

7



N 2484

LES
SOLS HUMIFÈRES

PAR

J DUMONT

Lauréat des Sociétés nationales
d'Agriculture et d'Horticulture de France,
Professeur à l'Ecole nationale des Industries agricoles de Douai.

*Registrado á fl. 77
do livro competente, com
n.º 2625*

PARIS

LIBRAIRIE AGRICOLE DE LA MAISON RUSTIQUE

26, RUE JACOB, 26

TOUS DROITS RÉSERVÉS



DU MÊME AUTEUR

De l'emploi rationnel des Engrais, ouvrage couronné par la Société nationale d'agriculture de France (3^e édition).

La Chimie du sol (sous presse).

Pour paraître prochainement :

La fertilisation du sol.

A MON CHER MAITRE

P - P DEHÉRAIN

*Membre de l'Institut
et de la Société nationale d'Agriculture,
Professeur de Physiologie végétale au Muséum
d'Histoire naturelle et de Chimie agricole
à l'Ecole de Grignon.*

*C'est à votre laboratoire de Grignon,
très honoré Maître, que j'ai commencé mes
premières recherches sur les sols humifères. En
raison de la bienveillance que vous n'avez cessé
de me témoigner, permettez-moi de vous faire
hommage de ce bien modeste travail.*

J. DUMONT.

INTRODUCTION

I

C'est en 1892, quelque temps après ma sortie de l'Ecole de Grignon, que je résolus d'étudier l'action des sels de potasse sur la nitrification et la mobilisation de l'humus.

La supériorité incontestable des *superphosphates* dans des sols de prairies pauvres en chaux, l'influence heureuse exercée par le *plâtre* sur des cultures de graminées ou de céréales, en terrains d'origine granitique, m'avaient singulièrement frappé; et je me demandais avec anxiété si le sulfate de chaux n'agissait pas indirectement sur la production des nitrates, comme M. Pichard venait de l'établir expérimentalement.

Dans ma pensée, la supériorité de l'engrais phosphaté devait être attribuée au pouvoir mobilisant exercé par le gypse sur la potasse et sur les matières organiques du sol. Pour le savoir, j'essayai comparativement l'action du superphosphate et du plâtre sur la nitrification, dans une terre de prairie récemment défrichée et contenant pour 1000 :

Azote.....	3.6
Potasse.....	1.7
Acide phosphorique.....	0.4
Calcaire.....	1.3

A cet effet, je pris une certaine quantité (3 kilos) de cette terre que je partageai en trois lots égaux : le premier fut réservé comme témoin, le second reçut 5 grammes de plâtre, et le troisième 10 gr de superphosphate; j'arrosai régulièrement chaque lot, tous les trois jours, avec une même quantité d'eau. Après six semaines d'expérience

(du 1^{er} septembre au 15 octobre), la terre fut épuisée et j'y dosai, en moyenne, pour un litre d'eau d'égouttage :

	Azote nitrique (en milligr.)
Témoin.....	15.7
Sol plâtré (5 gr.)	43.5
Terre avec superphosphate (10 gr.) ...	38.6

Cet essai préliminaire me permettait déjà d'affirmer que la supériorité des superphosphates sur les phosphates naturels était bien due, comme je le pensais, à l'action indirecte du plâtre sur les matières azotées du sol ; mais il fallait préciser les conditions d'efficacité de cet engrais, de ce « *stimulant* », en montrant que s'il favorisait la nitrification, ce ne pouvait être qu'après sa transformation en sulfate, puis en carbonate de potasse.

II

Vers la fin de la même année, j'étais appelé comme chimiste à la Station agronomique de Grignon où je pus, grâce aux bons encouragements et aux excellents conseils de M. Delhérain, pousser plus loin mes premières investigations. J'étudiais, tout d'abord, l'influence des carbonates alcalins et alcalino-terreux sur la nitrification de différentes terres. Dans un essai préalable, j'employai le calcaire à raison de 2 p. 100 et le carbonate de potasse à la dose de 3 p. 1.000 ; après trente jours d'expérience, je dosai dans les eaux d'épuisement de 1.000 grammes de terre :

	Azote nitrique (en milligrammes).		
	Rien —	Calcaire 2 p. 100	Carbonate de potassium 3 p. 1000
Terre granitique.....	24	26	98
Terre de bruyère.....	12	14.3	47

Ainsi, la supériorité du carbonate de potasse était

établie expérimentalement; elle devenait donc indiscutable. Du même coup, les bons effets du plâtre dans les sols riches en potasse se trouvaient expliqués. Il n'y avait plus qu'à étendre ces essais afin de les généraliser.

Dans ce but, en 1893, dès le printemps, je m'assurai la collaboration de M. Crochetelle. Nous fîmes ensemble une longue série d'expériences pour montrer l'action des engrais potassiques sur la nitrification des sols humifères, et nous publiâmes, en 1893 et en 1894, dans les Comptes-Rendus de l'Académie des sciences, les résultats de nos travaux communs.

Depuis cette époque, je me suis consacré, autant qu'il m'était possible de le faire, à l'étude de l'humus et des sols humiques. Et c'est ainsi que peu à peu, à la suite de mes nombreux essais, j'ai acquis la ferme conviction que la potasse du sol joue un très grand rôle dans la transformation des matières organiques contenues dans la terre arable. On verra par la suite comment on peut interpréter cette action si puissante.

III

Les résultats que j'ai obtenus au laboratoire s'allient harmonieusement avec les expériences effectuées par M. Ravel à la colonie agricole du *Val-d'Yèvre*; la concordance est à peu près parfaite, et ces intéressants essais, qui sont contemporains de mes premières recherches, donnent ainsi à ce modeste travail un caractère d'utilité pratique que je n'osais lui attribuer au début.

Sans doute, j'aurais voulu présenter mes idées sous une forme plus méthodique, plus claire; mais je n'avais pas à ma disposition les matériaux nécessaires pour faire, du premier coup, une œuvre irréprochable et complète. Au point de vue théorique — grâce aux recherches que je poursuis depuis dix ans environ — je pouvais aller plus loin; il m'était loisible de rappeler tous mes travaux sur le

rôle de l'*humus* et des *engrais humiques*; mais il eut fallu, pour cela, étayer par des expériences culturales nombreuses les essais de laboratoire. N'en ayant pas encore eu les moyens, j'ai préféré limiter cette étude à l'amélioration du sol.

Au reste, ce travail n'est qu'un essai, une ébauche imparfaite. Les articles de journaux qui en forment le corps ont été jetés pêle-mêle au caprice de la plume. Puisse-t-il néanmoins, tel qu'il est présenté, rendre quelques services aux cultivateurs hardis qui tentent depuis longtemps de mettre à profit les richesses naturelles des sols humiques, des terres tourbeuses.

J. DUMONT.

LES SOLS HUMIFÈRES

Généralités.

Les sols incultes représentent, de nos jours encore, les *douze centièmes* du territoire agricole de la France. Grâce à des efforts considérables et persévérants, la surface cultivée s'accroît un peu tous les ans; mais combien lentes et pénibles sont nos conquêtes, combien modestes nos succès !

Les statistiques décennales de 1882 et de 1892 fournissent à cet égard de bien précieuses indications. En 1882, par exemple, on comptait exactement **6.252.537** hectares de terrains improductifs, y compris :

	Hectares
Landes, pâtis et bruyères.	3.899.171
Terrains marécageux.....	328.297
Tourbières.....	46.319

En 1892, on trouve :

	Hectares
Landes, pâtis et bruyères.	3.898.530
Terrains marécageux.....	316.373
Tourbières.....	38.292

Soit, au total, **20.592** hectares gagnés par la culture en dix ans, ce qui représente en chiffres ronds **0.04 pour cent** de la surface inculte. Les gains se répartissent ainsi :

	Hectares
Landes, pâtis et bruyères.	614
Terrains marécageux.....	11.924
Tourbières.....	8.027

Considéré dans son ensemble, ce résultat n'est pas énorme; mais on ne peut cependant pas s'empêcher de constater que les efforts des cultivateurs se portent de plus en plus sur les terrains riches en humus. En effet, tandis que les landes, les pâtis et les bruyères baissent seulement dans la proportion de **0.0167 pour cent**, nous trouvons respectivement une diminution de **3.63 pour les terrains marécageux** et de **17.33 pour les tourbières**.

En réalité, les acquisitions faites par la culture sont plus considérables que ne l'indiquent les statistiques; mais on ne saura jamais dans quelle proportion les pâtis et les bruyères diminuent tant qu'on ne fera pas le décompte des landes dans les documents officiels.

On peut, en chiffre ronds, abstraction faite des sols de forêts, évaluer à **deux millions** la superficie totale des terrains humifères. Quel résultat merveilleux n'obtiendrait-on pas en rendant à la culture une telle surface? Mais ce n'est qu'au prix de grands sacrifices qu'on pourra y réussir, et encore faut-il pour cela que les pouvoirs publics ne ménagent ni les encouragements, ni les subventions, à ceux qui tentent d'accroître le domaine de la production agricole.

Et pourquoi hésiterait-on davantage?

N'a-t-on pas aujourd'hui des moyens puissants qui permettent de vaincre l'inertie de l'humus et de mettre en œuvre les stocks considérables d'azote que renferment certains sols? Ne sait-on pas que l'infécondité des terres humiques est toute relative, donc surmontable?

Ah! s'il s'agissait d'un cas de *stérilité permanente*; s'il fallait cultiver les sols arides, les bancs de sable, de cailloux et de rocs où pas une plante ne peut se développer convenablement, la question serait tout autre! Soit que l'humus fasse complètement défaut dans ces sortes de terres, soit que les particules terreuses n'adhèrent pas entre elles faute de ciment, *argile ou humate*, le milieu reste impropre au développement des végétaux: l'infécon-

dité est irrémédiable, les causes qui la produisent restant *permanentes*.

Mais tel n'est pas le cas !

Ici, l'humus abonde au contraire ; et comme nous savons le rendre *actif*, il n'est pas téméraire de répéter que les terres qui contiennent de l'azote organique retourneront fatalement à la culture si les causes d'infécondité peuvent y être aisément vaincues.

Il n'y a pas jusqu'aux plus riches tourbières qui ne puissent être utilisées avantageusement : soit qu'on emploie la tourbe comme litière, soit qu'on la fasse entrer dans la composition des *engrais humiques*.

Ce dernier mode d'utilisation offrira de très grands avantages. le jour où les industriels auront enfin compris de quelle manière il faut procéder pour obtenir une matière fertilisante cinq à six fois plus riche que le meilleur fumier, et présentant les éléments nutritifs sous une forme éminemment assimilable.

Ainsi se présente la question ! D'une part, mise en valeur des sols humifères en vue de la culture ; de l'autre, exploitation de la tourbe fibreuse, essentiellement organique, comme matière première pour la fabrication rationnelle des *engrais humo-potassiques et humo-phosphatés* ¹

Nous ne nous occuperons ici que de la mise en valeur du sol.

(1) Dans la nouvelle édition de mon ouvrage sur l'*Emploi rationnel des Engrais*, actuellement sous presse, je n'ai pas craint d'ouvrir un chapitre spécial pour les *engrais humiques* que je crois appelés à jouer le plus grand rôle dans la fertilisation des sols pauvres.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE GÉNÉRALE DU SOL

L'humification et l'enrichissement du sol
en azote

I

L'accumulation de l'humus. — Dans les sols régulièrement cultivés, qui subissent tous les ans plusieurs façons aratoires, les matières organiques se décomposent sans discontinuité et même parfois avec une rapidité surprenante. « La terre mange le fumier ! » Et cette action dévorante a pour cause essentielle le travail du sol qui désagrège, effrite, triture les particules terreuses et favorise au plus haut degré l'action oxydante de l'air sur l'humus, l'*éremacausis*¹. Les terres légères réunissent, par leur nature et leurs propriétés physiques, les conditions les plus propices à la destruction du carbone organique et de l'azote combiné ; la combustion et la nitrification y sont tellement actives, qu'il faut recourir périodiquement à des apports de fumier pour compenser les pertes et maintenir dans le sol le taux de matière organique si nécessaire à sa fécondité.

Ici, l'humification, l'accumulation de l'humus, ne se

(1) On désigne ainsi l'oxydation lente de la matière organique, l'ensemble des processus de sa décomposition dans les milieux aérés.

manifeste point. Pour que ce phénomène se produise, dans une terre donnée, il faut le concours de circonstances spéciales telles que l'insuffisance ou le défaut d'aération et de nitrification. Ces conditions se trouvent toujours réalisées dans les sols soustraits à la culture ordinaire, et c'est pourquoi les vieilles prairies, les forêts séculaires et les champs en friches emmagasinent des quantités considérables de carbone et d'azote, changent peu à peu de nature et deviennent essentiellement *humifères*.

Dans les milieux humides et marécageux, envahis par les végétaux aquatiques ou semi-aquatiques qui caractérisent principalement la flore des tourbières : *sphaignes, carex, joncs, roseaux communs, etc.*, ces transformations sont encore plus accusées. Les circonstances de formation de l'humus, il est vrai, n'y sont plus tout à fait les mêmes : le sol saturé d'eau, et parfois complètement submergé, ne reçoit qu'une quantité d'air insignifiante ou nulle ; l'oxygène n'a pas accès dans la masse autrement qu'en dissolution, et les « *ferments oxydants* », agents de l'*érémacausis*, se trouvent paralysés dans leur action. Alors, les matières végétales se *putréfient* sous l'influence des « *ferments réducteurs* », et c'est aux agents de réduction qu'il faut attribuer le rôle prépondérant dans la formation de l'humus des sols tourbeux.

Ainsi, l'*humification* se manifeste toutes les fois que les causes qui ont pour effet de ralentir l'*érémacausis* ou de favoriser la putréfaction se font sentir ; et il suffit pour cela que le milieu soit soustrait autant que possible à l'accès de l'air. Cette condition se trouve satisfaite quand les terres sont imperméables, humides, gorgées d'eau, et qu'elles cessent d'être soumises à l'action des instruments de labour, aux façons culturales. Alors seulement, l'enrichissement en humus commence ; il se poursuit ensuite régulièrement, progressivement, quelle que soit la nature du milieu, avec une intensité d'autant plus grande que le sol est plus pauvre en potasse active.

Si le milieu est humide, il se forme des terrains marécageux, des tourbières ; et, comme les eaux s'accumulent dans les parties basses, c'est au fond des vallées, au voisinage des fleuves, des rivières, des étangs ou des lacs que ces sols prennent naissance. Dans le cas contraire, si l'humidité n'est pas excessive, il pourra se former, dans des situations quelconques, des terres de bruyères et des sols humifères secs d'un travail plus facile ; mais ce ne sera toujours qu'après de nombreuses années que le terrain présentera tous les caractères et toutes les propriétés des sols humiques.

II

Enrichissement en azote. — L'accumulation de l'humus a pour résultat d'enrichir le sol en azote. Les débris végétaux contiennent, en effet, des matières azotées qui se retrouvent presque intégralement dans les produits de la putréfaction. Mais l'augmentation du taux d'azote peut encore avoir pour cause la destruction progressive des matières hydrocarbonées, des composés ternaires non azotés.

Ce fait s'explique très bien si l'on considère la destruction des substances organiques dans des milieux impropres à la nitrification. M. Kostytcheff a démontré, expérimentalement, qu'un poids déterminé de matière végétale en voie de décomposition peut diminuer notablement sans que la quantité d'azote varie dans une proportion appréciable. Supposons, pour bien fixer les idées, que 1.000 grammes de feuilles, contenant 450 grammes de carbone et 15 grammes d'azote, soient en voie de putréfaction : les matières ternaires disparaissent progressivement en donnant surtout de l'acide carbonique et du méthane¹.

(1) Ce sont les corps gazeux qui caractérisent la putréfaction des matières végétales dans les tourbières.

Le carbone se détruit en partie, mais l'azote reste dans la masse ; et si nous dosons régulièrement ces éléments à des époques déterminées, nous aurons, en comparant les résultats, une suite de rapports de plus en plus petits. Au début de l'expérience, le rapport du carbone à l'azote — que nous exprimons par le symbole C/Az — était égal à 30 ; il est ensuite tombé successivement à 20, à 15, à 10. Comme la proportion d'azote reste la même (15 gr.), tandis que le poids total de la masse diminue, le pourcentage accuse une augmentation correspondante des matières azotées. Dans ces conditions, l'enrichissement est relatif : il a pour cause une diminution de poids de la matière primitive.

Mais il y a plus ! D'autres influences peuvent intervenir avantageusement. Je signalerai l'action des microbes et le défaut de nitrification qui atténue l'appauvrissement par les eaux.

Étudions ces effets pour les sols de prairies.

III

La prairie enrichit le sol. — Quand une terre quelconque est maintenue en prairie pendant un certain nombre d'années, *elle s'enrichit considérablement en humus et en azote*. C'est ce qui ressort nettement des expériences effectuées par M. Dehérain et par sir J.-B. Lawes.

A Grignon, deux parcelles du champ d'expériences, dont l'une avait été régulièrement fumée de 1875 à 1878, sont cultivées en sainfoin de 1879 à 1883, puis en prairies de graminées jusqu'en 1888 ; on y a dosé l'azote régulièrement, tous les deux ou trois ans, et l'on a trouvé :

	Azote pour 1.00			
	1879	1881	1885	1888
Parcelle précédemment fumée.	1.50	1.65	1.77	1.93
Parcelle sans engrais.....	1.46	1.50	1.65	1.81

Soit, en moyenne, un gain de 1.500 kilog. par hectare.

A Rothamsted, dans un sol maintenu en prairie pendant plus de 30 ans (1856-1888), la quantité d'azote s'est élevée de **1.52** à **2.345** pour mille, ce qui correspond à une augmentation annuelle de **96** kilog. par hectare.

Ce fait considérable s'explique très bien si l'on tient compte des conditions particulières de culture et de l'intervention des infiniment petits.

PREMIÈRE CAUSE. — La prairie ne se laboure pas; le sol tassé naturellement est parcouru par d'innombrables racines qui forment un réseau inextricable, se renouvelant sans cesse, en abandonnant tous les ans une forte quantité de matière végétale morte. Il y a donc accumulation d'humus et par cela même augmentation équivalente du taux d'azote.

DEUXIÈME CAUSE. — L'accès difficile de l'air dans les couches sous-jacentes, l'abondance de l'acide carbonique dans l'atmosphère du sol de la prairie rendent la nitrification pénible et insignifiante. Même en admettant, ce qui est vrai d'ailleurs, que la terre nitrifie à la surface quand les conditions sont favorables, il ne saurait y avoir des déperditions de nitrate par les eaux, attendu que le sol est engazonné et que les plantes évaporent continuellement. C'est donc la limitation de la nitrification, l'atténuation des pertes par les pluies qui favorisent, dans ce cas, l'accumulation de l'azote.

TROISIÈME CAUSE. — Des ferments interviennent directement qui fixent l'azote de l'air sur la matière organique (M. Berthelot), et leur action se trouve favorisée

(1) Nombre d'auteurs n'ayant pas trouvé des nitrates dans les sols de prairie supposent un défaut absolu de nitrification dans ces sortes de terres. C'est une erreur, puisque les jeunes racines sont chargées de nitrates, même dans les prés qui ne reçoivent jamais d'azote nitrique; il faut ajouter que seules les radicelles de la surface donnent une réaction sensible avec le sulfate de diphénylamine.

considérablement par la présence de l'acide ulmique (A. Gautier et Drouin) et surtout des humates (J. Dumont).

Certains végétaux inférieurs, les *mousses* et les *algues*, agissent aussi d'une façon très efficace : soit qu'ils interviennent directement, soit que des microbes se fixent sur eux et y vivent en *symbiose* (Schlœsing fils et Laurent, R. Bouilhac).

L'enrichissement est encore plus rapide quand les légumineuses abondent dans la prairie. M. Pagnoul en a donné une preuve éclatante en déterminant la quantité d'azote fixé par un sol nu ou cultivé. Six vases en grès imperméables, pouvant contenir 22 kilog. de terre, reçoivent une même quantité d'engrais :

10 grammes de plâtre.
5 grammes de sang desséché.
1 gramme de sulfate d'ammoniaque.

Les deux premiers pots restent sans culture ; les autres portent un gazon de graminées ou du trèfle. On analyse les récoltes, les eaux de drainage et la terre pour bien établir le bilan de l'azote. Les gains réalisés par l'ensemble, plantes et terres, après deux ans (1888-1890) ont été les suivants :

	Azote gagné	
	Pour chaque vase	Pour un hectare
	— gram.	— kilogr.
Terre nue.....	0,220	29
» avec gazon....	2,970	294
» avec trèfle....	6,820	904

En résumé, les gains d'azote, dans les sols de prairie, ont pour cause :

L'accumulation des substances organiques ;

(1) Le plus bel exemple de symbiose est celui des légumineuses sur les racines desquelles se fixe le *rhizobium léguminosarum* (Hellriegel et Wilfarth).

Le défaut de nitrification ou l'atténuation des pertes par les pluies ;

L'intervention active des microbes et des végétaux inférieurs.

Ces considérations générales sur l'enrichissement du sol en humus et en azote permettent d'expliquer la formation des terres humifères. Quelle que soit la nature du sol, l'humification est toujours possible, et l'on conçoit dès lors que les terrains humiques puissent présenter de grandes différences au point de vue de leur richesse.

La composition du sol

I

Caractères généraux. — Les sols humifères sont très imparfaitement constitués sous tous les rapports. A part l'abondance de l'humus, qui exalte considérablement leurs propriétés physiques, il serait très difficile de leur découvrir des caractères communs. La matière organique y reste passive, inerte ; mais cet état spécial ne dépend pas, comme on l'a prétendu, d'une forme particulière de l'humus. Certes, dans un milieu où des débris végétaux sont sans cesse en voie de transformation, il faut s'attendre évidemment à trouver de grandes différences dans la teneur respective du sol en carbone et en azote ; mais si l'état de décomposition peut différer considérablement d'une terre à l'autre, cela n'implique pas une diversité d'espèces chimiques dans les humus¹

(1) Cette dénomination d'humus, appliquée à la matière organique du sol, a un sens vague et imprécis ; et c'est pour ne pas créer des types particuliers que j'ai proposé de n'admettre qu'une seule espèce d'humus pouvant se présenter sous deux états : à l'état passif et à l'état actif, suivant la nature des milieux.

L'humus normal du fumier et du terreau est actif ; l'humus de la tourbe et des sols humifères est passif, il devient actif sous l'influence des alcalis et des carbonates alcalins.

Au point de vue de leur constitution minérale, les terres humifères présentent encore de plus grandes variations qui s'expliquent aisément quand on tient compte des conditions de l'humification et de la constitution du sol primitif.

Les *terrains tourbeux*, comme la plupart des sols *calcareo-humifères*, sont remarquables par leur pauvreté en potasse ; mais il est bien évident que ce caractère ne dépend pas toujours de la même cause, et qu'il peut résulter à la fois d'un épuisement réel, dû au contact prolongé des eaux stagnantes, et d'un appauvrissement relatif imputable à la surabondance de l'humus.

L'excès d'humidité, dans les marécages et dans les tourbières, n'a pas eu seulement pour effet de modifier le processus de la décomposition des matières végétales, il a pu aussi altérer profondément la constitution minérale du sol : l'eau chargée d'acide carbonique, réagissant sur les roches, a entraîné les principes nutritifs et occasionné ainsi un appauvrissement considérable en éléments fertilisants et principalement en potasse.

Dans les terres non submergées, au contraire, l'appauvrissement a pour principale cause l'accumulation de l'humus. En effet, même en admettant qu'il n'y ait aucune perte d'éléments minéraux, on s'explique très bien pourquoi chaque augmentation de matière organique occasionne une diminution correspondante de la richesse minérale du sol. Voici, par exemple, une terre qui contenait primitivement *une* partie de potasse et *deux* parties d'humus par kilogramme : abandonnée à elle-même, elle reste sans culture pendant un demi-siècle et l'on y dose finalement **150** gr. d'humus : quelle sera la quantité correspondante de potasse ? Si nous admettons, pour simplifier les choses, que cet élément se retrouve intégralement dans le sol — ce qui est fort improbable d'ailleurs — nous voyons que, par suite de l'enrichissement en humus (**140** gr.), le *gramme de potasse* se trouve maintenant réparti dans **1140** gr. de

matière; le sol n'en renferme plus que **0 gr. 877** par kilogramme.

Comme toutes les causes d'appauvrissement entrent inévitablement en ligne de compte, et qu'à l'action lente des eaux viennent s'ajouter les pertes résultant de l'exportation d'une partie de l'herbe ou des broussailles, l'insuffisante richesse des sols humiques en principes minéraux est encore plus accusée.

II

Les prairies humeuses. — On a vu que les prés séculaires pouvaient acquérir, à la longue, tous les caractères essentiels des sols humifères. Comment sont-ils constitués? Quoique nous n'ayons pas encore des données très précises sur ces sortes de terres, nous pouvons, d'après leur teneur en calcaire, les classer en deux groupes : les *terres calcaro-humifères*, qui se distinguent par leur pauvreté en potasse, et les *terres silico-humifères* où la chaux n'est souvent pas dosable.

Voici, à titre d'indication, les analyses de quelques sols d'anciennes prairies; la plupart des résultats consignés dans le Tableau ci-après sont empruntés à l'excellent ouvrage de M. H. Joulié sur « *la production fourragère* »

TABLEAU

(1) *La production fourragère par les engrais* (Librairie agricole).

