulateurs à formation naturelle.....	71
Système Peyrusson.....	71
Système Henrion.....	73
2° Accumulateurs à formation artificielle.....	73
Système Faure-Sellon-Volckmar.....	73
Installation des batteries d'accumulateurs	75
Problèmes sur les accumulateurs.....	75
Charge, conjoncteur-disjoncteur et décharge des accumulateurs.....	76
Exemple.....	77
Entretien des batteries d'accumulateurs	78

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

Importance de l'électricité dans les différents cas de la pratique. 78

Éclairage électrique

Principe de l'éclairage électrique	79
Unités photométriques.....	79
Éclairage par lampes à incandescence.....	79
Historique de l'éclairage à incandescence.....	79
Lampes à incandescence.....	80
Puissance et durée des lampes	80
Calcul de la puissance motrice pour une installation de lampes à incandescence	81
Montage des lampes à incandescence.....	81
Détails du montage : conducteurs, cloches isolatrices, passe-fils, pipes, interrupteurs de courant, coupe-circuit, prise de courant.	82
Éclairage par arc voltaïque.....	83
Historique de l'éclairage électrique par arc.....	83
Lampes à arc.....	84
Lampes Bardon.....	86
Lampes Pilsen.....	86
Montage des lampes à arc.....	89
Montage des lampes à incandescence avec lampes à arc....	90
Appareillages des lampes à arc.....	91
Réparation des lampes à arc.....	92
Bougies électriques.....	93

Transport de l'énergie électrique à distance

Historique.....	94
Principe de la transmission de l'énergie électrique. — La réversibilité.....	95
Dynamos servant dans la transmission électrique à distance.....	95
Ligne électrique	95
Fils conducteurs et câbles électriques.....	96
Modes de réunion des conducteurs. — Différents points	96
Pose de la canalisation électrique.....	96
Pertes de la ligne.....	97
Différents systèmes de transmission de la force électrique.....	97
Locomotion électrique.....	98
Tramways électriques.....	98
Distribution de l'électricité dans une exploitation.....	99
Exemple de ferme parcourue par un réseau électrique.....	100
Treuil électrique : exemple de batteuse commandée par treuil électrique.....	101
Appareils d'intérieur de ferme commandés par électromoteur.....	102
Systèmes de distribution de l'électricité.....	102

Exemples de transports de force électrique

Exemple de Noisiel	103
Exemple d'Engibaud.....	107
Les charrues électriques. — Expérience de Berteaucourt.....	116
Exemples allemands.....	118
Avenir de l'électricité aux colonies.....	122
CONCLUSIONS	123

FIN DE LA TABLE



ORIENTAÇÕES PARA O USO

Esta é uma cópia digital de um documento (ou parte dele) que pertence a um dos acervos que fazem parte da Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP. Trata-se de uma referência a um documento original. Neste sentido, procuramos manter a integridade e a autenticidade da fonte, não realizando alterações no ambiente digital – com exceção de ajustes de cor, contraste e definição.

1. Você apenas deve utilizar esta obra para fins não comerciais. Os livros, textos e imagens que publicamos na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP são de domínio público, no entanto, é proibido o uso comercial das nossas imagens.

2. Atribuição. Quando utilizar este documento em outro contexto, você deve dar crédito ao autor (ou autores), à Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP e ao acervo original, da forma como aparece na ficha catalográfica (metadados) do repositório digital. Pedimos que você não republique este conteúdo na rede mundial de computadores (internet) sem a nossa expressa autorização.

3. Direitos do autor. No Brasil, os direitos do autor são regulados pela Lei n.º 9.610, de 19 de Fevereiro de 1998. Os direitos do autor estão também respaldados na Convenção de Berna, de 1971. Sabemos das dificuldades existentes para a verificação se uma obra realmente encontra-se em domínio público. Neste sentido, se você acreditar que algum documento publicado na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP esteja violando direitos autorais de tradução, versão, exibição, reprodução ou quaisquer outros, solicitamos que nos informe imediatamente (dtsibi@usp.br).