COMPOSITION CHIMIQUE DE QUELQUES PRAIRIES HUMIFIÉES

DÉSIGNATION DES SOLS DE PRAIRIES	Dans 1,000 grammes de terre sèche, on dose :			
	Azote	Potasse	Acide phosphoriqu.	Chaux
	gr.	gr.	gr.	gr.
I. — Sols calcaro-humifères.				
Barbezieux (Charente).....	6.49	2.85	1.01	115.44
Louez (Pas-de-Calais).....	5.12	2.91	2.13	26.40
Niort (Deux-Sèvres).....	18.01	2.37	1.09	134.06
Chantilly (Oise).....	10.07	0.22	0.93	325.83
Ailly (Oise).....	11.00	»	»	226.00
La Génévray (Seine-et-Marne).....	15.66	0.46	1.25	282.48
Souppes (Seine-et-Marne).....	13.85	0.44	0.84	139.48
	7.62	0.50	1.00	153.56
II. — Prairies silico-humifères.				
Molineaux (Loir-et-Cher).....	10.55	2.98	1.73	6.40
Brives (Haute-Vienne).....	4.80	3.57	0.84	0.88
Aubusson (Creuse).....	3.93	4.08	0.30	traces

Sur les 125 échantillons de vieilles prairies analysés par M. Joulie, il y en a une *vingtaine* dont la richesse en azote est supérieure à *cinq millièmes* (0,005); **quinze d'entre eux renferment une quantité de chaux supérieure à cinq pour cent**, ce qui montre bien que l'abondance du calcaire n'est pas défavorable à l'humification et que ce sont, au contraire, les sols riches en potasse qui renferment le moins d'azote.

Au reste, voici comment se fait la répartition générale de l'azote par rapport à la potasse et à la chaux :

a) Répartition de l'azote et de la potasse.

Sur **12** échantillons contenant moins de **0,001** de potasse, il y en a **onze** qui dosent plus de **0,002** d'azote, dont **quatre** accusent des taux d'azote variant de **6** à **18** millièmes, avec 0,1 de chaux ;

Sur **95** échantillons contenant **0,001** à **0,003** de potasse, près de la *moitié* accusent une richesse en azote supérieure à **0,003** ; sur ce nombre, il en est **quatorze** qui dosent plus de 5 millièmes d'azote :

Sur **5** échantillons accusant **0,0031** à **0,0035** de potasse, il

en est **quatre** dont le taux d'azote est inférieur au taux de potasse ;

Sur **13** échantillons contenant au minimum **0,0035** de potasse, **un** seul accuse **0,004** d'azote (les deux tiers sont au-dessous de 0,002).

b) Répartition de l'azote et de la chaux.

Sur **60** échantillons accusant moins de **0,01** de chaux, on en trouve **deux** avec plus de **0,005** d'azote et 30 avec moins de 0,002 ;

Sur **20** échantillons accusant de **0,01** à **0,05** de chaux, **quatre** dosent 0,005 à 0,014 d'azote et **cinq** seulement titrent moins de 0,002 ;

Sur **16** échantillons accusant de **0,05** à **0,10** de chaux, **six** dosent plus de 0,0053 d'azote ;

Sur **29** échantillons accusant de **10** à **30** pour cent de calcaire (0,40 à 0,30), il y en a **sept** qui dosent de **0,007** à **0,018** d'azote.

Ainsi, ce sont bien les prairies riches en potasse qui contiennent généralement le moins d'azote. Il semble qu'il y ait antipathie entre ces deux éléments ; l'antagonisme est flagrant pour les prairies établies en sols granitiques riches. Quatre anciens prés des environs de Limoges, analysés par M. Joulie, confirment manifestement ce fait... On y a dosé par kilogramme :

	Azote	Potasse	Chaux	Rapport de l'azote à la potasse (1)
I.....	1.01	3.33	1.45	0,303
II.....	1.59	4.57	1.71	0,337
III.....	1.22	4.43	1.84	0,275
IV.....	1.44	4.03	1.71	0,357

Les plantes caractéristiques de l'*humus des prairies* sont les *graminées* fourragères, les *mousses*, les *carex*, les *scirpes* et les *joncs* qui se développent surtout dans les prés humides.

(1) Nous verrons plus loin que, dans les sols tourbeux, ce rapport n'est jamais inférieur à 10 et qu'il peut devenir supérieur à 100.

III

Sols de forêts. — A nature égale de sol, l'*humification* est toujours plus rapide sous le couvert de la forêt que dans les autres terres ; les parties qui se détachent des arbres : les feuilles, les aiguilles, les bractées, les écailles de bourgeons et les rameaux viennent s'ajouter en effet aux débris des plantes de toutes sortes qui végètent à l'ombre des taillis et des futaies. Les déchets des arbustes et des arbrisseaux forment à la surface du sol une *couverture* végétale que de nombreuses plantes envahissent spontanément. On y rencontre surtout, suivant la nature du sol, les *bruyères*, les *airelles*, les *mélampyres*, les *fougères*, les *lycopodes*, les *hypnum*, les *sphaignes*, etc., qui forment la flore caractéristique de l'*humus forestier*. Tous les ans, à la chute des feuilles, la surface de la couverture se renouvelle tandis que la partie inférieure entre bientôt en putréfaction et se transforme en humus. Il est bien entendu que la composition du sol, les conditions climatiques et la nature des essences forestières influent considérablement sur la formation de la couverture. Dans les sols riches, frais et profonds, les arbres prennent un plus grand développement et donnent ainsi plus de déchets ; les *essences d'ombre* (hêtre, charme, sapin et épicéa) qui sont plus feuillues que les *essences de lumière* (chêne, pin, mélèze et bouleau) concourent aussi plus vite à l'enrichissement de la forêt ; l'âge des feuilles, leur nature, leur état de siccité ont également une grande influence. Les sous-arbrisseaux, les bruyères et les mousses prennent aussi une large part à la constitution de la couverture. D'ordinaire, toutes ces causes ajoutent leurs effets et facilitent, avec plus ou moins de rapidité, l'*humification* du sol de la forêt.

(1) Nous ne croyons pas devoir relater en détail l'influence de la couverture sur le développement des arbres, sur l'évaporation des eaux terrestres

IV

Terres de bruyère. — On désigne plus spécialement sous le nom de *terre de bruyère*, celle qui se produit dans les landes, les steppes et les bois par la décomposition de plantes mortes où l'on rencontre généralement des *éricacées*. Les bruyères sont des végétaux calcifuges ; et comme la végétation est un peu le reflet du sol, on peut concevoir, *à priori*, ce que doit être la constitution de semblables terrains : le calcaire y fait presque toujours défaut, la silice et l'humus y abondent.

Voici la composition de quelques sols de cette nature :

1000 parties de terre sèche contiennent :

	Azote	Chaux	Potasse	Acide phosphorique
Terre de Maurepas (S.-et-O.)	5.20	1.57	3.10	0.70
Terre de la Creuse.....	2.94	traces	4.05	0.42
Terre de Rennes.....	4.17	1.63	2.20	1.34
Terre spéciale pour jardin	6.79	0.34	0.37	1.84

Ces exemples font suffisamment ressortir la grande pauvreté en chaux de toutes ces terres. L'addition de la chaux et du plâtre y produit toujours de bons effets.

L'*humus de bruyère* est caractérisé surtout par la présence des *bruyères*, des *airelles* (airelle myrtille et airelle canche), des *genêts*, de l'*ajonc*, etc. C'est sur les sols sablonneux que ces végétaux se développent de préférence ; le vrai sable à bruyère surmonte toujours une couche de grès brun ou noir facilement reconnaissable à son aspect.

et sur la température du sol, n'ayant à considérer ici que la mise en valeur du sol forestier après la disparition de la forêt ; nous dirons cependant :

a) Que la couverture d'humus brut modifie les propriétés physiques et chimiques du sol, provoque une décomposition rapide des roches et favorise l'entraînement par les eaux des principes minéraux (E. Ramann) ;

b) Que la couverture retient l'eau, *diminue les extrêmes de température dans le sol* et cela d'autant mieux qu'elle est plus épaisse (Wolny) ;

c) Que l'enlèvement régulier de la couverture dans les sols légers, pauvres, occasionne toujours une diminution de fertilité (E. Ramann et A. Stockardt).

Les sols tourbeux. — *Les tourbières sont des lieux humides et marécageux dans lesquels s'accomplissent, sous la protection de l'eau, la décomposition lente de certaines matières végétales et leur transformation en un combustible nommé tourbe, tenant le milieu entre le règne organique et le règne minéral*¹

La situation et la nature du sol, la qualité et l'abondance de l'eau modifient profondément la flore des tourbières.

Dans les parties basses, au fond des vallées, sur les rives des cours d'eaux et des lacs, ce sont les *graminées* (roseau commun, glycérie aquatique), les *cypéracées* (carex), les *jouacées* (jones) et les *hypnées* (mousses) qui dominent. La formation de la tourbière comprend plusieurs phases : on voit apparaître d'abord les grands végétaux (roseaux, glycérie, scirpes), puis, quand la couche d'humus est suffisamment épaisse, les carex s'implantent dans le milieu et l'envahissent avec rapidité². Le fond de ces tourbières — que M. LESQUEREUX dénomme *infra-aquatiques* — peut être siliceux, argilo-siliceux, marneux ou lehmeux. La végétation exige des eaux crues riches en principes nutritifs.

Les *tourbières supra-aquatiques* se rencontrent indistinctement dans les plaines, sur les plateaux et sur les montagnes : elles occupent en général les dépressions en forme de cuvette ; elles sont caractérisées surtout par la présence des *sphaignes*, des *bruyères*, etc.

C'est dans les régions humides du Nord qu'on rencontre la tourbe. Zone tempérée froide, humidité suffisante, limpidité des eaux, libre accès de l'air : voilà en effet les

(1) M. DE LAPPARENT, *Cours de Géologie* (librairie Savy).

(2) D'après les recherches de J. KLINGE, le sens de la progression des tourbières dépend beaucoup de la direction du vent dominant ; c'est sur la rive protégée contre le vent dominant que la tourbe prend naissance.

conditions les plus favorables à la formation des tourbières.

En Irlande et dans les parties septentrionales de l'Allemagne, on rencontre des étendues considérables de terrains tourbeux. En France, on trouve des *tourbières à phaiques* sur la crête des Vosges, dans le Morvan, dans les Alpes, le Jura et la Bretagne; les *tourbières à graminées* et à cypéracées prédominent dans les grandes vallées à fond perméable de la Somme, de la Lys, de la Vanne, de l'Aube, de l'Ourcq, etc.

Depuis quelque temps, l'emploi industriel de la tourbe fibreuse — la plus riche en matières organiques — se développe considérablement, et l'exploitation des tourbières dans certaines régions est plus avantageuse que leur mise en état de culture; mais les tourbes à cendres, les sols tourbeux, ne sauraient convenir aux mêmes usages, et ce sont ceux-là précisément qu'il faut s'efforcer de rendre cultivables. Leur composition est assez différente: la proportion de matière organique oscille de 20 à 70 p. 100, et l'azote de 6 à 20 pour 1000.

Au reste, voici la composition de quelques sols tourbeux :

POUR 1000 DE MATIÈRE SÈCHE, ON DOSE :

	Azote	Potasse	Chaux	Acide phosphorique.
Sol tourbeux du Val d'Yèvre (Cher)....	13.2	0.36	4.2	traces.
Tourbe du Huelgoat (Bretagne).....	15.4	0.10	»	0.52
Tourbe de Saint-Michel (Bretagne).....	13.2	0.50	»	0.17
Tourbe de Brunémont (Nord).....	17.3	»	70.1	1.03
Tourbe de Palluel (Pas-de-Calais).....	19.0	»	95.6	0.86
Tourbe d'Abbeville (Somme).....	21.0	»	46.9	1.77
Tourbe grise du Catelet.....	5.8	0.20	260.0	»
Tourbe grise d'Ailly-sur-Noye.....	6.6	0.30	377.0	0.30
Tourbe de Pontvallain (Sarthe).....	22.6	0.10	23.5	0.15
Tourbe du Jura.....	11.1	0.01	14.0	0.30
Sol tourbeux de Jaulzy (Oise).....	12.54	»	101.6	0.58
Tourbe de Longemer (Vosges).....	21.30	0.54	3.24	2.16
Sol humifère de Brassioux (Indre).....	10.7	»	324.0	1.05

M. Pagnoul a analysé quelques terrains marécageux du

Pas-de-Calais riches en potasse (2,45 à 3,78). Ce sont là de très rares exceptions : ces sols jouissent d'ailleurs d'une grande fertilité et sont d'une culture facile. On peut dire, d'une façon générale, que les terres tourbenses sont remarquables à cause du défaut de potasse ; nous savons comment se produit l'appauvrissement et il n'y a pas lieu d'y revenir. La dose de chaux varie dans de grandes limites ; mais la présence du calcaire ne suffisant pas à vaincre l'inertie de l'humus, les terres calcaire-humifères pauvres en potasse restent improductives.

Les tourbières *infra-aquatiques* (tourbières à cypéracées) et *supra-aquatiques* (tourbières à sphaignes) de l'Allemagne du Nord sont caractérisées aussi par leur pauvreté en potasse. Voici, d'après M. Fleischer, leur composition pour mille (substance sèche) :

DÉSIGNATION DES TOURBIÈRES	Azote	Acide phosphoriqu.	Potasse	Chaux
I. — <i>Tourbières supra-aquatiques.</i>				
Tourbe de Lilienthal.....	10.2	0.6	0.3	2
— de Helweg.....	11.9	1.2	0.6	3.7
— de Bourtaug.....	14.5	1.4	0.7	3.5
— de Papenburg.....	15.5	1.0	0.8	3.7
II. — <i>Tourbières infra-aquatiques.</i>				
Tourbe de Landsdorf.....	35.5	9.8	0.5	48.4
— de Cunrau.....	32.3	2.5	0.5	59.6
— de Dresow.....	28.5	1.4	0.9	72.5
— de Zalésie.....	21.0	10.1	0.8	92.3
— de Pœtzig.....	17.8	4.1	0.7	266.2

Il est à remarquer que la richesse de ces tourbières diffère considérablement ; les tourbières *infra-aquatiques*, étant plus riches en chaux, en acide phosphorique et en azote, sont par cela même plus faciles à mettre en valeur par le seul emploi des engrais potassiques et par l'*ensablement*.

Propriétés des sols humiques

I

Propriétés physiques. — L'accumulation des matières organiques détermine de profondes modifications dans les propriétés du sol. A mesure qu'une terre argileuse s'enrichit en humus, sa compacité diminue; par contre, dans les sols légers, on observe une plus forte cohésion¹. Dans tous les cas, la terre prend une coloration plus foncée; elle brunit quelquefois considérablement (terres noires) et devient plus froide et plus humide au toucher; elle est parfois grasseuse (tourbes compactes).

Il serait superflu d'étudier en détail chacun des caractères physiques, variables d'ailleurs d'un sol à l'autre, selon la nature des éléments mécaniques qui se trouvent associés à l'humus.

Les sols tourbeux ont des propriétés qui rappellent celles de la matière ulmique; ils se dilatent, se gonflent beaucoup en absorbant des quantités notables d'eau. La sécheresse occasionne de fortes contractions, dans ces terres mobiles, et provoque fréquemment de profondes fissures; les alternatives de gel et de dégel déterminent des variations semblables dans le volume du sol et rendent par cela même la culture des plantes hivernantes impossible.

Dans les natures calcaro-humifères, on retrouve de tels inconvénients, en raison de la mobilité du calcaire. Les terres argilo-humifères et silico-humifères, qui partagent à la fois les propriétés de l'argile, du sable et de l'humus, sont plus stables que les autres et conviennent mieux à la culture.

D'une façon générale, l'abondance des matières orga-

(1) En réalité, la terre ne prend véritablement du corps que s'il peut se former des humates.

miques détermine une diminution de la densité, de l'adhérence, de la cohésion et de la perméabilité du sol à l'égard de l'eau : elle exalte, au contraire, la faculté d'imbibition, la faculté d'évaporation, le pouvoir hygroscopique, la porosité pour les gaz et la faculté d'absorption de la chaleur.....

La gelée pénètre plus lentement dans les sols humifères que dans les terres ordinaires. L'humus tempère, atténue sensiblement les variations de température : le sol est plus frais en été et plus chaud en hiver.

Ainsi, l'action régulatrice de la matière organique se manifeste au plus haut degré.

II

L'acidité du sol. — On désigne souvent les terres humifères sous l'épithète de *terres acides*. Cette dénomination leur vient surtout de la faible réaction que possède l'humus et que l'on peut mettre en évidence à l'aide du papier bleu de tournesol, pierre de touche de l'acidité.

Selon M. Paul de Mondésir, on doit qualifier plus spécialement de *terre acide* celle qui a la faculté de décomposer le blanc d'Espagne, à froid, et de mettre ainsi l'anhydride carbonique en liberté. On procède à ces déterminations au moyen d'un appareil très ingénieux permettant d'effectuer rapidement le dosage du calcaire.

Au nombre des composés acides qui prennent naissance pendant la décomposition des matières organiques, nous citerons : l'anhydride carbonique, les acides acétique et butyrique, qui ont le plus généralement une origine microbienne. Les actions biologiques multiples qui se manifestent au sein même de la terre arable sont donc la cause prépondérante de leur formation.

(1) *Annales de la Science Agronomique*, t. II, 1886 et 1887.

L'acide acétique se rencontre en proportion variable dans presque tous les sols humifères; M. Dehérain, dès 1859, l'a caractérisé dans une terre tourbeuse du Loiret. M. G. Paturel a trouvé aussi, dans un sol des landes bretonnes, 0.19 d'acide acétique par kilogramme.

L'acide butyrique ne se produit en quantité appréciable que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles : c'est assez dire qu'il est encore moins répandu dans la terre. On y rencontre plus fréquemment les acides bruns ou noirs (acides humiques) imparfaitement connus, qui donnent naissance à ces matières si précieuses pour la culture des légumineuses : *les humates*.

Quoi qu'il en soit, les acides gras volatils (acides acétique et butyrique) paraissent avoir une origine peu différente; ils dérivent directement ou indirectement des hydrates de carbone et des albuminoïdes. Les matières sucrées, en l'absence de l'air, et sous l'influence d'une fermentation spéciale étudiée par MM. Dehérain et Maquenne, peuvent se dédoubler en acide butyrique. Dans des conditions de milieu toutes différentes, il peut se produire aussi une sorte de fermentation alcoolique aux dépens des matières sucrées, puis de l'acide acétique aux dépens de l'alcool. Cette théorie est d'autant plus conforme à la réalité des choses que M. Müntz a pu caractériser, il y a longtemps déjà, la présence de l'alcool dans les sols riches¹

Comment peut-on exprimer le degré d'acidité d'un sol? Pratiquement, il suffirait de déterminer comparativement la proportion de blanc d'Espagne que les terres peuvent décomposer en un temps donné. Cette méthode a son utilité quand on veut calculer la dose de chaux nécessaire

(1) Dans la putréfaction des matières organiques, il se forme, outre les produits gazeux (méthane, acide carbonique, hydrogènes sulfuré et phosphoré, azote et protoxyde d'azote) du scatol, de l'indol, des ammes, des acides amidés, de la tyrosine, des acides gras volatils (formique, acétique, propionique, butyrique, valérianique), des acides bruns (acides humiques), de l'urmine, etc.

pour chauler un sol acide ; mais au point de vue de l'aptitude à la nitrification, l'acidité ainsi déterminée ne fournit aucune indication précise. Si le défaut de nitrification a pour cause l'acidité du sol, pourquoi les sols calcaro-humifères ne donnent-ils pas plus de nitrates que les autres ?

Il est difficile pourtant d'invoquer l'existence d'acides libres dans des milieux qui renferment plus de 20 p. 100 de chaux, ou bien il faut supposer qu'il se produit, dans la transformation des matières organiques, des corps complexes où les fonctions acides sont considérablement affaiblies par le voisinage de groupements amidogènes.

Dans tous les cas, comme il importe surtout de mesurer le « *pouvoir nitrifiant* » du sol, il serait peut-être plus utile d'exprimer autrement le degré d'acidité. L'activité des fermentations nitriques reste subordonnée à la légère alcalinité de la terre arable ; pourquoi ne pas l'utiliser à titre d'indication pratique ?

Je crois, à cet égard, que *le degré d'acidité* exprimé en fonction de la *dose limite de carbonate de potasse*, laquelle est étroitement liée au rapport du carbone à l'azote, rendrait mieux compte de l'état du sol et de ses aptitudes. J'ai remarqué maintes fois, en effet, que les doses maxima de carbonate de potasse nécessaires pour provoquer une nitrification active, dépendent, pour des sols présentant une constitution minérale à peu près identique, de la grandeur de ce quotient bien plus que de la proportion de carbone organique ; même dans les terres calcaro-humifères, le papier de tournesol accuse fréquemment une réaction acide. ce qui laisserait supposer, ainsi que je le faisais entrevoir plus haut, que tous les acides provenant de la décomposition de l'humus n'ont pas, à un égal degré, la propriété de décomposer le calcaire et de se neutraliser.

Il est bien naturel d'admettre que, dans des sols de même origine surtout, il doit y avoir une relation apparente entre l'acidité exprimée par le nombre de car-

bone (quand on fait le dénominateur de la fraction C/Az égal à l'unité) et la dose de sels alcalins à ajouter. C'est ainsi que pour des terres de labour de la vallée de la Garonne, également pauvres en calcaire, nous trouvons :

	Rapport du carbone à l'azote	Dose limite (1) de carbonate de potasse (p. 1000)
Terre sablo-argileuse (alluvions).	3.7	1.5
Terre silico-argileuse (boulbène légère)	5.3	2.5

On peut donc écrire :

$$\frac{3.7}{5.3} = \frac{1.5}{2.5}$$

Si la proportionnalité n'est pas parfaite, c'est parce que nous n'avons pas fait varier les doses d'assez petites quantités ; quand nous disons que la *dose limite* est 1.5 ou 2.5, nous donnons un chiffre approché, attendu que dans la plupart de nos essais les quantités de sel augmentent respectivement de 5 dix-millièmes. Il serait donc plus exact de dire que les doses limites sont comprises entre 1 et 1.5 ou 2 et 2.5.

III

Le pouvoir absorbant. — Toutes les terres possèdent à divers degrés la propriété de retenir certains corps, les alcalis et les carbonates alcalins notamment. L'humus exalte considérablement cette importante faculté : il fixe l'ammoniaque, la potasse, la soude et les carbonates correspondants, pour engendrer des humates polybasiques comme le sont les silicates ; il absorbe également un certain nombre de sels avec lesquels il forme peut-être des

(1) Nous appellerons *dose limite*, la quantité d'engrais qui correspond au maximum d'azote nitrique produit ; en d'autres termes, c'est celle qui agit le plus efficacement sur la nitrification pour un sol donné.

(2) Ces sels se retrouvent dans la matière noire et dans les cendres qui résultent de sa calcination. M. Grandeau, qui a très bien étudié cette question, pense avec raison que ces éléments sont maintenus dans un état assimilable ; la matière organique leur servirait de véhicule.

combinaisons irrégulières analogues à celles qui se produisent dans les cellules végétales vivantes.

Le pouvoir absorbant de l'humus et de la tourbe à l'égard des alcalis a été mis en lumière par Brustlein.

ABSORPTION DE L'AMMONIAQUE

MATIÈRES EMPLOYÉES et durée de l'expérience	AMMONIAQUE	
	introduit	absorbé
20 gr. d'humus, après 2 heures..	gr. 0.117	gr. 0.077
10 gr. » »	0.355	0.125
10 gr. » après 20 heures.	0.352	0.127
25 gr. de tourbe.....	0.355	0.177

L'absorption de l'ammoniaque est très rapide. Ainsi, dans cette expérience, 10 grammes d'humus ont absorbé à peu près autant d'alcali après deux heures qu'après vingt heures, ce qui prouve qu'il y a combinaison.

J'ai étudié récemment l'absorption du phosphate acide de calcium par les sols tourbeux. Cette importante propriété nous permettra d'expliquer les bons effets des engrais phosphatés dans ces sortes de terre.

IV

Absorption de l'acide phosphorique. — Quand on laisse, pendant quelque temps, une solution de phosphate monocalcique au contact de la terre, elle s'appauvrit progressivement. L'acide phosphorique est fixé, immobilisé, retenu; on en attribue la cause généralement à la *rétrogradation*. En réalité, il y a d'abord absorption.

C'est l'humus, au début de l'expérience, qui fixe l'acide phosphorique; et il semble que la rétrogradation se manifeste ensuite d'une façon lente mais assez régulière.

Dans les terres normalement constituées, la proportion de phosphate insolubilisé ou retenu n'est jamais aussi

considérable que dans les sols riches en humus. Pour s'en rendre compte, il suffit de jeter un coup d'œil sur le tableau suivant, où j'ai consigné les résultats obtenus comparativement avec un sol franc et quelques terres tourbeuses :

TEMPS DE CONTACT	ACIDE PHOSPHORIQUE ABSORBÉ par 50 gr. de différentes terres			
	Tourbe de Palluel	Tourbe de Brunémont	Tourbe d'Abbeville	Terre franche
	grammes	grammes	grammes	grammes
2 heures	0.337	0.409	0.378	0.080
1 jour	0.430	0.483	0.465	0.085
2 jours	0.492	0.535	0.576	0.087
3 jours	0.526	0.542	0.623	0.084
4 jours	0.588	0.553	0.640	0.105
5 jours	0.600	0.565	0.658	0.133
8 jours	0.640	0.623	0.658	0.170
15 jours	0.660	0.625	0.660	0.187

J'ai employé 50 gr. de terre sèche et tamisée; j'y ai ajouté 350 cc. d'une solution de phosphate monocalcique contenant 0 gr. 815 d'acide phosphorique.

On voit tout de suite combien l'absorption diffère. La tourbe de Brunémont, qui dose 75.5 d'humus et 7 % de calcaire, absorbe 0 gr. 409 d'acide phosphorique, soit 50 % de l'acide total; la terre franche, dans les mêmes conditions, en retient seulement 0 gr. 080, soit 10 % en chiffres ronds. C'est à la constitution du sol qu'il faut attribuer ces énormes différences; la terre franche contient en effet 12 fois moins d'humus et une quantité plus faible de chaux.

Le rôle de la matière organique ressort nettement de ce premier essai. Néanmoins, comme on pourrait alléguer une disproportion dans la richesse minérale, j'ai pensé qu'il y aurait avantage à répéter l'expérience sur la tourbe calcinée. 50 gr. de tourbe de Brunémont et d'Abbeville ont donné, après incinération, 12,25 et 8,85 de cendres; en

ajoutant à ce résidu 350 cc. de la solution de phosphate, j'ai obtenu :

TEMPS DE CONTACT	ACIDE PHOSPHORIQUE ABSORBÉ	
	Tourbe d'Abbeville	Tourbe de Brunémont
	grammes	grammes
2 heures	0.166	0.234
1 jour	0.494	0.340
2 jours	0.578	0.554
3 jours	0.726	0.604
4 jours	0.770	0.708
5 jours	0.788	0.716
8 jours	0.814	0.813

Ainsi, la terre calcinée absorbe seulement 0 gr. 234 d'acide phosphorique, après 2 heures, tandis qu'elle en absorbait 0,409 avant incinération, dans les mêmes conditions d'expérience. J'insiste d'abord sur ce premier point. Il est bien manifeste que si la tourbe normale absorbe 0 gr. 175 d'acide phosphorique de plus que la même tourbe calcinée, il faut en attribuer la cause à l'humus et non à la proportion de calcaire qui reste la même dans les deux cas.

Un autre fait, dont l'importance n'échappera à personne, se dégage de cette expérience. Dans la terre normale, l'absorption du phosphate n'est pas complète, intégrale; après un contact de 15 jours, il reste encore 24 % d'acide phosphorique dans la solution. Au contraire, tout le phosphate est absorbé en 8 jours dans la tourbe incinérée. *L'humus serait-il un obstacle à la rétrogradation?* On ne saurait en douter... Le même fait se produit avec les tourbes de Palluel et d'Abbeville. Il n'y a pas jusqu'à la terre franche qui ne présente ce caractère, cette particularité inattendue.

L'absorption des phosphates solubles est-elle proportionnelle à la quantité d'humus ou à la proportion de

calcaire ? Les essais que je viens de relater prouvent péremptoirement qu'il y a un rapport étroit entre la fixation de l'acide phosphorique et l'abondance de l'humus. Je n'ai pas pu cependant établir de proportionnalité, étant donné qu'il y a simultanément absorption et rétrogradation. Même avec de l'humus précipité, le rapport n'est pas parfait, mathématique.

Tout ce que nous pouvons affirmer, c'est que, dans les sols humifères, l'humus exerce une action autrement prépondérante que celle du calcaire.

Visiblement, si l'humus agissait seul, c'est la *tourbe d'Abbeville*, — la plus riche en matières organiques, — qui absorberait le maximum de phosphate ; en réalité, c'est celle de *Brunémont* qui vient en première ligne. Il en résulte que le *coefficient d'absorption* de ces sortes de sols ne dépend pas exclusivement des doses respectives d'humus ou de calcaire, mais plutôt du rapport suivant lequel ces éléments sont associés. On trouve, en effet :

	Rapport de l'humus au calcaire	Rapport de l'acide phosphorique absorbé à l'acide phospho- rique total		
		Terre normale	Terre calcinée	Différences
Tourbe de Palluel.....	$\frac{3,22}{1}$	41,35	32,50	8,85
Tourbe de Brunémont..	$\frac{6,05}{1}$	50,18	33,62	16,56
Tourbe d'Abbeville.....	$\frac{9,84}{1}$	45,70	20,40	25,30

Ainsi, deux facteurs interviennent dans la fixation de l'acide phosphorique par la terre arable ; si l'on pouvait les isoler, ils agiraient l'un et l'autre dans un sens déterminé, quoique différent, — en raison même de leur nature propre, — mais il y aurait proportionnalité entre les quantités de phosphate absorbé et les doses d'humus ou de calcaire. Associés ensemble, ils ajoutent leurs effets d'une

façon très inégale, et c'est la prédominance de la matière organique sur le carbonate de chaux qui paraît régler l'absorption au début de l'expérience.

Dans une autre série d'essais, j'ai constaté, en opérant sur des proportions différentes d'humus fraîchement précipité, qu'une solution de phosphate monocalcique, contenant 0 gr 200 d'anhydride phosphorique, abandonnait, à la matière organique, des quantités d'acide phosphorique variant de 10 à 28 p. 100.

On a trouvé, en effet, après un contact de 24 heures :

Absorption du phosphate monocalcique par l'humus fraîchement précipité ¹

Poids d'humus — grammes	Acide phosphorique absorbé	
	par l'humus — grammes	par rapport à l'acide phosphorique total — pour 100
0.960	0.021	10,5
1.030	0.025	12,5
1.110	0.030	15,0
1.215	0.032	16,0
1.320	0.036	17,0
1.800	0.057	28,5

Le coefficient d'absorption de l'humus, relativement élevé dès le début, n'augmente pas sensiblement avec le temps de contact. Ainsi, la fixation de l'acide phosphorique par la matière humique constitue un phénomène rapide et presque instantané; au contraire, l'allure de la rétrogradation, dans les terres humifères surtout, est toujours lente et progressive. Ces caractères différencient nettement l'absorption et la rétrogradation.

(1) Il est bon de faire remarquer que l'humus naturel a un pouvoir absorbant plus considérable que l'humus précipité (acide humique). M. Berthelot a étudié la fixation des phosphates de soude et d'ammoniaque par l'acide humique artificiel dérivé du sucre par déshydratation; les résultats sont encore plus faibles que ceux que j'ai obtenus avec l'acide humique extrait du sol.

La stérilité des terres humifères

I

Le défaut de nitrification. — On attribue généralement l'infécondité des sols tourbeux à la surabondance des matières organiques qui créent, pense-t-on, un milieu *acide* impropre au développement des ferments nitriques. À première vue, cette manière de voir pourrait paraître suffisante pour expliquer le défaut de nitrification dans ces sortes de terres. Certes, il n'est pas douteux que les transformations de l'humus, et en particulier la production des nitrates, restent subordonnées à la nature du milieu, c'est-à-dire à sa constitution intrinsèque : mais on ne saurait nier qu'il existe des sols à la fois riches en humus et en calcaire — *et par cela même non acides* — qui ne donnent pas une quantité appréciable d'azote nitrique, même après un assez long temps d'expérience : telles sont les terres calcaro-humifères pauvres en potasse. Pourquoi, dans de semblables conditions, les ferments nitriques sont-ils sans action ? Pourquoi la décomposition de l'humus demeure-t-elle incomplète malgré l'abondance du calcaire ?

J'avais pensé, tout d'abord, que la matière organique pouvait être un obstacle à la nitrification, non pas en raison de l'acidité qu'elle communique au sol, mais par son abondance même. Il y a, en effet, certains ferments qui ne travaillent avec activité que lorsque le milieu dans lequel ils se développent renferme une proportion déterminée de la matière à transformer. En serait-il de même pour les ferments nitriques ? M. Winodgraski, on le sait, n'a pu isoler ces organismes que par des cultures en solutions minérales. Cela n'implique pas, il est vrai, que ces ferments ne puissent travailler en des milieux organiques ; mais j'ai constaté plusieurs fois, en étudiant la nitrification des *humates solubles*, que le degré de concen-

tration de la solution exerçait une influence notable sur l'activité des *nitromonades*, — et cela m'autorisait à croire que l'abondance ou la concentration de l'humus constituait sans doute une entrave sérieuse à la nitrification.

La possibilité de faire nitrifier toutes les terres humifères et tourbeuses, après assainissement et addition de carbonate de potasse ôte à cette supposition son semblant de solidité.

J'étais encore en droit de supposer — malgré l'invraisemblance de cette hypothèse — que l'excès de calcaire pouvait contrecarrer ou paralyser, dans une certaine mesure, l'action des ferments nitriques. Cette assertion, pas plus que la première, n'a été confirmée par l'expérience.

Il est bien manifeste que si la stérilité des terres humifères résultait du défaut de nitrification, occasionné par l'abondance de l'humus ou du calcaire, les sels ammoniacaux incorporés au sol, à des doses faibles, ne devraient pas y subir de transformation : ils ne devraient pas nitrifier. On ne saurait, à cet égard, concevoir le moindre doute. Vous avez une terre qui ne nitrifie pas dans les conditions ordinaires, vous pouvez en attribuer la cause à *l'absence des organismes nitrifiants, à un défaut de constitution du milieu ou à l'état particulier de la matière organique.*

Je crois qu'il faut écarter tout de suite la première cause. Le ferment nitrique est très répandu ; on le trouve dans les eaux terrestres, dans le sol et dans l'air ; M. Müntz a signalé sa présence dans l'atmosphère à l'altitude du Pic du Midi. Jusqu'ici, je n'ai pas encore trouvé une seule terre humifère qui soit inapte à nitrifier les sels ammoniacaux dans les conditions ordinaires. Reste la dernière cause : l'état particulier de la matière organique ; elle est, à mon avis, le principal obstacle qui s'oppose à la mise en valeur des sols tourbeux, et je n'aurai pas de peine à l'établir expérimentalement.

III

Nitrification des sels ammoniacaux. — J'ai reçu d'un de mes anciens camarades, M. Lanouvelle, chimiste à Amiens, un certain nombre d'échantillons de sols tourbeux du département de la Somme. Mon attention se porta principalement sur une terre de Lanouvelle-les-Amiens que les maraîchers utilisent pour charger les *hortillons*; mélangée au fumier, elle constitue un sol de première fertilité.

Depuis le mois de janvier, cette terre avait été exposée à l'air; je l'ai gardée au laboratoire un mois environ avant de la mettre en expérience. Je l'épuisai par l'eau, comme j'en ai l'habitude, pour étudier son aptitude à la nitrification; je constatai alors que le liquide d'égouttage donnait une coloration bleue très sensible avec le *sulfate de diphenylamine* (réactif des nitrates). Je soupçonnai, de ce fait, une aptitude naturelle à la nitrification; mais je dus bientôt reconnaître mon erreur, car je n'obtins qu'une proportion insignifiante de nitrates après plus d'un mois d'expérience. Que s'était-il donc passé? Par une exposition prolongée au contact de l'air, par un séjour de quelques semaines au laboratoire, cette terre avait absorbé vraisemblablement des sels ammoniacaux ou des vapeurs ammoniacales qui ne tardèrent pas à nitrifier. Quoi qu'il en soit, ce sont ces premières observations qui me conduisirent aux essais de nitrification avec le sulfate d'ammoniaque.

La terre épuisée à l'eau distillée, puis séchée à l'air, fut partagée en trois lots égaux de 500 grammes. On réserva l'un d'eux comme témoin; les autres reçurent du sulfate d'ammoniaque et du carbonate de potassium. Tous les dix jours, on préleva 100 grammes de terre pour le

(1) Le lavage a été prolongé jusqu'au moment où 10^{cc} de liquide, évaporés sur une douce chaleur, ne donnaient plus de coloration avec le sulfate de diphenylamine.

dosage des nitrates. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

	AZOTE NITRIQUE EN MILLIGRAMMES			
	10 septembre	20 septembre	1 ^{er} octobre	10 octobre
Témoin.....	0,95	1	1	1,1
Terre ayant reçu 1 gr. 5 de sulfate d'ammoniaque.....	33,7	50	60	61
Terre ayant reçu 1 gr. 5 de carbonate de potasse.....	9,3	12,6	15,6	19

On remarquera tout de suite combien la nitrification du sulfate d'ammoniaque a été rapide; M. Schloësing, puis MM. Müntz et Girard, ont reconnu qu'en moins d'un mois les sels ammoniacaux étaient transformés en nitrates dans les terres ordinaires; il n'a pas fallu plus de temps avec la terre humifère soumise à l'expérience.

Dans une autre série d'essais effectués avec des tourbes de différentes natures, on a trouvé, après un mois :

	Azote nitrifié, en milligrammes, dans 100 gr. de terre ayant reçu :		
	Rien	Carbonate de potassium 0 gr 2	Sulfate d'ammoniaque 0 gr 5
Tourbe de Brunnémont..	5.0	28.0	80
Tourbe de Palluel.....	6.0	34.8	87
Tourbe d'Abbeville.....	2.5	18.6	96

Les résultats sont du même ordre que précédemment; la quantité d'azote ammoniacal apporté par l'engrais dépassant 100 milligrammes, la nitrification du sulfate d'ammoniaque est incomplète dans les premiers échantillons.

Le carbonate de potasse à faible dose (2 pour 1.000) active aussi la nitrification; mais le même sel à dose élevée est loin, on le sait, d'exercer une action semblable.

Dans les conditions naturelles, il n'y a pas eu de nitrification malgré la richesse du sol en carbonate de chaux.

Ainsi, il est établi expérimentalement :

Que certaines terres humifères, riches en calcaire, nitri-

vient avec une extrême difficulté même après un temps assez long :

Que la nitrification des sels ammoniacaux s'y produit spontanément, ce qui montre bien que la constitution de ces terres ne saurait être envisagée comme le principal obstacle à la production des nitrates

J'ai voulu pousser plus loin mes investigations en essayant de faire nitrifier le sulfate d'ammoniaque dans une terre débarrassée de tout le calcaire par un traitement à l'acide chlorhydrique étendu, à froid. En présence du carbonate de potasse, et après ensemencement, le sel ammoniacal a pu se transformer intégralement comme dans les conditions précédentes, mais avec une lenteur bien plus grande.

Il est possible, on le voit, de produire la nitrification même en l'absence du carbonate de chaux.

IV

Les causes d'infécondité. — Il nous sera facile maintenant d'établir les causes véritables de l'infécondité des terres humifères. Du moment que les sels ammoniacaux peuvent être nitrifiés dans les sols chargés de matières organiques, nous sommes en droit d'affirmer que le défaut de nitrification est essentiellement imputable à la non transformation de l'azote organique en azote ammoniacal. On sait, en effet, que la formation de l'ammoniaque — que l'ammonisation¹ — se produit surtout grâce à l'intervention de certains ferments. Il est fort à croire que ces microorganismes ont des conditions de développement spéciales et différentes de celles des ferments nitreux et nitriques.

Dans tous les cas, on conçoit aisément que si l'azote organique reste immobile, inerte, dans les sols chargés

(1) Cet important phénomène a été étudié par MM. Müntz et Coudon en France, par M. Marchal en Belgique, etc.

d'humus, ce n'est pas parce que la nitrification (qu'il faut se garder de confondre avec l'ammonisation) y est impossible, mais bien à cause du mauvais fonctionnement des ferments ammoniacaux. La production de l'ammoniaque précède nécessairement celle des nitrates, et il suffit qu'elle soit empêchée pour que le sol se trouve entaché de stérilité.

J'ai posé en principe que le défaut de nitrification est la cause essentielle d'infécondité; mais j'ai établi, d'autre part, que toutes les terres humifères que j'ai étudiées — et elles sont assez nombreuses — jouissent de la propriété de nitrifier les sels ammoniacaux. Il semble qu'il y ait, dans ces faits, un certain antagonisme, une contradiction apparente. En réalité, il serait préférable de dire que les sols riches en matières organiques sont quelquefois inaptes à nitrifier l'azote qui s'y trouve contenu naturellement, ce qui n'implique pas le moins du monde que les engrais à base d'ammoniaque ne puissent s'y transformer en nitrates. Cette distinction suffit à dissiper toute équivoque : si l'humus reste inerte dans de semblables terrains, cela tient à ce que l'ammonisation — et non la nitrification — ne s'y produit point dans les conditions ordinaires. De ce fait, la matière organique azotée n'est pas nitrifiable; elle ne peut pas revêtir la forme voulue pour devenir la proie des ferments ammoniacaux : elle ne peut pas se transformer en humate alcalin et, partant, en humate de chaux.

L'inertie de l'azote est-elle la conséquence de la mauvaise constitution des sols humifères? Visiblement, on ne saurait l'imputer à l'excès de matières organiques. Examinons si elle n'a pas pour cause un défaut d'équilibre ou de proportionnalité entre les éléments minéraux.

V

Le manque de potasse. — L'analyse montre que les terres qui nitrifient mal leur propre azote sont toujours

très pauvres en potasse. Pour s'en rendre compte, il suffirait de rappeler que la plupart des sols de bonne culture renferment plus de 0,001 de potasse, tandis que dans beaucoup de terres tourbeuses la proportion tombe à 0,0002 et quelquefois plus bas encore. C'est un fait à peu près général, et qui s'expliquerait d'autant plus difficilement que nombre de sols humifères contiennent des matières siliceuses. C'est fort probablement le contact prolongé de l'eau chargée d'acide carbonique qui a causé l'appauvrissement du sol en éléments minéraux et principalement en sels de potasse. Quand on établit le rapport de l'azote à la potasse assimilable pour les terres normales et pour certains sols chargés d'humus, on trouve des différences énormes :

$$\text{Rapport....} \left(\frac{\text{Azote}}{\text{Potasse}} \right)$$

$$\text{Terre ordinaire.....} \frac{1}{1} \text{ ou } \frac{2}{1}$$

$$\text{Terre humifère (Val d'Yèvre).} \frac{13.2}{0.36} = \frac{37}{1} \text{ (par excès).}$$

Dans les terrains humifères, ce rapport est 10 fois, 20 fois, 30 fois plus considérable que dans les terres normales.

Nous savons que les sols riches en potasse accusent généralement une proportion d'azote bien plus faible que les terrains tourbeux ou calcaro-humifères... Est-ce l'effet du hasard, ou bien y a-t-il un rapport inverse entre l'azote et la potasse ? La chose mérite d'être examinée.

Les terres noires de Russie, dont on apprécie tant la fertilité, sont caractérisées par une grande richesse en potasse. D'après les nombreuses analyses de M. Kostytcheff, on y dose de 4 à 10 millièmes de potasse et de 6 à 17 pour 100 d'humus. Dès que ces terrains sont défrichés, l'érema-causis s'y manifeste activement et l'on obtient d'abondantes récoltes.

J'ai établi dans le tableau suivant, en me basant sur les

analyses citées d'autre part, la proportionnalité entre l'azote et la potasse, puis entre l'azote et la chaux¹...

	Rapport de l'azote à la potasse.	Rapport de l'azote à la chaux.
Terre marécageuse de Clairmarais.....	1.5	0.060
Terre de bruyères de jardin.....	1.7	3.300
Terreau de couche.....	2.5	0.210
Tourbe de Palluel.....	21.8	0.200
Tourbe grise d'Ailly.....	22.0	0.018
Tourbe d'Abbeville.....	23.0	0.450
Tourbe de Brunémont.....	23.6	0.246
Tourbe grise du Catelet.....	29.0	0.023
Terre tourbeuse du Val d'Yèvre.....	36.6	3.140
Tourbe du Jura.....	111.0	0.790
Tourbe de Huelgoat.....	154.0	très grand.

Dans le fumier de ferme, très apte à la nitrification, le rapport de l'azote à la potasse dépasse rarement l'unité². Pour les terres types de bonne fertilité, il oscille entre 1 et 2, tandis que celui de l'azote à la chaux varie de 0,2 à 0,8.

Il est curieux de constater que le rapport de l'azote à la potasse peut être très grand dans des terres où la quantité de chaux est énorme, ce qui montre bien que le calcaire n'empêche pas l'accumulation de l'azote.

Quoi qu'il en soit, la disproportion n'est pas discutable.

Pour ma part, je n'attribue pas la stérilité à d'autres causes. L'acidité, que nous avons exprimée par le rapport du carbone à l'azote, n'a pas les inconvénients que l'on croit; dans quelques terres calcaro-humifères, en effet, la valeur de ce rapport tombe plus bas que dans les sols de moyenne fertilité.

(1) On trouvera dans ce tableau la valeur de ces rapports pour les tourbés de Brunémont, de Palluel et d'Abbeville qui dosent respectivement **0.73**, **0.87** et **0.91** de potasse pour 1000.

(2) Il est même inférieur à l'unité dans la plupart des cas.

En résumé, c'est bien le défaut de potasse active qui enraye la production de l'ammoniaque, la transformation de l'humus et frappe de stérilité les terres humifères ¹

En veut-on une preuve manifeste ?

J'ai étudié la formation de l'ammoniaque, sous l'influence du carbonate de potasse, dans la tourbe d'Abbeville. Après avoir prélevé des échantillons de 100 gr. de tourbe humide (dosant encore 50 p. 100 d'eau), on y a ajouté des doses croissantes de carbonate potassique. La matière ainsi traitée a été placée à l'étuve, à 40°, dans des flacons hermétiquement clos; on a dosé l'azote ammoniacal, par déplacement avec la magnésie, après 2, 4 et 8 jours d'expériences :

AZOTE AMMONIACAL (en milligrammes) OBTENE APRÈS

Doses de carbonate de potasse 0/0	AZOTE AMMONIACAL (en milligrammes) OBTENE APRÈS		
	2 jours	4 jours	8 jours
1.0	16.4	18.4	26.4
1.5	20.4	25.0	32.5
2.0	26.4	30.6	34.6

Les échantillons témoins, dans les mêmes conditions, accusaient de 1,3 à 1,4 milligr. d'azote ammoniacal.

Ces résultats montrent bien que l'addition des sels de potasse provoque toujours une ammonisation intense. Nous verrons plus loin pour quelles raisons ces corps exercent une action puissante sur les transformations de l'azote organique du sol.

VI

La matière azotée de la tourbe. — L'humus des sols tourbeux présente-t-il une forme spéciale? Quelques au-

(1) Je dis à dessein *potasse active* parce que c'est la seule qui intervienne réellement dans les transformations de l'humus. Une terre renfermant de la potasse inattaquable serait frappée de *stérilité relative* au même titre que les sols tourbeux riches en azote; pour la mettre en valeur, il suffirait d'y incorporer les agents de mobilisation de la potasse (plâtre, marne, etc.).

leurs l'affirmement ; et cependant, quand on étudie comparativement la constitution des humus de différentes terres, on ne trouve pas des écarts tellement grands pour qu'on puisse établir une classification rationnelle. A vrai dire, les différences observées dépendent plus de l'état de décomposition des matières organiques que de leur nature propre ; elles portent sur l'état de l'azote plutôt que sur la constitution élémentaire de l'humus. J'ai fait, à ce sujet, quelques essais intéressants : dans des solutions d'humate de potassium — préparées en traitant 50 gr. de différentes terres par 500 cc. d'une solution contenant 7 gr. de carbonate de potasse — j'ai dosé l'azote contenu dans la matière organique non précipitable par les acides minéraux. J'ai obtenu ainsi, pour 100 de l'azote contenu dans l'humate :

	Azote non précipitable par les acides.
Tourbe de Palluel.....	10.0
Tourbe de Brunémont.....	15.2
Tourbe d'Abbeville.....	21.0
Sol tourbeux du Val d'Yèvre.....	23.6
Terre de jardin.....	55.4

Comme on le voit, le rapport de l'azote non précipitable à l'azote dissous présente des différences énormes ; relativement faible dans les sols tourbeux réfractaires à la nitrification, il s'élève à plus de 50 p. 100 dans les terres ordinaires. Si l'on admet, ce qui est vrai d'ailleurs — ainsi que je l'ai reconnu expérimentalement — que la matière azotée non précipitable présente une forme plus simple et nitrifie plus rapidement que l'acide humique naturel, on s'explique pourquoi l'humus de tourbe se montre plus résistant.

Ce fait est-il imputable au manque de potasse ?

On ne saurait en douter, puisque l'apport de cet élément permet, dans tous les cas, de vaincre la passivité de l'humus, l'inertie de l'azote.

Ainsi, nous admettrons que, dans les sols tourbeux, la

transformation des composés azotés ne se produit pas régulièrement, qu'elle est paralysée faute de potasse. La molécule organique reste complexe; les *amides* simples, que les alcalis transforment si aisément en sels ammoniacaux, se conservent intacts et échappent à l'action des ferments producteurs d'ammoniaque. En ajoutant à la terre du carbonate de potasse ou des matières pouvant l'engendrer, la matière azotée deviendra active, nitrifiable.

DEUXIÈME PARTIE

LA FERTILISATION DU SOL

Le Problème

I

Son caractère général. — Est-il possible, malgré la diversité des terres humifères, de présenter sous une forme générale le grand problème de la fertilisation? Admettre le contraire, ce serait revenir aux anciens errements pour affirmer, avec J. Bujault, que « *l'agriculture est une science de localité* ». Quand on en était encore à la période des tâtonnements, des hésitations et de l'incertitude, pareille affirmation pouvait se soutenir; mais aujourd'hui, à moins de nier l'existence même de l'agronomie, qui donc oserait le faire? Puisqu'il n'y a de science que du général, la généralisation devient nécessairement le véritable critérium des théories et des doctrines agronomiques; en donnant à la question de la mobilisation de l'humus un caractère très étendu, nous ne faisons que nous conformer à ce grand principe philosophique.

Au fait, pourquoi une substance donnée — l'humus par exemple — pour être amenée toujours à un même état, ne subirait-elle pas les mêmes transformations et ne passerait-elle pas par les mêmes phases? Dire que *la matière orga-*

rique du sol deviendra nitrifiable toutes les fois que certaines conditions bien définies, toujours les mêmes, se trouveront réalisées, c'est énoncer un fait général, incontestable en soi..... Ce principe admis, que doit-on faire? On doit rechercher si le milieu réalise naturellement toutes les conditions voulues, et, dans la négative, s'efforcer de les réaliser le plus économiquement possible par des moyens artificiels. Nous n'agissons jamais autrement. Tous les sols humifères dont l'assainissement ne constitue pas une impossibilité sont cultivables; il suffit, pour les mettre en état, de vaincre l'inertie de l'humus, de provoquer la nitrification et de parer à l'insuffisante richesse du milieu en éléments minéraux.

Cela dit, nous pouvons énoncer ainsi le problème :

Étant donnés des terrains riches en matières organiques et en azote, très imparfaitement et inégalement constitués sous le rapport des éléments minéraux, que faut-il faire pour les rendre productifs?

On supposera connus les besoins de la végétation.

II

Les données.— Dans les terres normalement constituées, la question de l'amélioration ne se présente pas du tout sous la même forme; il suffit, en effet, d'y maintenir la fertilité par la restitution périodique des principes exportés. Dans les sols humifères, il faut au contraire, avant de songer à cela, provoquer la fécondité, vaincre la passivité ou l'inertie de la matière azotée.

Voilà le point capital.

Les terres humiques, sous le rapport de leur constitution minérale, peuvent avoir les mêmes défauts que les autres; elles n'en offrent pas moins un caractère commun: l'abondance de l'humus et de l'azote, éléments qui revêtent ici une forme passive.

On objectera peut-être qu'il ne suffit pas de favoriser les transformations de la matière organique pour obtenir des récoltes avantageuses : c'est parfaitement vrai. Je sais bien que l'infécondité dépend de plusieurs causes et notamment de l'insuffisance des principes fertilisants : acide phosphorique, potasse et chaux ; mais ce sont là des défauts faciles à corriger par l'apport des engrais de commerce. La question que nous devons envisager est celle de savoir s'il n'est pas possible de mettre à profit, par des moyens économiques, le stock considérable d'azote qui se trouve en réserve dans l'humus du sol. Je ne surprendrai personne en affirmant qu'il est plus facile d'apporter à la terre les principes nutritifs, sous forme d'engrais, que de mobiliser ou de mobiliser les matériaux qu'elle contient à l'état naturel.

Quelle que soit la forme sous laquelle on envisage le problème, il comporte les mêmes données générales :

- a) *Connaissance du sol et de l'état sous lequel se présentent les éléments constitutifs ;*
- b) *Etude des moyens permettant de tirer parti des richesses naturelles du sol ;*
- c) *Apport des matériaux complémentaires.*

Dans la première partie de ce travail, nous avons insisté sur la constitution du sol et sur la nature des éléments qui s'y trouvent contenus. Nous savons, par exemple, que dans les milieux chargés d'humus, deux éléments seuls peuvent être immobilisés : la *potasse* et l'*azote*. La potasse, il est vrai, y fait souvent défaut ; mais quand elle abonde, son inertie sera facilement vaincue par l'emploi judicieux de la chaux et du plâtre. D'autre part, il n'y a pas lieu de se préoccuper autrement de l'état sous lequel se présente l'acide phosphorique ; cet élément, en raison de l'action dissolvante de l'humus et des humates, revêt toujours une forme active, assimilable ; on peut même supposer qu'il est irrégulièrement combiné à la matière organique

dans les sols humifères; malheureusement, il manque presque toujours quand l'humification se produit en terrains pauvres.

Reste le point capital : *l'inertie de l'humus*. Nous avons étudié les causes de stérilité, examinons maintenant quels sont les moyens qui vont nous permettre de vaincre la passivité de l'azote.

On a cru longtemps qu'il suffisait de recourir aux amendements, au chaulage ou au crayonnage, pour provoquer une nitrification active; mais l'expérience va nous apprendre que si la chaux, en tant que base, active la production de l'ammoniaque aux dépens de l'azote organique, elle n'agit que dans des conditions déterminées: dès qu'elle se trouve combinée avec l'acide carbonique, dès qu'elle est *carbonatée*, son action devient à peu près nulle.

Il faudra donc s'adresser à des substances plus actives plus énergiques, si l'on veut vaincre efficacement l'inertie de l'azote dans les sols humifères.

Quelles sont ces substances?

Comment agissent-elles comparativement, et dans quelle mesure? Voilà l'importante question qui s'impose désormais à notre examen! Elle constitue le point essentiel du grand problème de la fertilisation du sol, et c'est par l'expérience seulement que nous pourrions la résoudre.

III

Ce que dit l'expérience. — La possibilité de faire nitrifier les sels ammoniacaux, dans les sols très riches en matières organiques, est un fait expérimental d'une certaine importance... On nous enseigne, en effet, que les terres chargées d'humus sont irrémédiablement frappées de stérilité parce que leur *pouvoir nitrifiant* est à peu près nul; et voilà qu'il suffit d'y répandre du sulfate d'ammoniaque, du carbonate de potassium ou des cendres de

bois non lessivées pour y provoquer, en quelques semaines, une nitrification abondante, copieuse. Qu'est-ce à dire ? Comment expliquer qu'un sol, naturellement inapte à nitrifier son propre humus, puisse transformer le sel ammoniacal qu'on y incorpore artificiellement ?

Nous l'avons dit : « *Une terre humifère convenablement assainie reste frappée de stérilité parce que l'azote organique ne peut s'y transformer en azote ammoniacal, et que la nitrification, de ce chef, se trouve interrompue.* »

Il serait mal aisé de répondre à ces questions en expérimentant sur les terres ordinaires, dont on connaît la constitution complexe ; il devient plus facile de le faire en opérant sur des sols humifères très pauvres en éléments minéraux.

J'avais à ma disposition une terre réalisant presque toutes les conditions voulues par sa nature essentiellement tourbeuse ; elle me fut envoyée, il y a plusieurs années, par M. Ravel, régisseur des cultures à la colonie agricole du Val d'Yèvre, près de Bourges. On y a dosé par kilogramme :

Azote.....	13.2
Acide phosphorique.....	traces
Chaux.....	4.2
Potasse.....	0.36

J'ai essayé comparativement l'action des cendres d'éco-buage, des cendres non lessivées, des charrées, de la marne argileuse, de l'argile brûlée, du calcaire, du carbonate de potasse et de différents engrais, sur la nitrification et la production de l'ammoniaque.

Les quantités de nitrates formés, après un même temps, varient dans de grandes limites avec la nature des substances employées :

AZOTE NITRIÉ EN 40 JOURS DANS 1,000 GRAMMES DE TERRE

NATURE DES MATIÈRES EMPLOYÉES	Doses pour 400	Azote nitrique (en milligr.)
Témoin.....	»	1.8
Carbonate de potasse.....	0.1	57.8
Cendres d'écochage.....	0.5	10.2
Cendres non lessivées.....	0.5	19.0
Charrées.....	0.5	3.6
Carbonate de chaux.....	2.0	5.3
Argile marneuse.....	2.0	7.5
Argile brûlée.....	2.0	7.0
Sulfate de potasse.....	0.1	32.5
et calcaire.....	2.0	
Chlorure de potassium.....	0.1	38.0
et calcaire.....	2.0	
Chlorure de potassium.....	0.1	41.5
et scories.....	0.5	

Au point de vue de la formation de l'ammoniacal, les matières appliquées au sol se comportent de la même façon :

AZOTE AMMONIACAL FORMÉ EN 24 JOURS DANS 1,000 GRAMMES DE TERRE

NATURE DES MATIÈRES EMPLOYÉES	Doses pour 400	Azote ammoniacal (en milligr.)
Témoin.....	»	4
Carbonate de potasse.....	0.1	82
—.....	0.25	62
—.....	0.5	40
—.....	1.0	15
Carbonate de soude.....	0.5	16
—.....	1.0	perdu
Carbonate de chaux.....	1.0	4.7
Chlorure de potassium.....	0.25	96
et scories.....	0.5	
Chlorure de potassium.....	0.5	130
et scories.....	1.0	

Ce sont les carbonates alcalins, employés à doses faibles, qui accélèrent davantage la production de l'am-

(1) Voir plus loin : *Les engrais de potasse.*

ioniaque et de l'azote nitrique; l'action des ferments ammoniacaux, comme celle des ferments nitriques, est analysée quand on applique des doses de carbonate trop levées.

Le mélange *chlorure de potassium et scories*, que L. Ravel emploie avec succès dans la culture des terres tourbeuses, a donné dans tous les cas d'excellents résultats, et il se pourrait que la présence de l'acide phosphorique et du fer contenus dans les scories assurât un meilleur développement des ferments¹

On remarquera tout de suite l'efficacité notablement supérieure du carbonate de potasse et des engrais potassiques associés à du calcaire ou à des scories. Les cendres d'écobuage, les cendres non lessivées agissent dans le même sens, mais proportionnellement à leur richesse en carbonate de potasse. L'effet produit par les amendements est relativement faible, étant donnée surtout l'insuffisance nutritive du sol en calcaire; les charrées n'ont, à vrai dire, aucune action; toutefois, il est à remarquer que le carbonate de chaux associé à l'argile, comme dans la marne, se montre plus actif que le calcaire seul.

IV

L'interprétation des résultats. — Les essais que nous venons de relater font ressortir manifestement la supériorité des substances à base de potasse : carbonate et chlorure de potassium, cendres de bois et cendres d'écobuage, — et l'insuffisance ou l'inefficacité du calcaire. Il est même curieux de constater que l'écobuage, parmi les anciens procédés d'amélioration, produit de meilleurs effets que les *amendements* dans les sols pauvres en potasse comme celui du Val d'Yèvre.

Je voudrais insister principalement sur l'inégale effica-

(1) C.-R. de l'Académie des sciences, tome CXXV.

ité du calcaire et des engrais potassiques. Pourquoi le carbonate de potasse exerce-t-il, dans tous les cas, une action des plus manifestes ? Pourquoi le calcaire ne devient-il réellement efficace que lorsqu'il se trouve associé au chlorure de potassium ? Pourquoi, contrairement à l'opinion courante, les amendements calcaires ne favorisent-ils pas dans tous les sols les transformations de l'azote organique ?

Pour répondre à ces différentes questions, il faut bien préciser le rôle de la potasse et de la chaux employées isolément. A cet égard, les sols humifères, en raison de leur constitution incomplète, offrent un merveilleux champ d'investigation. Depuis la tourbe légère et fibreuse, essentiellement végétale, jusqu'au sable arénacé des landes où croissent en abondance bruyères et genêts, on trouve une série de types intéressants par leur pauvreté en calcaire et en potasse. Parfois, le même sol réunit ces deux caractères : tel est le cas pour la terre tourbeuse du Val d'Yèvre.

Certes, il serait bien difficile de trouver des milieux naturels convenant mieux pour étudier l'action des différents engrais et amendements. Aussi quand nous disons qu'une matière donnée produit directement tel résultat, nous affirmons une vérité incontestable, attendu que dans ces sols incomplets les corps ne peuvent se substituer les uns aux autres. — Nous venons de constater, par exemple, que dans la terre du Val d'Yèvre, très pauvre en potasse et en chaux, les amendements calcaires n'ont point favorisé la nitrification, tandis que le carbonate de potasse a produit l'effet contraire : ne sommes-nous pas en droit d'affirmer que partout où le chaulage agit efficacement, il faut en attribuer la cause à la mise en liberté d'une certaine quantité de potasse par substitution d'une proportion équivalente de chaux ? Or, l'expérience révèle l'inefficacité du chaulage dans presque toutes les terres tourbeuses. On a beau y porter des montagnes de craie, — comme l'ont fait certains cultivateurs — on n'y provo-

uera la nitrification que si la potasse ne fait pas défaut. Contrairement à l'opinion courante, c'est donc la potasse qui mobilise l'humus et favorise la transformation de l'azote organique. Ce fait peut paraître bizarre au premier abord, étant données les opinions formulées par les agronomes les plus éminents; il n'en est pas moins irréfutable.

Nous allons l'établir expérimentalement.

Les agents de mobilisation.

I

La potasse. — On sait que les alcalis réagissent énergiquement sur les matières organiques azotées, et l'on utilise même cette propriété, dans les laboratoires, pour le dosage de l'azote à l'état d'ammoniaque¹

La potasse et la soude, qui sont des bases très caustiques, exercent sur l'humus une double action : elles dissolvent la matière organique, pour former des *humates* solubles, et déterminent en même temps une transformation profonde des principes azotés dont une partie passe à l'état d'ammoniaque.

a' DISSOLUTION DE L'HUMUS. — Pour bien mettre en évidence l'action dissolvante de la potasse, j'ai traité différents sols tourbeux par des doses croissantes d'alcali. À titre d'indication, voici le résultat d'un essai effectué sur une tourbe d'Abbeville contenant encore 60 p. 100 d'eau environ au moment de l'expérience²

(1) C'est la méthode à la chaux sodée.

(2) On a, dans tous les cas, employé la même quantité d'eau et fait bouillir pendant deux heures.

MATIÈRE ORGANIQUE OBTENUE SUR 100 GRAMMES DE TERRE

POTASSE DANS 250 ^{cc} D'EAU	MATIÈRE ORGANIQUE DISSOUE POUR 100	
	de terre humide	de terre sèche
	gram.	gram.
1 gramme	0, 88	2, 2
2 grammes.....	2, 56	6, 4
3 grammes.....	5, 36	13, 4
4 grammes.....	6, 40	16, 0
5 grammes.....	7, 40	18, 5

Les quantités d'humus dissoutes croissent avec les doses de potasse ; mais il n'y a pas une proportionnalité rigoureusement mathématique, ce qui suppose une action limitée et des vitesses d'attaque différentes. La solution noire ainsi obtenue — *l'humate de potassium* — donne un précipité brun, floconneux, sous l'action des acides : c'est *l'acide humique ou ulmique*

La **soude** se comporte comme la potasse, à l'égard de l'humus, au point de vue de l'action chimique.

b) TRANSFORMATION DES MATIÈRES AZOTÉES. — Quand on fait bouillir une terre humifère avec une dissolution étendue de potasse, il se dégage toujours une quantité appréciable d'ammoniaque aux dépens des *amides* et des *alcalamides* à bases volatiles qui prennent naissance dans les transformations de l'humus.

(1) MM. Berthelot et André ont analysé un échantillon d'acide humique préparé en traitant une terre (contenant 19.40 de carbone et 1.669 d'azote pour 1000) par une dissolution étendue de potasse et précipitant ensuite avec l'acide sulfurique, ils ont trouvé :

Pour 100 parties	
Carbone.....	83.43
Hydrogène.....	8.41
Azote.....	2.97
Oxygène.....	35.28
Cendres.....	3.24

Ces chiffres n'ont rien d'absolu. En analysant des produits similaires extraits de différentes tourbes, j'ai observé en effet de sensibles variations. (Voir ma brochure sur *l'humus*.)

Dans mes essais, en opérant sur 50 grammes de tourbe additionnés de 100^{cc} d'une solution de potasse de titre connu, j'ai obtenu après un contact de 48 heures à 50°

Les 100 ^{cc} de solution alcaline contenaient (en KOH) :	AZOTE AMMONIACAL DOSÉ	
	pour 50 gr. de terre humide	pour 100 de l'azote total
grammes	milligr.	
0,2	7,8	1,8
0,4	12,5	3,0
0,6	15,7	3,7
0,8	26,5	6,3
1,0	29,4	7,0

L'influence de la potasse sur la transformation de l'azote n'est pas douteuse. Mais une partie de la matière azotée se trouve en dissolution, à l'état de combinaisons fixes, et il faudrait, pour établir exactement l'influence des alcalis, tenir compte de l'azote restant dans le liquide noir et non déplaçable par la magnésie.

Quelle est la quantité d'azote dissoute par la potasse à chaud ? Pour le savoir, nous avons traité 25 grammes de tourbe humide (60 %) dosant 21 d'azote pour 1000 de matière sèche, par 250^{cc} d'une solution contenant 2, 3, 4 ou 5 grammes de potasse (KOH)... On a distillé au bain-marie pendant deux heures ; on a dosé, d'une part, l'ammoniaque dégagé (dont la proportion variait de 6 à 22 milligrammes) et, d'autre part, l'azote contenu dans le liquide noir après filtration.

On a trouvé :

Doses de potasse (KOH)	AZOTE ORGANIQUE DISSOUS	
	dans le liquide	% de l'azote total
grammes	milligr.	
0,4	55,9	26,6
0,75	86,0	40,9
1,0	92,45	44,0
1,25	94,6	45,0

En prolongeant davantage l'action de l'alcali, on peut dissoudre 60 à 80 p. 100 de l'azote total.

Ainsi, l'action dissolvante de la potasse se manifeste avec intensité : elle porte à la fois sur les matières organiques ternaires et quaternaires, sur le carbone et sur l'azote.

Pour savoir de quelle façon se répartissent le carbone et l'azote, MM. Berthelot et André ont traité au bain-marie, pendant plus de treize heures, 494 gr. 8 d'une même terre, par 1,500^{cc} d'une dissolution contenant 50 grammes de potasse anhydre (K²O); la matière était placée dans un ballon traversé par un courant d'hydrogène.

On a dosé l'azote volatilisé sous forme d'ammoniaque, le carbone et l'azote contenus dans la partie dissoute et dans le résidu insoluble. On a trouvé :

	POUR 100 :		
	de l'azote total	du carbone total	
Azote volatilisé	21.80	»	
Partie insoluble.....	14.26	31.2	
Partie soluble. (précipitable par HCl.....	16.46	27.1
	non précipitable	44.26	40.0

La potasse a donc solubilisé plus des *quatre cinquièmes* de l'azote total (82,52 %).

Quand on compare le rapport de l'azote volatilisé sous forme d'ammoniaque et de l'azote solubilisé restant en dissolution, pour différentes terres traitées par la potasse étendue, on trouve des valeurs variant dans les limites de 1 à 2 et de 1 à 4. On a, par exemple :

	Rapport de l'azote volatilisé à l'azote solubilisé
Sols normaux.....	0,360
Sols tourbeux.....	0,125

Ce sont des chiffres moyens résultant de nos expériences ; on voit que dans la tourbe d'Abbeville (tourbe calcaro-humifère), le rapport est **2,88** fois plus grand que dans un sol normal. *Il en résulte que l'azote se trouve surtout à l'état d'ALCALAMIDES FIXES dans les sols tourbeux.*

II

Le carbonate de potasse. — Dans la terre, les alcalis n'existent pas à l'état libre; ils se combinent à l'acide carbonique et se transforment en carbonates. Au point de vue pratique, il importe surtout d'examiner l'influence de ces sels. L'expérience nous apprend que le calcaire n'agit pas directement; au contraire, le carbonate de potasse influe considérablement sur la mobilisation de l'humus. Ce composé prend naissance dans les sols soit par l'action lente de l'acide carbonique sur les roches à base de potasse, soit par double décomposition entre les autres sels potassiques et le calcaire; mais il disparaît à mesure de sa formation, grâce au pouvoir absorbant de l'humus et de l'argile. Comment le carbonate de potasse agit-il sur la matière organique? Il se comporte de tous points comme la potasse: c'est un agent de *dissolution* et de *désagrégation*. Il dissout l'humus et l'*humate de chaux* qu'il transforme en humate de potasse¹, et provoque une modification profonde des matières amidées et alcalamidées des corps humiques.

Nous allons étudier successivement l'action de ce composé sur la formation de l'ammoniaque et sur la dissolution de l'humus.

La production de l'ammoniaque dans la terre arable est attribuée à deux causes bien distinctes:

A une action chimique analogue à celle qu'exerce la chaux sodée sur les matières organiques azotées;

A une action microbienne.

Ces deux causes agissent en même temps. Dans les conditions normales, il n'y a jamais en présence un excès de composés ammoniacaux étant donné que la nitrification

(1) On peut mettre cette réaction en évidence en traitant l'humate de chaux par le carbonate de potasse; en chauffant légèrement, la solution se colore en brun et il se fait un dépôt de calcaire. La réaction inverse n'a pas lieu, ce qui nous autorise à dire que l'humate de calcium se forme par l'action des sels solubles de chaux sur des humates alcalins.

s'opère simultanément et que les sels formés par les actions concourantes que nous venons de signaler sont détruits peu à peu.

MM. Müntz et Coudon ont mis en évidence cette fermentation ammoniacale qui est provoquée par des *mucors*, des *fusariums*, etc.

La formation de l'ammoniaque devient très apparente dans les terres humifères auxquelles on ajoute des doses croissantes de carbonate de potasse; en moins de huit jours, on obtient une quantité appréciable d'alcali, et le liquide d'épuisement traité par le réactif de Nessler donne un précipité rouge très abondant, caractéristique des sels ammoniacaux.

Voici les résultats analytiques enregistrés après dix jours d'expérience pour une terre noire ayant reçu des doses variables de carbonate de potasse

AMMONIAQUE CONTENUE DANS LES EAUX D'ÉPUISEMENT DE
1,000 GR. DE TERRE SILICO-HUMIFÈRE

Doses de carbonate de potasse	Ammoniaque en milligrammes	Excédents
0	1.7	0
0.25 pour cent	13	8.3
0.5 »	22	17.3
1.0 »	28	23.3
1.5 »	32	27.3
2.0 »	35	30.3

Avec les sols calcaro-humifères (compost de tourbe d'Abbeville), on a obtenu identiquement :

DOSES DE CARBONATE	AZOTE AMMONIACAL (EN MILLIGR.) FORMÉ DANS 25 GR DE TOURBE HUMIDE, APRÈS		
	2 jours	4 jours	8 jours
0.3	1.90	2.1	3.8
0.5	2.16	2.5	4.0
0.8	2.97	3.5	4.4
1.0	3.80	4.2	4.8

L'action dissolvante du carbonate de potasse n'est pas moins sensible. En analysant les liquides après la séparation de l'ammoniaque, on a trouvé :

DOSES DE CARBONATE	AZOTE ORGANIQUE CONTENU DANS LES SOLUTIONS D'UMATE			
	Après 2 jours		Après 4 jours	
	Solution milligr.	pour 100 de l'azote total	Solution milligr.	pour 100 de l'azote total
0.3	28	23.7	33	27.9
0.5	31	26.2	53	44.9
0.8	55	46.6	62	52.5
1.0	»	»	68	56.0

Dans d'autres essais, effectués sur 50 grammes de tourbe d'Abbeville sèche et sur une égale quantité de terre de jardin⁽¹⁾, j'ai déterminé la quantité de matière humique dissoute par 500^{cc} d'une solution contenant 7 grammes de carbonate de potasse.

Après une ébullition de 3 heures environ, on a dosé :

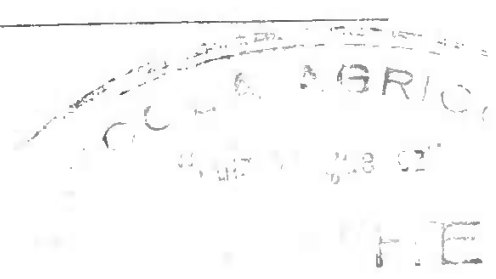
	Matière organique dissoute grammes
Terre de jardin	1,66
Tourbe d'Abbeville.....	22,06

En opérant à froid, l'action est bien plus faible. On trouve, en effet :

	Matière organique précipitable dissoute après	
	18 heures	3 jours
Terre de jardin.....	0,066	0,100
Tourbe d'Abbeville.....	0,200	0,300

La comparaison des chiffres nous montre combien la quantité de matière humique dissoute varie avec les conditions de l'expérience. A chaud, pour la tourbe, le nombre trouvé est 74 fois plus fort que celui obtenu à froid ; après trois jours, avec la terre de jardin, les différences sont moins sensibles : la proportion d'acide humique est 16 à 17 fois plus forte à chaud qu'à froid.

(1) Cette terre dose 3.92 d'azote par kilo.



Ces résultats supposent de grandes différences dans l'état de décomposition de l'humus.

Dans tous les cas, le carbonate de potassium se comporte donc comme la potasse hydratée. Les effets sont du même ordre, et il n'y a pas lieu d'insister autrement.

III

Le carbonate de soude. — La soude, d'une manière générale, agit comme la potasse. Nous nous contenterons de signaler ici le rôle du carbonate de sodium, qui peut se former dans le sol par l'action de l'acide carbonique sur les feldspaths à base de soude ou par voie de double décomposition entre le nitrate de soude et le calcaire

Ce corps favorise la production de l'ammoniaque¹, mais il paralyse l'action des ferments nitriques à des doses peu élevées; toutefois, comme la soude peut déplacer la potasse, il agit parfois favorablement à la façon des engrais potassiques; mais s'il reste tel qu'on l'a mis, il ne produit qu'un résultat misérable. Nous fîmes dans la terre d'Avilly, M. Crochetelle et moi, un essai avec du carbonate de soude; il nous donna des quantités de nitrate toutes négatives.

Action du carbonate de soude sur la nitrification.

Azote nitrifié en un mois dans 100 gr. de terre calcaro-humifère.

Carbonate de soude	Azote nitrique en milligrammes	Différences
0	80	»
1 pour mille	80	»
1.5 »	80	»
2 »	75	— 5
2.5 »	75	— 5
3 »	75	— 7
4 »	75	— 5
5 »	70	— 10
6 »	75	— 5
8 »	73	— 7
10 »	70	— 10

(1) Voir le chapitre précédent.

Le sel de soude est resté inactif parce que le sol, éminemment calcaire, est pauvre en potasse et ne permet pas sa transformation.

Ainsi que je l'ai fait entrevoir tout à l'heure, les sels de soude n'ont d'action véritable que quand ils peuvent se dédoubler et donner des composés potassiques ; il faudrait les exclure des terres calcaires pauvres en potasse.

IV

La chaux. — La chaux vive réagit également sur les matières organiques, mais avec une intensité moindre que celle de la potasse. Son action dissolvante est à peu près nulle. Boussingault a étudié la formation de l'ammoniaque dans les terres chaulées du *Liebfrauenberg* ; il a trouvé :

CHAUX employée par kilogr. de terre.	DURÉE de l'expérience.	AMMONIAQUE formée.
grammes		milligr.
0.3	6 jours	12
10.0	2 jours	34
10.0	1 mois	76
10.0	2 mois	79
0.0	1 mois	5
0.0	2 mois	10

La dose d'ammoniaque croît avec le temps et avec la quantité de matière employée ; par contre, la nitrification reste paralysée jusqu'à ce que la causticité de la chaux ait totalement disparu.

Dans nos essais, les résultats sont du même ordre. Voici, du reste, la quantité d'azote ammoniacal formé en 4 jours et en 8 jours, à une température de 40 à 50 degrés, dans 100 grammes de tourbe humide ayant reçu 2 et 4 centièmes de chaux :

AZOTE AMMONIACAL POUR 100 GRAMMES DE TOURBE

DOSES de chaux.	DURÉE de l'expérience.	AZOTE ammoniacal.	AZOTE transformé p. 100 de l'azote total.
grammes		milligr.	
2	4 jours	6.2	1.2
—	8 jours	11.4	2.2
4	4 jours	8.5	1.6
—	8 jours	16.2	3.1

M. André, en opérant à 100° pendant 15 heures, a trouvé pour différentes substances récemment chaulées :

AZOTE AMMONIACAL OBTENU POUR 100 D'AZOTE TOTAL

Tourbe	Terreau	Terre de bruyères	Terre végétale
10.86	12.10	9.23	10.45

Mais si la chaux détermine toujours une production d'ammoniaque, son action se ralentit continuellement à mesure qu'elle se carbonate. Dans nos essais, *le calcaire a exercé une influence insignifiante ou nulle, et il est à présumer que, dans les sols pauvres en potasse, ce corps reste sans effet dans les conditions ordinaires.....*

V

Conclusions. — Quand on examine comparativement l'action exercée par les *alcalis* et leurs *carbonates*, par la *chaux*, le *calcaire* et la *magnésie* sur la transformation de l'humus de tourbe, on voit :

(1) Comme conséquence de ses expériences, M. André veut bien reconnaître néanmoins, *qu'il faudrait invoquer un autre mécanisme de solubilisation des acides du sol pour expliquer, dans le cas des sols exclusivement acides (tourbe, terre de bruyères), comment l'azote organique passe à l'état d'azote ammoniacal...* après avoir écrit, conformément à l'opinion courante :

« On sait, du reste, que les terrains tourbeux, qui présentent un stock si considérable d'azote immobilisé, nitrifient avec une grande rapidité, quand on les chaulé et qu'on y fait pénétrer de l'air par le défrichement... »

Le mécanisme de la transformation est bien simple : ce sont les carbonates alcalins qui rendent l'*ammonisation* possible ; c'est la potasse mobilisée et carbonatée qui détermine la nitrification de l'azote.

1° *Que les alcalis et les carbonates alcalins agissent à la fois comme agents de dissolution et de transformation en déterminant toujours une action puissante sur la matière organique azotée qu'ils rendent nitrifiable :*

2° *Que la chaux vive agit dans le même sens mais seulement au point de vue de la formation de l'ammoniaque, son pouvoir dissolvant étant insignifiant — mais que son action moins intense cesse de se manifester dès qu'elle perd sa causticité ;*

3° *Que le calcaire, dans les conditions ordinaires, n'exerce directement aucune action sur l'azote organique de la terre arable ;*

4° *Que c'est surtout à la puissance dissolvante des alcalis et de leurs carbonates qu'il faut attribuer leur supériorité sur tous les autres corps essayés.*

L'humus libre se combine, au moins partiellement, avec la potasse pour former un humate soluble, diffusible, qui nitrifie avec une assez grande rapidité et concourt puissamment à la fécondité des terres. Cet humate peut prendre naissance soit par action directe — et la présence du carbonate de potasse suffit pour cela — soit par voie de double décomposition entre l'humate de chaux et les engrais potassiques. Quoi qu'il en soit, *la formation possible de l'humate de potasse me paraît être une condition indispensable pour la mise en valeur des terres humifères ;* elle est, à proprement parler, comme la principale cause déterminante des transformations ultérieures que doit subir la matière organique azotée. Il suffit, en effet, de la provoquer pour rendre la culture avantageuse par l'adjonction des engrais phosphatés si l'acide phosphorique fait défaut.

(1) Cette supériorité seule permettrait d'expliquer les bons effets des sels de potasse sur les sols humifères ; nous avons montré précédemment que dans ces sortes de terres la matière azotée renferme surtout des alcalamides qui sont attaqués, dissous par la potasse, mais sur lesquels la chaux vive ne semble pas agir.

Les sels de potasse et la nitrification.

I

Carbonate de potasse. — On sait maintenant que les sels de potasse, sous certaine forme, exercent sur la matière organique une action énergique. Le *carbonate de potasse* dissout l'humus partiellement et le transforme en un humate soluble, dialysable et facilement nitrifiable. L'efficacité de ce sel paraît être générale. Dans les terres calcaro-humifères et silico-humifères, comme dans les sols tourbeux proprement dits, il provoque une nitrification abondante.

C'est ce qui ressort manifestement des nombreux essais que nous avons effectués.

SOL TOURBEUX DU VAL D'YÈVRE¹ (CHER)

AZOTE NITRIFIÉ EN 30 JOURS DANS 1000 gr. DE TERRE		
DOSES DE carbonate de potasse (pour 1000.)	AZOTE NITRIQUE (en milligrammes).	EXCÉDENTS (en milligrammes)
»	2	»
0.25	17	15
0.50	25	23
1.00	44	42
1.50	56	54
2.00	88	86
2.50	118	116
3.00	133	131
5.00	102	100
8.00	12	10

Dans les terres tourbeuses riches en calcaire, le carbonate de potasse agit dans le même sens; mais la dose maxima de nitrates est obtenue avec des quantités plus faibles de sel (2 ou 2,5 au lieu de 3 pour mille), comme en

(1) Cette terre dose 13,2 d'azote et 4,2 de chaux par kilogr.

témoigne l'expérience suivante effectuée sur un sol tourbeux de Jaulzy (Oise) dosant 12,54 d'azote et 101,6 de chaux par kilo.

TOURBE CALCARO-HUMIFÈRE DE JAULZY (OISE)

AZOTE NITRIFIÉ EN 30 JOURS DANS 1000 GRAMMES DE TERRE		
CARBONATE DE POTASSE (pour 1000).	AZOTE NITRIQUE (en milligrammes).	EXCÉDENTS PRODUITS (en milligrammes).
»	3.5	»
0.5	38.0	34.5
1.0	110.0	106.5
1.5	160.3	156.8
2.0	187.5	184.0
3.0	136.0	132.5
4.0	100.0	96.5
5.0	25.8	22.3
6.0	10.6	7.1

Je ne crois pas utile de multiplier davantage les exemples; je rappellerai seulement que les nombreux essais effectués sur les sols de jardin, les terreaux et les composts sont parfaitement concordants

Il résulte de cet ensemble de faits que, dans toutes les terres humifères, le carbonate de potasse provoque une nitrification très intense. Sans doute, nous nous sommes placé dans les conditions les plus favorables de température, d'humidité et d'aération; mais si les résultats obtenus sont supérieurs à ceux qu'on pourrait obtenir dans les circonstances ordinaires, il n'en est pas moins certain que dans les conditions expérimentales de la grande culture, l'engrais de potasse doit déterminer une action du même ordre quoique moins sensible.

Les doses que nous avons appliquées, dans d'autres expériences, variaient de 0,5 à 60 pour mille; il serait témé-

(1) *Nitrification des substances contenant de l'azote*, par J. Crochetelle et J. Dumont (Congrès horticole de 1894). — Comptes-rendus de l'Académie des sciences, tomes CXVII et CXVIII.

raire de vouloir s'en tenir à ces chiffres. D'ordinaire, on peut se contenter de recourir aux faibles proportions, si l'on ne veut appauvrir inutilement la terre; il suffit, en effet, qu'un sol produise 15 à 20 milligr. d'azote par kilo, au moment opportun, pour satisfaire aux besoins de la végétation la plus exigeante.

L'expérience montre d'ailleurs que les doses trop élevées deviennent nuisibles, qu'elles enrayent la nitrification. On remarque, en effet, qu'à partir d'une certaine proportion, les excédents diminuent; l'action du carbonate de potasse est donc limitée. Pour les terres précédemment citées, le maximum est atteint avec **2 à 3 millièmes**; dans les sols silico-humifères (terres de bruyères), on peut appliquer **2 à 5 p. 100** de carbonate de potassium sans paralyser l'action des ferments.

A quelles causes faut-il attribuer cette limitation? Vraisemblablement, la dose maximum dépend de la constitution du sol, de sa richesse en calcaire, du degré d'acidité ou plus exactement de la grandeur du rapport du carbone à l'azote. Ce rapport, que nous avons représenté par le symbole conventionnel C/Az varie suivant l'état de décomposition de l'humus. Quand on compare respectivement la valeur de ce rapport avec les doses limites de carbonate, on trouve en effet :

	Rapport du carbone à l'azote	Doses limites 0/0.
Terre de Maurepas.....	18.0	4.50
Terre d'Avilly.....	3.0	0.45
Terreau de feuilles..	12.5	1.50
Terreau de couches.....	6.0	2.00
Terre de jardin (Grignon).....	4.8	0.25
Terre d'alluvion (Haute-Garonne).....	3.7	0.15

Comparativement à la terre d'Avilly, la valeur du rapport pour ces différents sols nous permet d'attribuer à la terre de Maurepas le coefficient **6**; au terreau de feuilles, le coefficient **4**; au terreau de couches, le coefficient **2**; et à la terre de jardin, le coefficient **1,6**.

A l'exception du terreau de feuilles et du terreau de couches, les doses maxima de carbonate de potasse sont bien fonctions de la grandeur du rapport du carbone à l'azote. Il n'y a pas cependant une proportionnalité rigoureuse, absolue, parfaite entre les valeurs de ces rapports et les doses correspondantes de sel potassique. D'autres facteurs interviennent certainement, et il faudrait tenir compte de la proportion de potasse active existant déjà naturellement dans la terre. Il est bien manifeste, en effet, que la quantité de carbonate de potasse nécessaire pour atteindre le maximum de nitrification sera d'autant plus faible qu'il y aura déjà dans le sol une plus forte proportion de ce corps. Dans des terres également riches en potasse, la dose de carbonate à ajouter pour obtenir le maximum de nitrates serait incontestablement subordonnée à la proportion d'humus, ou mieux au rapport du carbone à l'azote qui symbolise le degré de décomposition des matières organiques.

La richesse en calcaire influe aussi. On pourrait admettre, *a priori*, que les doses de carbonate de potasse à employer sont en raison inverse de la proportion de carbonate de chaux contenu dans le sol. Il me paraît préférable de faire intervenir le degré d'acidité qui dépend à la fois de la grandeur du rapport du carbone à l'azote et de la teneur du sol en calcaire, cet élément étant éminemment propre à neutraliser les acides qui prennent naissance dans les transformations successives de l'humus. On a dit que la *dose limite de carbonate* était plus faible pour le terreau de feuilles que pour le terreau de couches, bien que le rapport du carbone à l'azote ait sensiblement une valeur double; cette anomalie s'explique si l'on fait intervenir la richesse respective des sols en calcaire.

On a alors :

	Rapport du carbone à l'azote.	Calcaire pour 100.	Dose limite p. 100.
Terreau de feuilles...	12.5	33.5	1.5
Terreau de couches....	6.0	73	2.0

Ces considérations d'ordre théorique ne présentent pas un bien grand intérêt au point de vue pratique, étant donné qu'il ne faut jamais viser la production maximum d'azote nitrique (excepté quand on veut préparer des engrais de tourbe ou des composts).

II

Le sulfate de potasse. — Tandis que le carbonate de potassium attaque directement la matière organique, les autres engrais potassiques (sulfate et chlorure de potassium) agissent indirectement. Toutefois, il est à noter que dans les sols qui contiennent une proportion convenable de calcaire leur efficacité est des plus intenses.

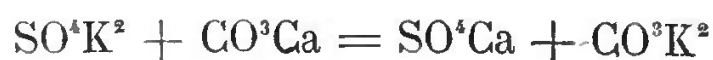
Le sulfate de potasse, dans ces conditions, se transforme en *carbonate* et provoque une abondante nitrification.

C'est ce qui ressort nettement des expériences que nous avons effectuées. Pour ne pas faire passer de trop nombreux tableaux sous les yeux du lecteur, je me contenterai de signaler les résultats obtenus avec une tourbe calcaire-humifère qui dose **25** centièmes de carbonate de chaux et **7,8** millièmes d'azote.

AZOTE NITRIFIÉ EN UN MOIS DANS 1,000 GRAMMES DE TERRE

SULFATE DE POTASSE pour 1,000.	AZOTE NITRIQUE en milligrammes	EXCÉDENTS	POUR 100 de l'azote total
0.0	5	»	»
1.0	38	33	0.064
1.5	47	42	0.487
2.0	60	55	0.602
2.5	70	65	0.897
3.0	81	76	1.038
5.0	100	95	1.282
7.0	83	78	1.064

(1) Dans cette réaction, le sulfate de potasse se dédouble en présence du calcaire pour donner du carbonate de potasse et du sulfate de chaux, suivant l'équation :



La terre non traitée accuse quelques milligrammes d'azote nitrique; mais il ne faut pas croire que cette quantité d'azote se soit formée pendant la durée de l'expérience, elle existait naturellement dans le sol, qui avait été soustrait à l'influence des pluies pendant plusieurs mois.

Dans tous les cas, ce sont les excédents seuls qui présentent de l'intérêt pour nous. Or, il est bien évident que le sulfate de potasse a provoqué une nitrification abondante en très peu de temps.

On remarquera tout de suite que ce composé, à la dose de 5 millièmes, n'entrave pas le fonctionnement des ferments nitriques. C'est un point important car, dans le même sol, la dose de carbonate de potasse qui produit le maximum de nitrates est moitié plus faible (2,5). Comment interpréter ce phénomène? Le sulfate de potasse serait-il moins préjudiciable au développement des ferments, à leur activité?

Pour répondre à la question, il faut calculer d'abord la quantité de sulfate de potassium qui peut fournir, en se décomposant en présence du calcaire, 2,5 de carbonate... Les données chimiques nous apprennent que 174 de sulfate de potassium correspondent à 138 de carbonate, ce qui revient à dire que pour obtenir 2,5 de carbonate de potasse il faut exactement 3,15 de sulfate. Si cet engrais se transformait instantanément au sein de la terre arable, il n'y aurait aucune raison de supposer qu'il ne devînt pas nuisible dès que la dose employée correspondrait à 2,5 de carbonate; les proportions d'azote nitrique devraient donc décroître à partir de 3 millièmes. Or, il est loin d'en être ainsi!... Elles augmentent, au contraire, notablement puisque nous obtenons 100 milligrammes d'azote pour 5 de sulfate de potasse équivalent à 3.96 de carbonate.

Pour expliquer cette particularité remarquable, il suffit

d'admettre que la transformation du sulfate de potasse se fait progressivement et qu'elle est limitée. Les expériences que j'ai effectuées, d'autre part, prouvent péremptoirement que les choses se passent ainsi⁽¹⁾. Dans ces conditions, si la quantité d'engrais n'est pas excessive, il n'y a jamais trop d'alcalinité, et les ferments travaillent avec énergie.

Est-ce à dire qu'on pourrait employer impunément le sulfate de potasse sans danger pour la nitrification? Est-ce à dire que l'action de cette substance n'est pas limitée? Non... Et si l'on pousse les essais plus loin, si l'on augmente les doses, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'il y a un maximum à partir duquel la transformation de l'humus va en diminuant. C'est ainsi que des essais comparatifs effectués sur une terre contenant 5 millièmes d'azote et 10 centièmes de calcaire m'ont montré que les doses maxima étaient :

Pour le carbonate de potassium, 2 millièmes.

Pour le sulfate de potassium, 7 millièmes.

D'une manière générale, il faut 3 à 4 fois plus de sulfate de potasse pour enrayer la nitrification dans les terres riches en humus et en calcaire.

Comment se comporte le sulfate de potasse dans les sols humifères où la chaux fait défaut? Dans les terres de bruyères, dans les terrains tourbeux, comme celui du val d'Yèvre, l'action de cet engrais se trouve limitée par une autre cause : l'insuffisance de calcaire.

(1) Il est facile de comprendre pourquoi la transformation du sulfate de potasse est limitée dans les sols où le calcaire ne fait pas défaut ; le sulfate de chaux (SO^4Ca) qui prend naissance dans la première réaction :



réagit sur le carbonate de potasse absorbé par l'humus ou par l'argile et refait ainsi du sulfate de potasse (SO^4K^2). Ces réactions sont inverses l'une de l'autre : *elles se limitent*.

Je signalerai seulement les résultats obtenus avec une terre de bruyère, dosant 1,6 de calcaire par kilogramme.

AZOTE NITRIÉ EN UN MOIS DANS 1000 GRAMMES DE TERRE

SULFATE DE POTASSE pour 1000	AZOTE NITRIQUE en milligrammes	EXCÉDENTS
0	2	»
1	10	8
2	18	16
3	24	22
5	23	21
10	20	18
15	18	16
20	21	19
25	22	20

On remarquera, tout d'abord, que le sulfate de potasse en excès ne nuit pas à la nitrification d'une façon sensible; cela tient surtout à ce que ce composé n'apporte pas au sol, comme le fait le carbonate de potassium, dont les solutions bleuissent fortement le papier de tournesol, un certain degré d'alcalinité. On remarquera aussi, et c'est sur ce point que j'appellerai l'attention du lecteur, que le maximum d'azote nitrique correspond à 3 millièmes de sulfate de potasse. Faut-il en conclure que cette dose ne peut être dépassée? Pas le moins du monde... Et la preuve en est dans ce fait, qu'en ajoutant du calcaire à la terre, afin de permettre la transformation de l'engrais, on obtient des résultats tout différents. En incorporant au sol 2 pour cent de carbonate de chaux, ou même en chaulant, l'efficacité du sulfate de potasse se trouve sensiblement favorisée, comme le montre le tableau suivant :

AZOTE NITRIFIÉ EN UN MOIS DANS 1000 GRAMMES DE TERRE
DE BRUYÈRE AYANT REÇU 2 % DE CALCAIRE

SULFATE DE POTASSE pour 1000	AZOTE NITRIQUE en milligrammes	EXCÉDENTS
0	3	»
1	16	13
2	25	22
3	33	30
5	46	43
10	55	52
15	64	61
20	82	79
25	96	93

La présence du calcaire est donc indispensable pour que le sulfate de potasse produise le maximum d'effet. Dans la première expérience, ce sel agit à faible dose parce que le sol n'est pas littéralement dépourvu de chaux ; mais son action s'arrête dès que sa transformation en carbonate de potasse n'est plus possible. Dans le second essai, grâce à l'addition du calcaire, les résultats obtenus sont de tous points analogues à ceux que l'on obtenait avec des terres calcaro-humifères.

Les bons effets du sulfate de potasse, dans les sols riches en carbonate de chaux, peuvent s'interpréter de deux façons. On peut admettre que cet engrais se transforme en carbonate, par voie de double décomposition, ou bien *qu'il agit sur l'humate de chaux pour former de l'humate de potasse* éminemment apte à la nitrification. Je crois la première hypothèse plus vraisemblable. Rien ne prouve, en effet, que l'humate de chaux se forme directement dans le sol ; et si je m'en rapporte aux expériences que j'ai effectuées, il est fort probable que cette réaction n'a pas lieu. En voici d'ailleurs la raison. L'humate de chaux résiste à l'action des alcalis non carbonatés ; si donc une terre calcaro-humifère contenait exclusivement ce composé humi-

que insoluble, on ne devrait pas obtenir, en la traitant directement par la potasse, un liquide noir comme du purin. C'est précisément ce qui n'a pas lieu. Un sol qui dose 7 à 8 % d'humus et 40 % de calcaire donne, avec les alcalis fixes, une solution d'humate alcalin très fortement colorée.

Néanmoins, comme la plupart des terres ordinaires contiennent de l'humate de chaux, on peut admettre que le sulfate de potasse réagit sur ce composé, comme le font le carbonate et le silicate de potassium.

Pour le cultivateur, l'interprétation de ces phénomènes chimiques n'a pas un bien grand intérêt; il lui suffit de retenir que l'action des engrais potassiques — le carbonate excepté — sur les matières organiques du sol reste subordonnée à la présence du calcaire.

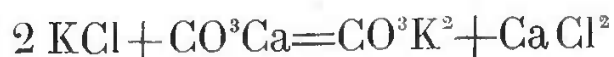
III

Chlorure de potassium. — Le chlorure de potassium, dans des conditions déterminées, se comporte comme le sulfate de potasse, c'est-à-dire que, dans les sols suffisamment pourvus de chaux, il se dédouble en carbonate de potasse et réagit sur les matières humiques à la façon de ce composé¹

Il n'y a pas d'autre hypothèse possible, le chlorure de potassium ne décomposant pas l'humate de chaux.

L'action de cet engrais, au point de vue de la nitrification, est subordonnée à la fréquence des pluies; il faut, en effet, que le chlorure de calcium, formé par voie de double décomposition, soit entraîné dans les profondeurs du sol, sa présence étant un obstacle au bon fonctionnement des ferments nitriques.

(1) La réaction est la suivante :



C'est ce qui ressort manifestement des expériences que nous avons effectuées, M. Crochetelle et moi¹

Dans nos premiers essais, nous évitions de trop arroser les terres pour empêcher les vases de couler ; nous laissons ainsi le contact du chlorure de calcium se prolonger tant que durait l'expérience : d'où les insuccès de l'engrais. Il suffit, par une pluie artificielle, de laver légèrement la terre quelque temps après l'application du composé potassique pour obtenir une nitrification active et régulière.

Le tableau suivant rend compte des résultats obtenus :

*Azote nitrifié en vingt jours dans 1.000 grammes
d'une terre calcaro-humifère.*

CHLORURE DE POTASSIUM (pour 1000)	AZOTE NITRIQUE EN MILLIGRAMMES		
	Sol lavé	So non lavé	Excédents
»	35.5	35.5	»
0.25	43.5	35.2	8.3
0.50	69.5	33.6	35.7
1.00	57.3	21.4	35.9
1.50	55.5	19.5	36.0
2.00	54.2	15.7	38.5
5.00	50.4	14.5	35.9
8.00	32.2	13.9	18.3
10.00	30.1	12.4	17.7

Un fait se dégage apparemment de cet essai : *l'action du chlorure de potassium est subordonnée à la fréquence des pluies ; elle est d'autant plus immédiate que les pluies suivent de plus près le moment de l'épandage.*

Visiblement, la quantité d'eau nécessaire est assez considérable, car il faut, d'une part, que l'engrais soit dissous pour que la double décomposition ait lieu ; et, d'autre part, que le chlorure de calcium formé soit entraîné assez profondément pour n'être pas nuisible au bon fonctionnement des ferments nitrificateurs.

(1) C.-R. de l'Académie des Sciences, tome CXIX, p. 98.

En résumé, on peut dire

a) *Que les engrais potassiques favorisent notablement la transformation des matières organiques du sol et, partant, la nitrification de l'azote;*

b) *Que l'action du sulfate de potasse et du chlorure de potassium est subordonnée à la présence du calcaire, et aussi, dans une certaine mesure (pour le chlorure surtout), à la fréquence des pluies dans les régions sèches :*

c) *Qu'il existe dans tous les cas une dose maximum, variable suivant la nature des sels, à partir de laquelle la nitrification se trouve entravée...*

IV

Cendres non lessivées. — Les cendres non lessivées agissent à la façon du carbonate de potasse ; elles en renferment, du reste, des proportions appréciables. M. Mer les emploie avec succès pour améliorer les prés tourbeux de Longemer (Vosges), à raison de 1.200 kilogr. par hectare.

Nous avons expérimenté cet engrais avec succès dans les terres silico-humifères ; l'effet produit sur la végétation est admirable, puisque l'on apporte au sol de la potasse, de l'acide phosphorique et de la chaux.

AZOTE NITRIÉ DU 20 FÉVRIER AU 10 MARS, DANS 1.000 GRAMMES DE TERRE DE BRUYÈRE ¹

CENDRES pour 400	CARBONATE DE POTASSE correspondant	AZOTE NITRIQUE (excédents)
		milligr.
1	0.13	19
2	0.26	28
3	0.39	41
5	0.65	65
8	1.04	80
10	1.30	115
15	1.95	160
20	2.60	187

(1) J. Crochetelle et J. Dumont. *Des moyens de hâter la nitrification des substances azotées*, Congrès horticole de 1894.

C'est à l'action des cendres qu'il faut attribuer les bons effets de l'écobuage dans les terres défrichées. Ce procédé d'amélioration, que nous examinerons ultérieurement, a joui d'une juste réputation ; les anciens agronomes l'ont préconisé avec raison, et le seul reproche qu'on puisse lui adresser c'est d'agir trop efficacement, de causer un appauvrissement trop rapide du sol. Nous en connaissons la raison aujourd'hui.

L'emploi des cendres neuves peut présenter un certain intérêt dans les pays où cette matière ne coûte pas cher.

Les charrées — cendres lessivées — n'ont pas d'action sur la nitrification parce qu'elles ne contiennent plus de potasse.

Les Amendements calcaires

I

Le rôle du calcaire. — Je me suis efforcé de bien mettre en évidence l'action puissante qu'exercent les engrais potassiques dans les terres riches en humus. Il me reste à dire quelques mots des corps à base de chaux, et principalement des amendements calcaires.

Tous les agriculteurs ont entendu vanter les bons effets des chaulages. Ils connaissent tous cet adage célèbre : « *La chaux enrichit le père et ruine les enfants.* » Qu'il me soit permis de jeter une note discordante ! La culture y gagnera quelque chose, et la chaux n'y perdra rien de son incontestable efficacité dans certaines terres.

Et d'abord, à quelles causes attribue-t-on les bons effets du chaulage ? La chaux, d'après l'opinion générale, agit physiquement et chimiquement ; elle ameublir les sols compacts, elle réchauffe les terres froides : c'est son action physique. Au point de vue chimique, elle intervient comme agent de mobilisation en déplaçant lentement la potasse (M. Schloësing) ; elle favorise la transformation

des engrais, en donnant lieu à des échanges de bases ; enfin, elle provoque la formation de l'ammoniaque — et par suite la nitrification qu'elle peut même ralentir au début — aux dépens des matières organiques azotées contenues dans la terre arable. Ajoutons, pour ne rien négliger d'important, que dans les sols pyriteux, elle rend le sulfate de fer inoffensif en formant du sulfate de chaux et mettant l'oxyde de fer en liberté.

Je me dispenserais, pour le moment, d'insister sur l'action physique des amendements. En réalité, si les sols argileux deviennent plus meubles après un chaulage énergique, il faut en attribuer la cause à une réaction chimique qui modifie puissamment le pouvoir absorbant du sol à l'égard de l'eau : c'est un point sur lequel je reviendrai dans un autre travail. Je veux montrer surtout combien nous interprétons mal les effets de la chaux en ce qui concerne la transformation de l'azote organique.

Je l'ai dit maintes fois, et je ne cesserai de le répéter : il faut se garder d'interpréter un fait concernant la chimie agricole sans faire entrer en ligne de compte les multiples composés qui peuvent coexister dans le sol. Boussingault reconnaît qu'une terre chaulée contient toujours un peu plus d'ammoniaque qu'une terre non amendée, mais il a soin d'ajouter *que les quantités d'ammoniaque formées sont trop faibles pour qu'on puisse supposer que le chaulage ait pour principale utilité l'attaque des matières azotées du sol*. Le célèbre agronome était prudent dans ses conclusions.

De nos jours, on y va plus carrément, et la plupart des agronomes admettent que la chaux contribue énergiquement à la nitrification de l'humus. Il serait au moins téméraire de contester ce fait pour les terres d'origine granitique : les landes du Limousin et de la Bretagne ont été complètement transformées par l'apport des amendements calcaires. Est-ce à dire que la chaux intervient directement dans la production des nitrates ? Non ! Et son

action sur les matières organiques est d'autant plus contestable que les terres humifères pauvres en potasse ne bénéficient en aucune façon des amendements calcaires.

II

Le chaulage est-il nécessaire — En 1895, je signalais déjà l'inutilité des forts chaulages pour les sols riches en humus. J'ai reconnu depuis que si la chaux pouvait agir sur l'azote organique, le calcaire se montrait toujours inefficace. Or, la chaux incorporée à la terre, même à des doses élevées, perd rapidement sa causticité en se carbonatant ; elle se comporte dès lors comme le calcaire, et ne peut provoquer directement la transformation de l'azote organique.

A l'appui de mes essais de laboratoire, je pourrais citer de nombreuses expériences de grande culture. Beaucoup de cultivateurs ont tenté vainement de mettre en valeur les terres humifères par l'emploi des amendements.

A la colonie agricole du Val d'Yèvre, M. Ravel fit répandre, sur une quarantaine d'hectares, une couche de calcaire de 0^m25 à 0^m30 d'épaisseur. Le transport d'une telle dose d'amendement — à une distance de plus de 600 mètres et sur une aussi grande étendue — a nécessité un travail considérable mais inutile. Les parcelles non amendées ont donné toujours d'aussi bons résultats que les autres.

Voici, en effet, ce que m'écrit judicieusement M. Ravel :
« Toutefois, nous avons observé que dans les parcelles très nombreuses qui n'ont jamais été amendées ou chaulées, mais qui reçoivent annuellement, depuis quatre ans, des scories et du chlorure de potassium, les rendements des plantes sarclées et des prairies naturelles ne sont pas inférieurs à ceux obtenus dans les parcelles chaulées. La chaux contenue dans les scories paraît exercer une action

suffisante pour la formation des nitrates et l'assimilation des autres éléments fertilisants. »

Cette intéressante observation montre bien que la présence d'une grande quantité de calcaire n'est pas indispensable pour assurer une bonne nitrification, même dans les sols tourbeux ; il est manifeste que la formation d'une petite proportion de carbonate de potasse suffit, dans la plupart des cas, à provoquer une nitrification assez active pour pourvoir avantageusement aux exigences de la récolte. Et ceci nous prouve encore que dans les terres tourbeuses, où les amendements deviennent trop coûteux, on peut cultiver économiquement à l'aide des engrais commerciaux à l'exclusion, bien entendu, des engrais azotés.

Cette application des engrais complémentaires dans les terrains tourbeux varie évidemment suivant la constitution propre de ces terres. Le cas signalé par M. Ravel est particulièrement intéressant parce que le sol du val d'Yèvre est très pauvre en acide phosphorique, en potasse et en chaux. Aussi, la seule question qui puisse être généralisée est celle relative à l'utilisation de l'azote.

Voilà vraiment une anomalie singulière ! Elle nous apprend qu'il n'est pas utile de chauler une terre ne contenant pas seulement 5 millièmes de chaux. Et l'expérience est décisive, car elle se renouvelle constamment depuis cinq ou six ans.

III

Les sols qu'il ne faut pas chauler. — Il est assez facile, en réfléchissant un peu, de dire dans quels cas le chaulage sera sans effets. En dehors des sols calcaro-humifères, où l'amendement serait superflu, nous pourrions nous dispenser de chauler les sols qui sont régulièrement fumés aux scories de déphosphoration. En voici d'ailleurs la raison.

Concevez une terre pauvre en acide phosphorique, en potasse et en calcaire, et demandez-vous quels éléments il faut y apporter pour la fertiliser? Naturellement vous commencerez par la *chauler*, et vous lui donnerez ensuite les autres principes fertilisants : acide phosphorique et potasse, en appliquant des engrais minéraux. Vous aurez fait ainsi une mauvaise opération, non pas sous le rapport de la fertilisation, mais au point de vue économique.

Le chaulage, en effet, ne dispense pas de l'apport des engrais phosphatés et potassiques; les parcelles amendées ont au débit de leur compte l'amortissement du chaulage et le prix des engrais complémentaires qu'elles reçoivent; en d'autres termes, elles sont redevables à la fois au compte *améliorations foncières* et au compte *engrais*. Dans ces conditions, pour que l'amendement soit avantageux et ne devienne pas inutile, il faut nécessairement que le rendement des parcelles chaulées dépasse celui des autres d'une surproduction au moins égale à l'amortissement. Ce n'est pas précisément ce qui arrive dans les essais de M. Ravel; les rendements ne sont pas supérieurs, ils sont égaux. *Le chaulage se traduit donc par un déficit correspondant à l'amortissement annuel. C'est une mauvaise opération.*

La logique de ce raisonnement est indéniable. Il faut s'assurer avant tout si l'apport de l'élément phosphaté, sous forme de *scories*, ne dispense pas de l'amendement dans ces sortes de terres. Pour que cette condition soit satisfaite, il suffit que les composés potassiques trouvent dans le sol et dans les scories une quantité de calcaire suffisante pour que leur action sur la nitrification devienne beaucoup plus intense que celle du calcaire.

N'oublions donc jamais cette considération importante :
« *l'engrais peut remplacer l'amendement, mais l'amendement ne peut jamais remplacer l'engrais.* »

IV

Les sols qu'il faut chauler — Si l'emploi de la chaux ne suffit pas à améliorer les terres humifères pauvres en potasse, doit-on en conclure que les chaulages restent toujours sans effet ? Non, certes. Et si j'ai cru devoir signaler quelques essais infructueux, il ne faut pas en déduire que les amendements doivent toujours être évités. Dans toutes les terres de bruyères où la potasse abonde, l'emploi de la chaux s'impose inévitablement ; mais il suffira de chauler légèrement et à des intervalles assez rapprochés pour obtenir de bons résultats.

Je tiens surtout à bien faire ressortir que l'action des amendements calcaires n'est pas la même dans tous les sols. La chaux peut agir indirectement sur les matières organiques en déplaçant d'abord la potasse immobilisée par l'argile ; or, il importe surtout de mobiliser cet élément par des moyens sûrs et économiques. La transformation de l'azote organique en azote ammoniacal ne pouvant être provoquée par le calcaire, il s'ensuit que l'action des amendements reste exclusivement subordonnée à la richesse potassique de la terre. — Chauler des sols humifères pauvres en potasse est une opération dispendieuse et inutile ; mais amender des sols riches en potasse inactive, insoluble, est une pratique économique et avantageuse. — C'est l'analyse chimique seule qui devra dicter la marche à suivre.

IV

Association de la chaux et du plâtre. — La pratique du chaulage s'impose dans tous les sols silico-humifères ou argilo-humifères riches en potasse et pauvres en calcaire. Mais on peut se demander si l'action de la chaux se manifeste également dans ces natures de terres. Pour que cette base réagisse sur la matière organique azotée, il faut que celle-ci soit arrivée à un certain état de décomposition. De plus, il est indispensable que la chaux reste à l'état d'oxyde,

c'est-à-dire qu'elle conserve toute sa causticité ; alors seulement elle peut transformer les substances amidées de l'humus et déterminer le déplacement de la potasse immobilisée. Dans la pratique cette condition n'est pas satisfaite ; la chaux incorporée au sol se transforme rapidement en calcaire et perd ainsi en grande partie son efficacité.

Sous cette nouvelle forme, à l'état de carbonate, elle ne peut servir qu'à favoriser les doubles décompositions, les échanges de bases. Dans les sols trop pauvres en sulfate de chaux, en plâtre, la potasse reste immobilisée quelle que soit la proportion de calcaire. Au contraire, si le sulfate de chaux abonde, l'effet du chaulage se fera sentir régulièrement comme sur les terres ordinaires. L'action mobilisante reste dévolue au plâtre ; c'est lui qui attaque les roches potassiques pour former du sulfate de potasse. A ce moment, le calcaire entre en jeu ; le sel potassique n'exercerait qu'une action très faible sur les substances azotées de l'humus, s'il ne trouvait pas à sa portée une quantité suffisante de carbonate de chaux pour se dédoubler en carbonate de potasse.

Ainsi, le chaulage et le plâtrage doivent ajouter leurs effets pour coopérer ensemble à la mobilisation de l'humus. Ce fait, trop longtemps méconnu, a une réelle importance pour l'amélioration des landes granitiques pauvres en gypse. Pour en donner une preuve manifeste, il me suffira d'établir comment agissent le plâtre, le calcaire, et le mélange plâtre et calcaire sur la nitrification. Nos essais ont porté sur une terre silico-argileuse de la Creuse à peu près complètement dépourvue de chaux, mais renfermant près de 4 millièmes d'azote ; nous avons obtenu les résultats suivants :

(1) Voir aussi :

Contribution à l'étude de la nitrification de quelques terres granitiques.
par MM. Claudel et Dumont. *Journat de l'Agriculture*, tome I, 1895.

AZOTE NITRIFIÉ EN UN MOIS DANS 1000 GRAMMES DE TERRE¹

SUBSTANCES AJOUTÉES		EXCÉDENTS D'AZOTE NITRIQUE (en milligr.)
Carbonate de chaux.....	2 pour cent.	2.0
Sulfate de chaux.....	0.5 »	8.9
Carbonate de chaux.....	2 »	34.6
Sulfate de chaux.....	0.5 »	
Carbonate de chaux.....	2 »	28.8
Sulfate de chaux.....	1 »	

M. Pichard avait déjà signalé les bons effets du plâtre et du mélange plâtre-calcaire sur la décomposition des matières organiques dans les terres sableuses. « *La nitrification, dit-il, atteint son maximum dans les terres sableuses auxquelles on ajoute un mélange de plâtre et de calcaire; le carbonate de chaux seul est moins actif qu'en mélange avec le plâtre. L'humus trop plâtré reste acide et ne nitrifie pas; l'addition de chaux ou de carbonate de chaux fait disparaître cette acidité.* »

Dans les terres tourbeuses comme celle du Val d'Yèvre les résultats sont bien différents. Quand M. Ravel m'eut signalé la supériorité du superphosphate, je n'avais pas encore étudié le pouvoir absorbant des sols humifères à l'égard du phosphate monocalcique, et j'attribuais cette supériorité au plâtre contenu dans l'engrais. Je pensais

(1) On remarquera, en examinant le tableau, que le sulfate de chaux employé seul s'est montré plus efficace que le calcaire. Dans un sol dépourvu de chaux, comme celui de la Creuse, ce fait me semblait inexplicable: je l'avais pourtant observé déjà en expérimentant sur une terre granitique des Vosges. Des recherches encore inédites me laissent supposer que l'action du plâtre sur la nitrification, dans ce cas particulier, s'explique par la formation d'un silicate double à base de chaux que l'acide carbonique attaque ensuite lentement en engendrant du calcaire. On a en définitive un mélange de sulfate de potasse et de carbonate de chaux très favorable à la nitrification.

(2) *Annales agronomiques*, 25 juillet 1892.

que le sol du Val d'Yèvre devait se comporter, à cet égard, comme les sols d'origine granitique sur lesquels je venais d'étudier l'influence des engrais phosphatés.

Je revins vite de mon erreur. « *Dans mes essais, m'écrivit M. Ravel, j'ai employé le plâtre tantôt seul, tantôt associé aux phosphates naturels et au chlorure de potassium. Dans aucun cas, je n'ai constaté l'efficacité de cet engrais. Le rendement des parcelles plâtrées a été tantôt égal, tantôt inférieur à celui des parcelles témoins. L'efficacité du superphosphate ne peut donc pas être attribuée au sulfate de chaux qu'il contient.*¹ »

Ainsi, dans les sols tourbeux pauvres en potasse et en chaux, ni le calcaire, ni le plâtre ne déterminent la nitrification... Je dirai plus : le sulfate de chaux employé seul n'y favorise pas le développement des légumineuses.

C'est donc la nature du milieu qui doit toujours nous guider pour l'application de la chaux et du plâtre. Dans les sols riches en potasse, on peut chauler et plâtrer; mais avant d'amender une terre humifère pauvre en chaux, il faut bien examiner si l'opération sera économique et utile.

Les Engrais phosphatés.

I

Phosphates et superphosphates. — Partout où l'acide phosphorique manque au sol, les rendements des récoltes restent faibles et la culture cesse d'être avantageuse. Les terres humifères ne font pas exception; beaucoup d'entre elles sont même très pauvres, et il n'y a guère que certains

(1) Sur l'emploi de quelques engrais dans les sols d'origine granitique. *Journal de l'Agriculture*, 1893.

(2) Les matières fertilisantes dans les sols tourbeux. *Journal de l'Agriculture*, 1894.

sols calcaro-humifères qui puissent se passer d'engrais phosphatés.

D'une manière générale, les terrains tourbeux et les terres de bruyère ont toujours besoin d'acide phosphorique. Il est facile, heureusement, grâce aux nombreux gisements de phosphates, de suppléer à l'insuffisante richesse du sol.

Sous quelle forme faut-il apporter le phosphore ? A quels engrais phosphatés convient-il d'accorder la préférence ? En réalité, *il n'y a pas de choix à faire* pour les terres tourbeuses ; il suffit de s'en tenir aux considérations économiques : on recherchera surtout les matières qui fournissent l'élément fertilisant aux meilleures conditions de bon marché. Est-ce à dire que tous les engrais phosphatés produiront les mêmes résultats ? A la longue, oui. Mais si l'on veut obtenir un effet rapide, immédiat, il faut s'adresser aux *superphosphates*, tout comme pour les autres terres.

Ce fait mérite une explication.

Dans la plupart des ouvrages, on recommande d'employer les superphosphates dans les sols calcaires, les scories de déphosphoration et les phosphates naturels dans les terrains riches en humus. Pour se conformer à ces conseils, il ne faudrait jamais apporter de l'acide phosphorique soluble dans les terres supposées acides. Pourquoi ? Parce que le superphosphate est déjà acide, et qu'en l'incorporant à un sol où les bases — la chaux principalement — font défaut, on accomplit une opération détestable.

L'expérience nous autorise à dire le contraire.

Dans les terres d'origine granitique très pauvres en chaux, comme dans les terres humifères tourbeuses, les superphosphates se montrent généralement d'une efficacité supérieure à celle des autres engrais phosphatés.

Quand je fis mes premiers essais, en 1892, j'avais la conviction que tout ce que je venais d'apprendre constituait un

corps de doctrines intangibles, et que l'agronomie, comme les autres sciences, avait des lois immuables. A mes anciens amis, aux cultivateurs de ma région, je conseillais de renoncer à l'emploi du superphosphate et de remplacer cet engrais coûteux par les phosphates naturels ou les scories. Avec une rare ténacité, ils persistèrent quand même dans leur pratique : « Cette matière nous donne d'excellents résultats, me disaient-ils, nous n'en changerons pas. » Et j'essayai vainement de les convaincre, en établissant la différence de prix de l'acide phosphorique soluble et insoluble. Il ne me restait qu'un moyen : prouver par l'expérience que j'avais raison... Je le tentai, et l'expérience me donna tort. J'avais pourtant à ma disposition une prairie défuichée contenant par kilogramme :

3,6 d'azote.
 1,7 de potasse.
 0,4 d'acide phosphorique.
 1,3 de calcaire.

Cette terre ne semblait-elle pas faite à souhait ? Riche en matière organique et en potasse, très pauvre en acide phosphorique et en chaux, en fallait-il davantage pour montrer la supériorité des phosphates naturels ? Et cependant, j'obtins le résultat inverse : le superphosphate produisit de bien meilleurs effets.

Quand j'eus donné le compte-rendu de ces essais, dans le « *Journal de l'Agriculture* », M. Ravel me fit part des expériences qu'il avait faites, de 1889 à 1893, sur les meilleures formules d'engrais propres aux prairies naturelles en terrains tourbeux. Il avait employé des superphosphates sur une parcelle d'un are ; il constata, à son grand étonnement, que le rendement de cette parcelle était tantôt égal, tantôt supérieur à celui des parcelles fumées aux scories, et *toujours plus élevé que celui des parcelles fumées aux phosphates naturels.*

L'action du superphosphate répandu en février, en même temps que les autres engrais, se manifestait dès la

première coupe, tandis que les scories et les phosphates naturels, la première année de leur emploi, n'augmentaient que le rendement du regain.

Et M. Ravel ajoutait :

« J'ai donné la préférence aux scories, en raison de leur
« bas prix ; mais, à prix égal, j'aurais généralisé l'emploi
« des superphosphates qui ont produit un rendement
« moyen un peu plus élevé, insuffisant toutefois pour
« compenser la différence des prix entre ces deux engrais.
« Il s'agit ici de terres exceptionnellement riches en
« matières organiques ; comme vous, *je suis convaincu,*
« *contrairement aux conseils des auteurs, que les super-*
« *phosphates ne doivent pas être toujours exclus de ces*
« *sortes de sols ; et si j'avais besoin d'obtenir un effet*
« *rapide, je leur donnerais la préférence sur les scories et*
« *les phosphates naturels ».*

On peut tirer un bon enseignement de ces judicieuses observations. Il est bien manifeste qu'il ne faut pas généraliser les résultats obtenus, et que ce qui est vrai pour une nature de sol ne l'est pas toujours pour une autre.

Mais supposez que l'on se refuse à employer des superphosphates dans les terres humifères sous prétexte qu'à la prétendue acidité du sol on vient ajouter l'acidité de l'engrais : quelle faute ne commettrait-on pas si l'on avait besoin d'un effet immédiat ! Et cependant, peut-on concevoir une terre plus acide que celle du Val d'Yèvre contenant, par kilogr. : **13,5** d'azote, **0,4** de potasse et **4,7** de chaux ! A moins de fabriquer un sol entièrement dépourvu de potasse et de chaux, on ne saurait trouver un milieu aussi disproportionné quant à sa constitution.

Les superphosphates, pourtant, y produisent de bons

(1) C'est pourquoi les expérimentateurs devront s'attacher surtout à bien faire ressortir la constitution chimique du sol, afin qu'il soit possible, dans tous les cas, de comparer utilement les résultats obtenus en différents endroits, ce qui nous permettra d'en déduire quelques règles générales précises pour l'emploi des engrais.

résultats : ils s'y montrent supérieurs depuis quatre ans, et la raison économique seule rend leur emploi moins avantageux que celui des autres engrais phosphatés. Mais imaginez une terre semblable renfermant suffisamment de potasse pour que le sulfate de chaux puisse la mobiliser, et demandez-vous si l'effet du superphosphate n'eût pas été encore plus sensible...

On peut employer avantageusement les superphosphates dans les terres où les composés potassiques abondent, mais on aurait tort d'en prescrire l'usage dans tous les sols riches en matières organiques. Je n'ai pas voulu, en relatant les bons effets de cet engrais dans quelques cas particuliers, généraliser exclusivement son emploi. Il était utile néanmoins, au point de vue scientifique, d'établir que les terres humifères, même les plus tourbeuses, s'accoutument parfaitement de l'apport de l'acide phosphorique soluble. Les faits que M. Ravel m'a signalés viennent heureusement à l'appui de cette affirmation, et il est bien manifeste que si le prix de l'unité d'acide phosphorique était le même sous toutes les formes, nous n'hésiterions pas à préconiser de préférence l'emploi des phosphates solubles.

II

L'équivalence d'action. — Pourquoi dans les sols humeux les superphosphates ne procurent-ils pas les mêmes avantages que dans les terres ordinaires ? Pourquoi les excédents de rendement ne compensent-ils pas toujours la dépense supplémentaire que nécessite l'achat de l'acide phosphorique soluble ? A première vue, étant donnée la constitution de certains terrains tourbeux, il semblerait que les superphosphates dussent y agir plus efficacement que dans les milieux ordinaires. La pauvreté relative du sol en calcaire et en potasse, sa richesse considérable en matières humiques sont autant de causes qui rendent la rétrogradation impossible. Les terres humifères, privi-

légérées à ce point de vue, comme nous le verrons dans la suite, réunissent donc tous les caractères propres à favoriser l'action du superphosphate : pourquoi, dès lors, l'emploi de cet engrais y offre-t-il moins d'avantages ?

C'est ce que nous allons établir.

Dans les sols normaux, les phosphates solubles — comme le phosphate monocalcique — rétrogradent généralement. Mais, sous cette forme, l'acide phosphorique est encore plus assimilable qu'il ne peut l'être dans les phosphates naturels.

La question se résume donc à ceci : les causes qui favorisent l'assimilation du phosphate tricalcique sont-elles assez actives pour qu'il y ait une proportion d'acide phosphorique soluble équivalente à celle du phosphate rétrogradé ?

Un exemple va me permettre de rendre plus clairement ma pensée. Voici une terre assez riche en calcaire¹ : sur une partie de la surface, j'apporte 50 kilos d'acide phosphorique insoluble ; sur une étendue égale, 50 kilos d'acide phosphorique soluble... Je constate que les effets sont identiques ; je puis affirmer que, dans ce cas, les engrais phosphatés s'équivalent au point de vue des rendements ; mais comme les phosphates naturels coûtent meilleur marché que les superphosphates, je dois leur accorder la préférence.

Cette équivalence peut s'exprimer autrement. Si l'on suppose, en effet, que l'acide phosphorique a rétrogradé, tout se passe comme si l'on avait apporté au sol une quantité de phosphate bicalcique² correspondant à 50 kilos d'acide phosphorique. Ce composé étant plus assimilable que le phosphate tricalcique, et n'ayant pas produit des

(1) Je prends de préférence un sol calcaire parce que c'est dans ces sortes de terres que les auteurs recommandent l'emploi des superphosphates.

(2) Dans la rétrogradation en terrain calcaire, on admet que le phosphate monocalcique, soluble dans l'eau, fixe une partie de chaux et devient bicalcique.

résultats supérieurs, il faut admettre que ce dernier a été partiellement solubilisé par le sol et qu'il a perdu une partie de chaux, donnant ainsi une proportion de phosphate bicalcique équivalente à celle fournie par le superphosphate.

En résumé, toutes les fois qu'il y aura égalité dans les rendements, nous admettrons que *la puissance de rétrogradation équivaut exactement à la puissance de « solubilisation »*. C'est ce qui n'a pas lieu précisément pour les terres chargées d'humus; l'action dissolvante s'y manifeste avec une telle intensité que la quantité d'acide phosphorique rendu assimilable, en un temps relativement court, est assez considérable pour qu'on ne remarque guère de différence entre la valeur fertilisante des phosphates et celle des superphosphates. La matière organique joue donc un grand rôle dans l'assimilation des engrais phosphatés.

Ce n'est pas tout : Si l'humus agit comme dissolvant, il intervient aussi par son pouvoir absorbant. Les effets s'ajoutent et se complètent si heureusement que la rétrogradation, en admettant qu'elle se produise, passe inaperçue.

Toutes ces actions présentent un intérêt si puissant que je croirais manquer à mon devoir en n'en faisant pas mention dans cette étude.

III

Action dissolvante de la tourbe. — L'humus agit de différentes façons sur les engrais phosphatés. Il intervient directement comme source d'acide ou indirectement, sous certaines formes, à l'état d'*humate* surtout.

Il y a longtemps que Dumas, puis Bobierre, ont montré la solubilité relative des phosphates d'os et de la poudre de nodules dans l'eau chargée de gaz carbonique. M. Dehérain a même reconnu qu'en abandonnant des phosphates

pulvérisés au contact de l'air, la proportion d'acide phosphorique soluble augmentait sensiblement. Un fait reste donc acquis : les acides du sol favorisent l'assimilation des phosphates. Avec l'acide acétique, qu'on rencontre assez fréquemment dans quelques terres tourbeuses, l'action est encore plus énergique.

Les propriétés dissolvantes des matières organiques ont été mises en évidence par MM. Fleicher et Kissling. Un compost formé par un mélange de tourbe et de phosphorite (116 kilos de tourbe et 2 kilos de phosphorite) accuse, après neuf mois, 0 gr. 048 d'acide phosphorique soluble : soit 8 pour cent de l'acide phosphorique total; en réduisant la quantité de tourbe à 29 kilogr., la proportion d'acide phosphorique solubilisé tombe à 0,6 p. 100. Au contraire, en ajoutant du sulfate de potasse au compost primitif, elle s'élève à 19 p. 100.

L'action dissolvante est-elle due à la matière organique libre? En réalité, comme je le montrerai bientôt, l'état de l'humus joue un très grand rôle, mais l'acide humique et les humates insolubles sont loin d'agir avec la même intensité que les humates alcalins. Et il est regrettable que dans les expériences précédentes, les auteurs n'aient pas été frappés davantage de l'influence si manifeste des engrais potassiques. Il ne faut pas perdre de vue que l'humus est inerte, immobile, insoluble, et que son rôle est en quelque sorte passif tant qu'il n'a pas été partiellement solubilisé.

IV

Action dissolvante du fumier. — Les effets du fumier sont autrement probants que ceux de la tourbe seule. Les expériences effectuées par M. Vivien et par M. Genay ne laissent subsister aucun doute à cet égard. En mélangeant

des phosphates fossiles à l'engrais de ferme, M. Vivien a trouvé :

Acide phosphorique :		FUMIER	
		Naturel.	Phosphaté.
Total.....		0,268	0,651
Soluble {	dans l'oxalate d'ammoniaque.....	0,449	0,212
	dans le citrate d'ammoniaque.....	0,132	0,182

Les différences sont de **0,063** pour l'oxalate d'ammoniaque et de **0,050** pour le citrate : soit environ de 16,4 p. 100 dans le premier cas, et de 13 p. 100 dans le second.

Dans les essais de M. Genay, la proportion d'acide phosphorique soluble dans l'oxalate d'ammoniaque représente plus des 26 centièmes de la quantité totale.

Ces expériences nous montrent bien que les matières organiques contenues dans la terre arable favorisent notablement l'assimilation des phosphates. Mais il est un point sur lequel il convient d'insister spécialement, c'est sur la puissance dissolvante du fumier.

La tourbe pure, d'après les essais de MM. Fleicher et Kissling, ne dissout guère que 8 centièmes de l'acide phosphorique total; mélangée à du sulfate de potasse, elle en dissout 19 p. 100. Avec le fumier, la proportion varie de 16 à 26 p. 100. Quand on songe à la quantité d'humate qui se trouve dans l'engrais de ferme, on est naturellement conduit à supposer que sous cet état la matière organique produit le maximum d'effet.

En disant que l'humus favorise l'assimilation de l'acide phosphorique, grâce à la combinaison contractée à son contact par les phosphates, on exprime un fait sans en donner la véritable raison. Comme la science agronomique ne doit pas reposer sur des « à peu près », elle ne saurait admettre ni l'équivoque, ni le doute. Que l'humus joue un rôle prépondérant dans la fécondité des terres, c'est incontestable; mais quand il s'agit de toucher aux questions d'assimilation, il faut bien reconnaître qu'une grande différence

doit exister entre la matière organique inerte ou passive et la matière organique mobilisée ou active.

Dans la tourbe, l'humus est passif; dans le fumier, il est actif, au moins partiellement. Or, pour expliquer la supériorité dissolvante de l'engrais de ferme, il faut admettre que ce sont les humates ou les carbonates alcalins qui agissent. Je sais bien qu'on peut aussi faire intervenir la proportion plus grande d'acide carbonique, la température plus élevée. Mais les expériences que j'ai effectuées vont me permettre d'éclaircir quelque peu la question.

V

Action dissolvante des humates alcalins. — L'action dissolvante que les humates alcalins exercent sur les phosphates ne fait pas l'ombre d'un doute : l'expérience montre, en effet, que les phosphates rétrogradés se dissolvent dans les humates alcalins exactement neutralisés par l'acide acétique. J'ai mis ce fait en évidence, il y a quelques années, et les nouveaux essais que j'ai effectués en sont une confirmation éclatante. Mais il serait téméraire de supposer, *à priori*, que les composés humiques agissent exclusivement comme dissolvants. Dans bien des cas, on ne saurait dire s'il y a dissolution ou absorption, et le fait de trouver toujours une certaine quantité d'acide phosphorique dans les cendres d'humus ne constitue pas une preuve à l'appui de l'une ou de l'autre hypothèse.

A première vue, on pourrait affirmer :

Que les phosphates solubles sont simplement absorbés;

Que les phosphates insolubles sont dissous, puis retenus.

L'humus agit comme dissolvant par les acides qu'il engendre, — plutôt que par lui-même — et par les combinaisons solubles qu'il peut former avec les alcalis et les carbonates alcalins. C'est à ces agents qu'il convient d'attribuer l'action prépondérante de la matière organique sur les phosphates insolubles. Le rôle des acides mis en évi-

dence par MM. Dumas, Bobierre, Dehérain, etc., n'est pas discutable. L'action des humates solubles ne l'est pas davantage⁽¹⁾; le phosphate de sesquioxyde de fer, le phosphate d'alumine — qui sont plus difficilement attaquables que ceux à base de chaux — abandonnés pendant quelques jours au contact d'une solution d'humate de potassium se dissolvent en partie, comme en témoignent nos essais :

A. *Solution pure d'humate* contenant 11 gr. 8 de matière organique et 9 gr. 7 de cendres par litre

	ACIDE phosphorique dissout en	
	8 jours.	15 jours.
Phosphate d'alumine (2 gr.).....	0,098	0,123
Phosphate de fer (2 gr.).....	0,421	0,186
Scories (4 gr.).....	0,071	0,033

B. *Solution d'humate*, contenant 5 gr. 9 de matière organique par litre, et 4 gr. 85 de cendres.

	ACIDE phosphorique dissout en	
	8 jours.	15 jours.
Phosphate d'alumine (2 gr.).....	0,025	0,032
Phosphate de fer (2 gr.).....	0,067	0,087
Scories (4 gr.).....	0,016	0,020

Mais si la matière organique peut, sous cette forme, réagir efficacement, il ne faut pas supposer *à priori* que cette réaction soit la plus importante. Je la crois plutôt secondaire, et il me semble préférable — laissant ainsi de côté tout amour-propre d'auteur — de considérer comme capitale l'action lente des acides qui prennent naissance dans la décomposition de l'humus. Cependant, il faut bien le reconnaître, l'intervention de ces acides n'explique pas pourquoi l'acide phosphorique et l'humus demeurent en

(1) Voir mon ouvrage sur l'humus ou mon article *Sur l'assimilation des phosphates rétrogradés* (*Progrès Agricole*, 1900).

quelque sorte inséparables l'un de l'autre! Le gaz carbonique produit par la matière végétale en voie de décomposition agit, en effet, indépendamment de toute autre cause : il solubilise le phosphate comme si l'humus n'existait pas.

VI

[**Absorption des phosphates solubles.** — Comment l'acide phosphorique ainsi mobilisé se retrouve-t-il ensuite dans la matière organique ?

| Pour comprendre toute l'étendue et l'importance de cette question, il est indispensable que je rappelle quelques-unes de mes expériences¹. Tous les cultivateurs savent que dans les terres riches en matières organiques la rétrogradation de l'acide phosphorique, si elle se produit, n'a pas les mêmes conséquences que dans les sols pauvres ; il en résulte, comme je l'ai déjà dit, que *les sols humifères n'ont pas de préférence pour les engrais phosphatés*. C'est dans ces sortes de terres, d'ailleurs, que les phosphates insolubles réussissent le mieux. Il y a quelques années, lorsque M. Ravel me signala les bons effets des superphosphates dans les sols du Val d'Yvère, où la chaux et la potasse n'abondent pas, je pensais que les phosphates solubles ne rétrogradaient pas en présence de l'humus.

1 C'est en partant de cette idée que j'étudiai comparative-ment la transformation du phosphate monocalcique dans les terres chargées d'humus ou dans des sols ordinaires. Grande fut ma surprise de voir que les sols tourbeux fixaient l'acide phosphorique bien plus énergiquement que les autres. Alors quoi ? D'où vient cette particularité remarquable ? Y aurait-il rétrogradation ? J'écartai de suite cette hypothèse. Pour qu'un phosphate soluble rétrograde, au sens propre du mot, il est nécessaire que le sol contienne

(1) Voir *Propriétés générales du sol*.

du calcaire, des sels de fer ou d'alumine attaquables par le phosphate acide ou par l'acide phosphorique.

Tel n'était pas le cas! La proportion de chaux contenue dans la terre, à supposer qu'elle entrât complètement en jeu, était à peine suffisante pour saturer l'acide phosphorique. Il fallait de toute nécessité chercher une autre explication.

Welcker a étudié le pouvoir absorbant du sol à l'égard des phosphates solubles; dans tous ses essais — avec le *loam rouge* et les sols argileux, argilo-marneux, sableux et calcaires — une notable fraction de l'acide phosphorique soluble était absorbée. Pour expliquer ce fait, les agronomes se contentent de faire entrer en ligne de compte la *rétrogradation*: le phosphate acide se neutralise dans le sol en présence des bases... La question, ainsi interprétée, ne présente aucune difficulté; mais elle est en réalité plus complexe dans le cas qui nous occupe.

La matière organique, l'humus entre aussi en jeu; et là où la rétrogradation est imparfaite, c'est lui qui fixe directement les phosphates solubles. Il ne saurait y avoir de doute à cet égard.

On sait, en effet, que les matières organiques extraites du sol par les procédés chimiques, que l'humus précipité par les acides d'une solution d'humate alcalin abandonnent, après incinération, une faible quantité de cendres où l'on retrouve, ainsi que l'a montré M. Grandeau, de la silice, de l'acide phosphorique, etc... Comment les phosphates sont-ils dissous par l'humus? Vraisemblablement, ce n'est pas par son action directe que l'humus intervient dans la dissolution des phosphates; comme je l'ai indiqué déjà, les agents de « *solubilisation* » doivent être les différents acides qui prennent naissance dans la décomposition des matières organiques du sol, et les humates solubles qui se forment par la suite. Mais l'humus, témoin de ces transformations, dont il est la cause indirecte, est toujours là qui guette sa proie et la dispute au calcaire. Le phos-

phate soluble ou solubilisé échappera à la rétrogradation s'il se combine à la matière organique dont il ne se séparera ensuite que lentement pour servir à la nutrition de la plante.

N'est-ce pas une raison suffisante pour expliquer les bons effets du fumier dans les terres où les phosphates rétrogradés abondent ? N'est-ce pas là une interprétation rationnelle de l'efficacité de tous les engrais phosphatés dans les terres humifères ? L'humus, cause d'assimilation et agent de fixation de l'acide phosphorique : voilà bien deux fonctions capitales qui, loin d'être incompatibles, se complètent heureusement dans le même composé, dans la même substance.

La fixation de l'acide phosphorique par les matières organiques contenues dans la terre arable n'est d'ailleurs pas un des moindres avantages des sols que nous étudions.

L'efficacité des engrais phosphatés est à peu près générale dans les terrains tourbeux et les terres de bruyères. La rétrogradation n'y offre pas les mêmes inconvénients que dans les autres sortes de sols, étant donné qu'elle se trouve sensiblement atténuée par l'humus.

Nous ne pouvons cependant pas affirmer que les phosphates solubles rétrogradent dans les milieux chargés de débris végétaux en voie de décomposition. Il semble, au contraire, que l'acide phosphorique absorbé par l'humus demeure soluble et assimilable. En calcinant modérément l'acide ulmique, j'ai retrouvé en effet dans les cendres presque tout le phosphate à l'état monocalcique ; on l'y retrouverait même intégralement s'il n'y avait, en outre, des sesquioxydes de fer et d'aluminium qui insolubilisent une fraction notable de l'acide phosphorique.

Les essais que j'ai effectués rendent bien compte de l'influence heureuse qu'exercent les copieuses fumures à l'engrais de ferme dans les sols riches en phosphates de fer et d'alumine. A mesure que ces composés sont solubilisés, le fumier les absorbe et les maintient sous un état

plus facilement assimilable. Les végétaux qui ne peuvent les absorber sous la forme primitive les arrachent alors à l'humus et les utilisent avantageusement pour leur propre nutrition.

M. Grandeau a dit avec raison : « L'humus sert de véhicule aux éléments minéraux. » Le savant directeur de la Station agronomique de l'Est avait été frappé de retrouver dans les cendres d'humus, l'acide phosphorique, la chaux, l'alumine, le fer et la silice. Ces éléments, on le sait, sont indispensables à la végétation ; ils forment dans le sol des combinaisons insolubles et difficilement assimilables ; il n'est donc pas téméraire de supposer que les racines les puisent de préférence dans l'humus que dans la terre même. C'est ce qui ressort manifestement de quelques-uns de mes essais. J'ai reconnu en effet que certaines plantes — le trèfle notamment — profitent plus avantageusement des phosphates quand ils sont dissous dans les humates alcalins. Nous y reviendrons en détail plus loin, quand il sera question de la culture de cette légumineuse dans les terrains tourbeux.

Les procédés d'amélioration.

I

Considérations générales. — De tout temps on a lutté contre la lande inextricable ; on a fait disparaître l'épais manteau de bruyères, de genêts et d'ajoncs qui en couvrait la surface ; on a déchiré, fouillé, remué le sol ingrat avec l'espoir bien naturel d'en retirer quelques fruits. Souvent les efforts sont restés vains, inutiles ; rarement ils ont été fructueux. De médiocres récoltes ont trouvé avec peine, pendant plusieurs années, quelques maigres subsistances dans la terre défrichée ou écobuée ; puis il a fallu renoncer à la culture pour un long temps, et la bruyère

envahissante a repoussé avec vigueur sur ce sol qu'elle a fait sien et qu'elle ne veut pas abandonner encore.

De nos jours, dans certaines régions, des étendues considérables de landes riches en humus restent improductives, soit qu'on ait renoncé à les mettre en valeur, soit qu'on les cultive seulement par intermittence. Ainsi, dans plusieurs départements du centre de la France, notamment dans la Creuse, le sol des landes n'est exploité qu'à des époques déterminées. On *écobue* quand le temps le permet, puis on répand aussi uniformément que possible, sur toute la surface du champ, les cendres d'écobuage. Ensuite, on emblave la terre avec du seigle ou des pommes de terre ; au début, l'on obtient quelques récoltes passables, mais les rendements baissent bientôt considérablement et la culture devient impraticable par suite de l'épuisement rapide du sol.

Dans d'autres contrées, mieux partagées sous le rapport de la fertilité, on tire avantageusement parti des terres de vieilles forêts et d'anciennes prairies par un simple défrichement. Quelquefois un apport de chaux ou de phosphate suffit à rendre le sol des landes éminemment fécond.

Avec les terres tourbeuses, fort incomplètes quant à leur constitution minérale, les procédés d'amélioration ne sont plus tout à fait les mêmes. Ici, en effet, les causes d'infécondité peuvent être d'ordre physique ou d'ordre chimique, et on ne les vaincra qu'en améliorant le sol physiquement et chimiquement. Rappelons d'abord les principales causes de stérilité.

Parmi les propriétés physiques défavorables, on doit signaler en premier lieu l'état mouilleur des tourbières. La tourbe présente une grande faculté d'imbibition ; elle accumule, elle emmagasine ainsi d'énormes quantités d'eau, mais l'excès d'humidité ne dépend pas seulement de cette cause : il peut provenir soit de l'imperméabilité du sous-sol, soit de l'afflux latéral des eaux ; il devient nui-

sible, en tout cas, parce qu'il empêche la pénétration de l'air et arrête l'éremacausis. Les *changements de volume* provoqués par les alternatives de sécheresse et d'humidité, de gel et de dégel, ne sont pas moins préjudiciables; ils occasionnent le *déchaussement* des plantes et rendent à peu près impossibles les cultures d'hiver : les racines mises à nu sont particulièrement sensibles aux gelées tardives.

Parmi les *propriétés chimiques*, il y a lieu surtout de considérer le taux de principes alimentaires contenus dans le sol et l'aptitude de l'humus à la décomposition.

Que la stérilité soit imputable à l'état mouilleux du sol ou à un défaut de constitution chimique provenant de la nature du milieu primitif et de la surabondance des matières organiques, on ne pourra la vaincre efficacement qu'en employant des méthodes convenables. D'ailleurs, ces causes d'infécondité ne sont pas incompatibles; et si elles se manifestent parfois isolément, il arrive fréquemment aussi qu'elles ajoutent leurs effets.

Mais qu'on ne s'y méprenne point ! Si nous entrevoyons, dans tous les cas, la possibilité d'améliorer chimiquement les terrains humifères, de vaincre la passivité de l'humus par l'apport d'amendements ou d'engrais convenablement choisis, nous ne saurions trop recommander aux cultivateurs d'assainir le sol avant toute chose s'il y a lieu. Les causes d'infécondité d'ordre physique ne peuvent être vaincues que par des améliorations physiques.

II

Assainissement. — L'état mouilleux des tourbières et des marécages est un des principaux obstacles qui s'opposent à leur utilisation.

L'assainissement s'impose, et s'il peut nécessiter parfois des travaux d'art considérables, il devient rarement impraticable. Au reste, l'homme est assez ingénieux pour en

venir à bout. N'a-t-il pas déjà fait des prodiges dans cette voie? La mise en valeur des *Moères*, qui s'étendent sur une superficie de plus de 2,000 hectares aux environs de Dunkerque; l'aménagement des *Wateringues* du Nord et du Pas-de-Calais; le dessèchement du *lac de Harlem* (en Hollande), des marais de *Dol* (en Bretagne) et des étangs de la *Vendée* qui occupent plus de 160,000 hectares... sont autant d'œuvres admirables et gigantesques!

Je n'ai pas l'intention, en ce court exposé, de décrire en détail toutes les méthodes d'assainissement et de drainage. Des traités spéciaux indiquent la marche à suivre dans les cas les plus complexes; j'y renvoie les lecteurs. Quelques bons fossés suffiront d'ordinaire pour assainir les tourbières, surtout si la surface du sol présente une légère pente. Je me contenterai de donner ici quelques indications tout à fait générales :

« Pour se débarrasser des eaux surabondantes, il faut, par une étude préalable de la structure géologique du pays, voir d'où viennent ces eaux. Souvent elles sortent des coteaux qui entourent le bassin dans lequel la tourbe s'est formée. Dans ce cas, il est essentiel de tracer au pied de ces coteaux un fossé de ceinture qui recueille les eaux et les emmène, vers le point le plus bas possible, dans le canal principal de dessèchement.

En général, on préfère, pour le drainage des tourbières, les fossés à ciel ouvert aux tuyaux en terre cuite. Avec ces derniers, on risquerait d'avoir, par suite du tassement irrégulier de la masse tourbeuse, des solutions de continuité qui arrêteraient l'écoulement des eaux; on ne doit les employer que si l'on peut les placer à 1 mètre et demi ou 2 mètres de profondeur sur une base stable d'argile ou de sable.

Quand le niveau des eaux a été abaissé à 1 mètre environ au-dessous de la surface de la tourbe, le sol se raffermît suffisamment pour que les attelages puissent y passer et y faire les travaux de culture; les plantes y trouvent une assise plus fixe et un milieu plus sain pour le développement de leurs racines; les gelées tardives de printemps sont moins fréquentes ... »

Quand l'excès d'humidité est considérable, les fossés

(1) E. Risler. *Géologie agricole*, tome IV, p. 335.

sont plus rapprochés (12 à 30 mètres d'écartement), plus profonds et plus larges. La tourbière est alors sillonnée de nombreux petits canaux. La tourbe extraite de ces rigoles et rejetée sur les bords permet d'exhausser le sol artificiellement.

Ce procédé d'assainissement a été mis en pratique dans les environs de Bourges et d'Amiens où les maraîchers font de l'*hortillonnage* avec succès.

Dans quelles limites faut-il abaisser le plan d'eau? Jusqu'à quel point doit-on pousser l'assainissement? En raison du grand pouvoir absorbant de l'humus à l'égard de l'eau, il faut éviter de trop assainir les sols tourbeux.

Il n'y a pas de terrains, dit Wolny, qui offrent autant de difficultés à l'assainissement et qui exigent plus de précaution. Ceci se comprendra si l'on considère qu'avec l'abaissement du plan d'eau par les procédés ordinaires (fossés ou tuyaux souterrains), on soutire aisément au sol de telles quantités d'eau qu'il n'en a plus assez, et prend alors un état aussi peu propre que l'état mouilleux à l'obtention du maximum de récoltes. On doit surtout chercher la cause de ce dessèchement excessif dans la faculté extraordinaire d'évaporation de la masse tourbeuse. Avec une sécheresse persistante, la provision d'eau peut diminuer à un tel degré que les plantes meurent de soif.

Une fois arrivé à cet état, le sol est ruiné pour longtemps, parce que la tourbe, à cause de son inhumectabilité, ne se laisse plus humidifier du tout ou seulement avec la plus grande difficulté. Pour ces raisons, l'assainissement doit être conduit de manière que la végétation puisse disposer, dans tous les cas, de la provision d'eau reconnue nécessaire pour les besoins des récoltes. On devra surtout se préoccuper d'abaisser convenablement le plan d'eau et de garder la possibilité de le régler suivant les exigences des cultures et les circonstances climatériques. On ne pourra en général s'attendre à un haut rendement que si le sol tourbeux reste toujours bien humide : car on sait, abstraction faite des exigences variables des récoltes, qu'il doit contenir plus d'eau qu'aucun autre sol pour amener les plantes à leur complet développement.

(1) E. Wolny. — Décomposition des matières organiques. *Annales de la Science agronomique*, 1900.

Il suffit que le plan d'eau soit à 0^m50 ou à 0^m70 sous le gazon et, sous les champs, à un mètre environ au-dessous de la surface. En installant quelques vannes à des places déterminées, on pourra régler à volonté le fonctionnement des appareils d'assainissement et éviter ainsi un trop grand dessèchement du sol.

III

Amendement et ensablement des tourbières. — J'ai indiqué précédemment le rôle des amendements calcaires ; il serait superflu d'y revenir. Je me contenterai donc de relater tout ce qui a trait à l'ensablement.

Les sols tourbeux offrent une telle disproportion, quant à leur richesse minérale, qu'on s'est demandé s'il n'y aurait pas intérêt à modifier leur composition par des apports de terre ou de sable. Depuis longtemps, les maraîchers ont pris l'habitude de charger les *hortillons* avec de la terre. En Allemagne, on emploie surtout le sable. Ces opérations ne sont réellement économiques que si l'on peut charger les tourbières à peu de frais. Quand la couche tourbeuse présente une faible épaisseur, on trouve parfois au-dessous d'elle les matériaux nécessaires pour l'amender.

C'est au domaine de Cunrau — situé au nord de la province de Saxe, dans l'Altmarck, aux sources de la Jeetze — que M. Rimpau effectua avec grand succès les premiers essais d'ensablement. Le sol fut recouvert d'une couche de sable de 0^m10 à 0^m12 qu'on évitait de mélanger à la tourbe sous-jacente.

Quels sont les avantages de l'ensablement ?

M. Fleischer, puis Wolny, ont étudié les modifications qu'éprouve le sol tourbeux : dans ses rapports avec l'humidité et la chaleur, sous l'influence du sable en mélange ou en couverture. Il résulte de différents essais :

Que la couverture de sable atténue sensiblement les oscillations du taux d'eau des sols tourbeux en ralentissant l'évaporation et en facilitant l'infiltration :

Que la température du sol tourbeux, pendant la saison de végétation, s'élève sensiblement par la couverture ou le mélange de sable, et plus par le mélange que par la couverture.

A première vue, ce fait paraît étrange : la tourbe en effet, par sa couleur noirâtre, devrait absorber plus facilement la chaleur que le sable gris ou blanc. Pourquoi constate-t-on le phénomène inverse ?

« A cause de sa teinte foncée, écrit Wolny, le sol tourbeux s'échauffe au soleil plus que le sable blanc, du moins à la surface, mais moins dans les zones profondes, tant à cause de sa plus grande capacité calorifique, tenant à sa forte teneur en eau, que de sa faible conductibilité. Lors du rayonnement nocturne, la tourbe perd moins de chaleur que le sable, qui se refroidit alors bien plus parce qu'il possède comparativement une conductibilité beaucoup plus grande et une moindre capacité calorifique. Donc, l'échauffement de la tourbe est moindre que celui du sable pendant le jour et quand la température s'élève, de même que son refroidissement est moindre aussi pendant la nuit et quand la température décroît. Les oscillations de la température du sol sont par suite beaucoup plus faibles dans la tourbe que dans le sable.

« Quand la tourbe est mélangée de sable, sa faculté d'échauffement, d'après ce qui précède, doit augmenter ainsi que les oscillations de la température du sol. C'est ce qui arrive en effet. »

Ainsi, le *procédé d'ensablement par couverture* se recommande spécialement pour les climats secs puisqu'il protège énergiquement le sol contre le dessèchement. Au contraire, dans les climats humides, c'est le *procédé par mélange* qui offre le plus d'avantages, car il favorise mieux

l'évaporation de l'eau. En ce qui concerne les gelées printanières, les deux méthodes ont sensiblement la même valeur. *A tous les autres points de vue : aération du sol, décomposition de l'humus, régularité de la végétation, l'ensablement par mélange se montre supérieur*

Dans tous les cas, quel que soit le procédé adopté, il faut tenir compte des conditions économiques et de la situation des tourbières. Si la main-d'œuvre est chère, s'il faut faire de grands et longs déplacements pour le transport du sable, il y aura lieu de rechercher des méthodes d'amélioration moins onéreuses.

Nous ne pensons pas que l'ensablement des sols tourbeux mérite d'être généralisé malgré les bons résultats qu'il a pu donner dans certaines contrées de l'Allemagne. Cependant, il est des cas où les apports de terre produisent de très bons effets, non seulement par leur action physique, mais au point de vue de l'enrichissement du sol en microbes.

IV

Ecobuage des landes et des tourbières. — L'écobuage est une des plus anciennes méthodes culturales. On l'a employé avec succès pour la mise en valeur des sols de forêts et des landes. Il se recommande, dans certains cas, pour l'utilisation des terres chargées de matières organiques.

On peut pratiquer l'*essartage* s'il y a lieu. On *écobue* ensuite. A cet effet, à l'aide d'une espèce de pioche à lame élargie (*écobue, étrépe*) ou même avec la *bêche* ou le *louchet*, on découpe le gazon superficiel — la *couenne* — en plaques carrées ou rectangulaires qu'on soulève au moyen d'un *lève-gazon* — sorte de pelle à douille coudée et à lame latérale¹. Les mottes ainsi obtenues sont dressées deux à deux

(1) On peut aussi utiliser les charrues écobueuses ou dégazonneuses.

pour faciliter le séchage ; on les entasse ensuite en formant des meules qui rappellent celles des charbonniers, et on procède à l'incinération. La combustion se fait d'habitude à l'étouffée. Les cendres sont ensuite répandues sur le sol ; elles agissent à la fois comme amendement et comme engrais. (Voir ce qui a été dit précédemment sur l'action des cendres, p. 81.)

Si l'écobuage présente divers avantages, il offre aussi de graves inconvénients.

« Seules les terres humifères, terres de bruyères, terres noires de landes, tourbes, les vieilles pâtures surtout en terre argileuse, doivent être carburées énergiquement. Sur les terres légères, comme les arènes granitiques du Plateau Central, l'écroûtement devra être superficiel, et il faudra se garder de détruire tout l'humus accumulé par la végétation spontanée ; sur les tourbes, au contraire, on pourra prélever une épaisse couche du sol de façon à mélanger à l'humus acide sous-jacent une masse importante de cendres riches... Ici (dans les sols tourbeux), on n'a pas à redouter la destruction de l'humus, toujours trop abondant, et les façons culturales les plus énergiques ont bien rarement raison des *cyperacées* et des *joncées* qui ont envahi tout le terrain. Seule, l'incinération procure, avec une cendre fécondante, un nettoyage radical du terrain »

M. F. Berthault relate les bons effets de l'écobuage sur des prairies tourbeuses des environs de Bourges. Le sol fut labouré au mois d'août à 0^m18 environ ; trois semaines plus tard, la terre étant sèche, on forma, par hectare, 123 fourneaux représentant chacun une douzaine de mètres cubes, et il ne fallut pas moins de douze jours pour brûler cette énorme masse de terre. Les cendres obtenues (2 mètres cubes et demi environ par monticules) furent répandues à la pelle, quinze jours après, sur toute la surface du champ. Au printemps, à la suite d'un léger labour, on sema de l'avoine de Ligowo qui produisit, malgré la verse, 42 hectolitres à l'hectare, avec une paille de 1^m70 à 1^m80 de

(1) F. Berthault. Une application spéciale de l'écobuage. *Bulletin du syndicat central des Agriculteurs de France*, n° 342, 16 septembre 1901.

hauteur. L'année suivante, une nouvelle culture d'avoine fournit encore 39 hectolitres de grains. Enfin, une prairie naturelle semée en juin, dans du sarrazin, a produit 6 000 kilos de foin par hectare après la première année.

Les frais de main-d'œuvre, pour la pratique de l'écobuage, s'élevèrent seulement à 180 francs. Les cendres contenaient pour 1.000 :

Azote.,	0.4
Acide phosphorique	6.7
Oxyde de fer	126.0
Carbonate de chaux..	443.0

Quand on songe que chaque hectare recut 307 mètres cubes de ces cendres, on conçoit pourquoi les engrais minéraux (scories et sulfate de potasse) ont été inefficaces.

M. Berthault estime que l'écobuage, ainsi pratiqué, constitue l'opération la plus rationnelle pour la transformation des mauvaises pâtures tourbeuses. Il est regrettable que nous n'ayons pas sous les yeux l'analyse du sol écobué et la richesse potassique des cendres.

En tout cas, nous nous garderons de conseiller l'écobuage pour toutes les terres tourbeuses. L'excès de matières organiques n'est pas aussi préjudiciable qu'on le croit généralement, et il nous déplaît de voir brûler ainsi, sans aucun profit, une matière aussi précieuse que l'humus. M. Ravel qui cultive, aux environs de Bourges, des étendues considérables de sols tourbeux (dosant près de 50 p. 100 de matière organique) a pu créer de belles prairies, sans écobuer, par le seul emploi des engrais minéraux.

C'est encore moins onéreux. L'écobuage est une pratique surannée, une culture vampire. C'est l'opinion de tous ceux qui se sont occupés de la mise en valeur des terrains humifères ; c'est également la nôtre.

Voici en quels termes Wolny condamne cette méthode

culturale encore en honneur dans les tourbières du nord de l'Allemagne :

« La culture des tourbières par combustion doit être rejetée sans hésitation, non seulement parce qu'elle ne donne qu'un rendement faible et très incertain, qu'elle épuise le sol, qu'elle est incompatible avec une exploitation fructueuse prolongée et qu'elle ruine le pays, moins encore parce qu'elle exerce au point de vue moral une influence pernicieuse. A chaque combustion, le sol devient plus pauvre et les rendements diminuent jusqu'à épuisement complet et stérilité... Le feu s'avance plus loin qu'on ne le veut ou bien il est éteint par une pluie persistante, si bien que la combustion est incomplète, la semaille entravée, impossible même parfois, et que l'on a travaillé pour rien. »

Au reste, l'écobuage ne nous dispense pas de l'assainissement. Ce n'est donc que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles qu'on doit y recourir comme pis aller.

V

La fertilisation par les engrais. — Quand le sol est convenablement assaini, on peut toujours le mettre en valeur par l'emploi judicieux des engrais minéraux. J'ai montré, dans un précédent chapitre, comment se comportent les sels de potasse, les amendements calcaires et les engrais phosphatés dans les terrains humifères. L'emploi isolé de ces matières ne suffit pas toujours pour l'amélioration des sols incomplets. Dès lors, il devient nécessaire de rechercher quelles sont les matières qui peuvent le mieux associer leurs effets.

Tout dépend de la constitution du sol.

A titre d'indication, et pour bien faire ressortir la possibilité de fertiliser les sols tourbeux, je signalerai tout d'abord quelques expériences culturales d'un très haut intérêt; elles nous montreront quel rôle important peuvent jouer les engrais potassiques et les scories dans l'amélioration rationnelle des terres humifères. L'emploi des sels de potasse dans les tourbières est en vogue, depuis longtemps

déjà, chez les Allemands. En France, quelques agriculteurs habiles — M. Ravel et M. Mer notamment — ont obtenu des résultats merveilleux.

LES EXPÉRIENCES DE M. RAVEL¹ — Dans une note particulièrement instructive², M. Ravel a fait ressortir les multiples avantages que peut présenter la mise en culture des terrains tourbeux convenablement assainis par un drainage à ciel ouvert. Les résultats qu'il a obtenus, à la colonie agricole du Val-d'Yèvre, sont bien de nature à fixer l'attention des cultivateurs qui recherchent depuis longtemps un procédé rapide et avantageux permettant de mettre à profit la proportion énorme d'azote combiné, immobilisé dans les terres acides, faute de nitrification active.

Ce problème, assez difficile en apparence, n'est cependant pas insoluble et les expériences de M. Ravel en sont une démonstration manifeste.

C'est par des essais multipliés, et après de nombreux tâtonnements, que cet observateur attentif est arrivé à résoudre d'une manière *très satisfaisante* — l'expression n'a rien d'exagéré — cette importante question ; il affirme que même lorsqu'il est impossible d'amender le sol, on peut le cultiver économiquement par l'application successive des *scories de déphosphoration* et du *chlorure de potassium*.

Voici, du reste, les conclusions qui découlent des expériences qu'il a effectuées :

1^o *L'emploi isolé de chacun des engrais n'a donné que de faibles augmentations de rendement dans les cultures sar-*

(1) Nous n'examinerons ici que la formule d'engrais employée par M. Ravel ; c'est la seule question qui se rattache à l'amélioration du sol. Plus loin, dans la troisième partie, nous relaterons en détail tout ce qui a trait aux cultures.

(2) 1894, t. 1, p. 535 du *Journal de l'Agriculture*.

clées, et a été à peu près sans effet sur les prairies naturelles :

2° L'association des engrais phosphatés et potassiques a toujours augmenté le rendement dans une forte proportion; la formule qui a produit, dans tous les cas, les meilleurs résultats est la suivante : **500 kilog. de scories de déphosphoration et 200 kilog. de chlorure de potassium, par hectare et par an ;**

3° Parmi les engrais phosphatés, les scories de déphosphoration ont toujours donné des résultats supérieurs aux phosphates naturels et aux superphosphates.

C'est principalement sur ces faits essentiels que j'appellerai l'attention des cultivateurs, étant donné qu'ils se rattachent, d'une manière indirecte mais très apparente, aux expériences que nous avons effectuées relativement à l'influence qu'exercent les sels de potasse sur la nitrification.

Nous avons montré, en effet :

Que le carbonate de potasse, employé à faible dose, favorise sensiblement la transformation de l'azote organique ;

Que le sulfate de potasse exerce une action favorable sur la nitrification dans les terres contenant assez de calcaire pour faciliter sa transformation en carbonate de potasse ;

Que le chlorure de potassium se transforme aussi dans le sol, en présence du calcaire, pour former du carbonate de potasse ; mais que son efficacité, subordonnée à l'influence des saisons, atteint son maximum dans les années pluvieuses qui débarrassent la terre du chlorure de calcium formé par voie de double décomposition.

Il sera facile, après tout ce qui a été dit, de montrer les avantages qui résultent de l'association des scories et du chlorure de potassium... On verra que M. Râvel — à qui revient l'insigne honneur d'avoir prouvé expérimentalement la possibilité de tirer profit des sols tourbeux par le seul emploi des engrais — ne pouvait choisir une meil-

une formule pour la mise en valeur des terres qu'il cultive au Val d'Yèvre.

Mais il ne faut pas voir seulement, dans l'emploi des scories et du chlorure de potassium, l'effet produit par les éléments fertilisants : *acide phosphorique et potasse*, apportés par les engrais; il faut considérer surtout l'influence de ces engrais sur l'azote organique contenu dans le sol.

S'il en était autrement, si des actions indirectes ne se produisaient pas, on devrait obtenir des résultats analogues en associant le chlorure de potassium soit aux phosphates naturels, soit aux superphosphates; or, l'expérience montre que l'effet-produit est, dans tous les cas, de beaucoup inférieur à celui obtenu par le mélange précité; ce sont les scories et non d'autres engrais phosphatés qu'il convient d'associer aux sels de potasse dans ce cas particulier.

Pourquoi? Faut-il en attribuer la cause à une forme particulière de l'acide phosphorique contenu dans les scories? Doit-on l'imputer à l'énorme quantité de chaux apportée par l'engrais?

Visiblement, en ne considérant que l'effet produit sur la végétation, toutes ces actions entrent en jeu. Le phosphate des scories, plus facilement soluble que celui des phosphates naturels, agit plus vite sur les récoltes; mais il ne saurait provoquer la mobilisation des matières organiques du sol, et c'est un produit secondaire de l'engrais, la chaux libre ou carbonatée, qui détermine indirectement la nitrification.

Au reste, il est facile de comprendre comment les scories et l'engrais de potasse coopèrent ensemble à la transformation de l'azote.

Les scories de déphosphoration, habituellement répandues à l'automne, apportent au sol une forte proportion de chaux qui ne tarde pas à se carbonater.

Le chlorure de potassium, répandu après les scories, à la fin de l'hiver, se transforme grâce au carbonate de chaux, et donne du carbonate de potasse et du chlorure

de calcium, sel déliquescent facilement entraînable par les eaux : son influence sur la nitrification sera d'autant plus manifeste que dans les sols tourbeux, toujours humides, le chlorure de calcium formé est entraîné rapidement dans les couches profondes et qu'il n'exerce, de ce fait, aucune action préjudiciable au bon développement des organismes nitrifiants.

Ainsi, les scories produisent une double action : soit qu'elles agissent par l'acide phosphorique, soit qu'elles influent par la chaux libre qu'elles apportent au sol et qui permet au chlorure de potassium de revêtir une forme éminemment active sur l'humus.

Tous ces effets s'ajoutent heureusement : ils se complètent. Les scories assurent l'efficacité de l'engrais de potasse qui, à son tour, par voie indirecte, pourra contribuer puissamment à l'assimilation de l'acide phosphorique.

La matière organique, dont l'inertie est vaincue par le carbonate de potasse, réagit en effet sur le phosphate de chaux des scories : elle peut intervenir directement, grâce à l'intensité plus grande de l'*érémacausis*⁽¹⁾, ou indirectement sous forme d'humate alcalin.

Pour savoir si le chlorure de potassium produisait toujours son maximum d'effet, j'écrivis à M. Ravel et je lui demandai s'il pleuvait généralement, dans la région, après l'application des engrais ; en même temps, je faisais bien ressortir que l'avantage du mélange qu'il avait employé devait être attribué, en partie, à ce que le chlorure de potassium trouvait dans les scories suffisamment de calcaire pour se transformer et pour agir ensuite sur la nitrification comme le fait le carbonate de potasse.

(1) Il est bien manifeste que si le chlorure de potassium provoque une nitrification abondante, comme nous l'avons prouvé, il doit déterminer par contre-coup une destruction équivalente de matière organique ; il en résulte une production supplémentaire d'acide carbonique qui peut ne pas être sans influence sur l'assimilation des phosphates.

Voici, au reste, ce que M. Ravel répondit

« Les explications nouvelles que vous me fournissez, relativement à l'influence qu'exercent les sels de potasse sur la nitrification, donnent bien la raison de l'action remarquable de cet engrais dans les terres tourbeuses. Il fournit à la fois la *potasse* et l'*azote* en favorisant l'assimilation de ce dernier qui se trouve, dans nos terres, en très grande abondance.

« J'emploie habituellement les scories en automne et le chlorure de potassium en janvier et février. Entre l'emploi de ce dernier sel et le départ de la végétation, il pleut toujours, même pendant les années sèches, de telle sorte que le chlorure de calcium formé par voie de double décomposition peut s'infiltrer dans les couches inférieures et n'être pas un obstacle à la nitrification.

« Ces terrains sont, du reste, très perméables; après les plus fortes averses, on ne voit jamais l'eau rester stagnante à la surface. L'écoulement y est néanmoins assez lent pour que l'humidité s'y conserve plus longtemps que dans les autres terres; l'année dernière, malgré la sécheresse exceptionnelle, les fossés qui sillonnent notre marais tourbeux n'ont jamais été complètement desséchés. »

Si l'association des engrais potassiques et des scories de déphosphoration convient parfaitement aux sols tourbeux du Val d'Yèvre; si M. Ravel, grâce à cette pratique, a pu obtenir des résultats superbes, il ne faut pas croire qu'il en serait de même dans toutes les terres riches en humus.

C'est qu'il ne suffit pas, en effet, de mobiliser l'azote, de le rendre nitrifiable: il faut aussi tenir compte des besoins impérieux de la végétation, et incorporer au sol les principes nutritifs qui lui font défaut.

Dans les terrains pauvres en acide phosphorique et en calcaire, les scories sont d'un emploi plus avantageux, parce qu'elles apportent à la fois des phosphates et de la chaux non combinée. Ainsi, on amende et on engraisse le

sol, on le chaulé et on le phosphate du même coup; et ceci nous permet encore d'expliquer la supériorité des scories de déphosphoration sur les phosphates naturels et les superphosphates qui ne renferment ni calcaire, ni chaux vive.

LES ESSAIS DE M. MER. — Dans son exploitation de Longemer, M. E. Mer s'occupe, depuis un dizaine d'années, de la mise en valeur de quelques tourbières par l'emploi des cendres et de différents engrais minéraux. Il a reconnu, comme M. Ravel, que la chaux et la potasse employées seules sont à peu près inefficaces. Les cendres non lessivées, au contraire, produisent de bons effets quand on les applique à la dose de 1.200 à 1.500 kilos par hectare.

Les cendres employées par M. Mer contiennent pour 100 :

Chaux...	..	26
Potasse (à l'état de carbonate).	..	10
Acide phosphorique..		3

Avec une fumure de 1.500 kilos, on apporte au sol 150 kil. de potasse sous une forme très active et 45 kil. d'acide phosphorique.

Des expériences plus récentes ont montré à M. Mer que les doses d'engrais à employer restent proportionnelles à la richesse en humus. Ainsi, pour améliorer convenablement des tourbes à sphaignes (dosant 92 0/0 de matières organiques), il fallait une telle quantité de cendres que M. Mer a dû remplacer cet engrais par du fumier et du purin. Ces matières, d'ailleurs, produisent de très bons résultats.

A première vue, il semble étrange que l'emploi d'engrais organiques azotés (fumier et purin), dans des sols extrêmement riches en azote, produise de bons effets. Cette pratique, cependant, est consacrée par de nombreuses expériences : les *hortillonners* utilisent depuis longtemps des quantités considérables de fumier pour charger les *hortillons*. L'engrais de ferme, comme le purin, agissent toujours

efficacement parce qu'ils apportent les éléments nutritifs sous une forme active et la matière azotée sous un état facilement nitrifiable.

En outre, ces engrais renferment une légion de bactéries, de microbes, qui peuvent jouer un grand rôle dans la fertilisation du sol.

Il serait superflu d'insister davantage sur ce point.

La supériorité de ces matières tient essentiellement à leur grande richesse en humates, en carbonates alcalins et en acide phosphorique assimilable.

VI

La marche à suivre. — Il n'est pas facile d'établir une classification rationnelle des sols humifères. D'ordinaire, on distingue :

1° Les *terres de bruyère* qui peuvent être siliceuses ou argileuses, mais qui sont généralement à base de sable et presque dépourvues de calcaire ;

2° Les *terres demi-tourbeuses et marécageuses* qui dosent moins de 50 p. 100 de matières organiques ;

3° Les *terres tourbeuses* qui sont caractérisées par leur grande richesse en humus (50 à 90 p. 100).

Les sols de la première catégorie se forment habituellement dans des milieux secs ou peu humides ; ils n'ont pas besoin d'être assainis si l'argile ne constitue pas l'élément dominant. Dans les autres terres, au contraire, l'accumulation de l'humus a pour cause l'excès d'humidité, et l'assainissement peut devenir nécessaire.

M. Knop prend pour base de classification la richesse en humus ; il distingue alors :

Les *sols humifères* (3 à 5 p. 100 d'humus)

Les *sols humiques* (5 à 10 p. 100 d'humus)

Les *sols riches en humus* (10 à 15 p. 100 d'humus)

Les *sols excessivement riches en humus.*

A vrai dire, toutes ces distinctions ne présentent qu'un intérêt très relatif au point de vue pratique, et il vaut mieux faire entrer en ligne de compte la richesse minérale du sol. Il existe d'ailleurs une relation étroite entre la composition chimique du milieu et sa constitution mécanique.

Dans tous les cas, avant de procéder à la fertilisation rationnelle du sol, il faut se demander si on peut le faire économiquement et avantageusement. Il serait téméraire d'engager de grosses dépenses sans avoir la certitude du succès final. Tout dépend des améliorations physiques, de la facilité d'assainissement. Si le sol peut être assaini convenablement et sans trop de frais, on ne doit pas hésiter.

Abstraction faite de la question d'assainissement, le choix des procédés d'amélioration dépend essentiellement de la nature des terres et de la teneur en principes fertilisants. Les considérations économiques seules devront nous guider pour l'adoption des méthodes. Le problème, nous l'avons déjà dit, se réduit à ceci : « *Vaincre l'inertie de l'azote et parer à l'insuffisance du sol.* » Par l'association judicieuse des engrais, on peut atteindre ce double but, et voici comment :

a) *Le sol est pauvre en calcaire mais riche en potasse.* —

C'est le cas des landes humifères, des anciennes forêts et des vieilles prairies en terrain d'origine granitique. Pour rendre l'humus actif, il suffit de mobiliser la potasse. On y réussira par l'apport de la chaux ou des amendements calcaires.

Dans les sols non gypseux, on se trouvera bien de l'addition de plâtre. L'action combinée de la chaux et du plâtre donne toujours d'excellents résultats.

Ainsi, voilà trois éléments : azote, chaux et potasse, qui sont mis en œuvre du même coup. Il n'y a plus qu'à s'inquiéter de l'acide phosphorique. A cet égard, deux cas peuvent se présenter suivant que le sol est ou n'est pas

suffisamment riche en cet élément. D'une manière générale, les landes granitiques sont pauvres en phosphates¹; les superphosphates et les scories sont à recommander de préférence. L'emploi de ces matières nous permettra, en effet, de supprimer l'usage du plâtre, si nous employons des superphosphates, ou de diminuer considérablement l'apport de la chaux, si nous répandons des scories de déphosphoration tous les ans ou tous les deux ans.

b) *Le sol est pauvre en calcaire, en acide phosphorique et en potasse.* — C'est le cas des terrains tourbeux du Val d'Yèvre. Ici, l'amendement peut être abandonné. On emploiera des scories de déphosphoration et du chlorure de potassium. Si l'on redoute les sécheresses du printemps et si l'on ne répand pas l'engrais potassique à la fin de l'hiver, en février, on pourra substituer le sulfate de potasse au chlorure de potassium. Toutefois, cette substitution n'est pas économique puisque le sulfate de potassium coûte plus cher que le chlorure; on ne devra l'effectuer que si la présence du chlore nuit visiblement à la végétation en paralysant l'action des ferments et empêchant ainsi la transformation de l'azote.

c) *Le sol est riche en calcaire et pauvre en potasse active ou efficace.* — C'est le cas des terres calcaro-humifères, comme celles d'Avilly, de Jaulzy, de Brunémont, etc... Employer des engrais potassiques vers la fin de l'hiver. Si la terre est *pauvre en acide phosphorique*, l'apport des engrais phosphatés s'impose; quand la potasse est facilement attaquable, les phosphates naturels produisent de bons effets; dans le cas contraire, on pourra recourir aux superphosphates ou aux phosphates naturels associés à du plâtre.

(1) Il y a quelques exceptions, mais quand elles se présentent l'acide phosphorique se trouve à l'état de phosphate de sesquioxyde de fer ou d'aluminium. Le chaulage sera d'un bon effet puisqu'il transformera ces phosphates.

Ces considérations générales peuvent servir de base pour l'amélioration chimique des terres humifères. On aurait pu les développer davantage, mais c'eût été inutile. En fait, le point capital est la mise en activité de l'humus. Pour le reste, il n'y a aucune particularité à retenir.

Ainsi que nous l'avons dit à plusieurs reprises, les sols riches en matières organiques doivent être traités comme les autres pour tout ce qui touche à leur constitution minérale propre.

TROISIÈME PARTIE

LES CULTURES EN SOLS TOURBEUX

Considérations générales.

On sait avantageusement tirer parti des vieilles prairies défrichées, des landes humeuses riches et des sols de forêts. Seuls, les terrains marécageux et tourbeux échappent encore à la culture en bien des endroits ; et l'on conçoit parfaitement que l'incertitude du succès final ait rendu les cultivateurs parfois très hésitants.

Dans les terres où l'humification ne s'étend pas au-delà de la couche superficielle, un labour profond, un simple défoncement suffit pour mélanger la partie riche en azote avec les couches sous-jacentes dépourvues d'humus. Si les éléments minéraux abondent, la terre peut produire aussitôt, sans qu'il soit nécessaire de recourir à d'autres procédés d'amélioration ; au contraire, si le milieu est pauvre en acide phosphorique, en potasse ou en chaux, l'apport des amendements et des engrais devient indispensable. Dans tous les cas, la mise en valeur du sol ne comporte que des opérations simples et d'une pratique courante. En est-il de même pour les terres humifères humides et pauvres en principes fertilisants d'origine minérale ? Non. Ici, les améliorations doivent porter à la fois sur les propriétés physiques et sur les propriétés chimiques ; il ne suffit pas d'assainir, il faut engraisser le sol, c'est-à-dire

s'imposer une double dépense qui pourra soulever bien des hésitations.

Ce n'est pas tout encore ! Voici la terre améliorée autant qu'elle pouvait l'être : comment va-t-on la cultiver ? Quelles plantes doit-on lui confier de préférence ? Autant de questions dont l'importance capitale ne saurait nous échapper.

Le choix des cultures dépend surtout de l'état du sol et de l'ensemble de ses propriétés. Si la terre est accessible aux attelages, si les travaux y sont relativement faciles, on pourra tenter avec quelque chance de succès la culture des plantes annuelles : maïs-fourrage, betteraves, carottes, pommes de terre, choux, etc. ; dans le cas contraire, quand l'écoulement des eaux surabondantes devient difficile par suite de la configuration du sol, il faut renoncer aux cultures annuelles et rechercher si le boisement ne constituerait pas une opération assez avantageuse. La terre n'étant pas toujours submergée, il serait possible d'arriver à une solution satisfaisante, en y plantant des arbres ou des arbustes ne craignant pas l'humidité ; les végétaux ligneux, qui évaporent d'énormes quantités d'eau, détermineraient ainsi à la longue un assainissement naturel du sol.

La création de prairies naturelles, la transformation des herbages par l'emploi des engrais sont des pratiques à recommander en bien des circonstances.

Au voisinage des centres populeux, la culture maraîchère donne de bons résultats en terrain tourbeux. L'*hortillonnage* est pratiqué avec succès dans le département de la Somme, aux environs d'Amiens ; dans le Cher, près de Bourges, et en plusieurs points du Pas-de-Calais (région des Wateringues). Dans toutes ces régions, la production légumière est une grande source de richesse.

En résumé, je ne crois pas qu'il soit matériellement impossible d'utiliser les terrains tourbeux et marécageux. L'essentiel est de savoir en tirer le meilleur profit, selon les circonstances de milieu.

Dans les endroits humides, où les travaux culturaux sont difficiles et pénibles — parfois même impraticables, — la création des prairies présente de sérieux avantages. Au contraire, si le milieu est assaini convenablement, si les attelages peuvent y accéder avec facilité, il faut donner la préférence aux cultures annuelles qui sont d'un meilleur rapport.

Les essais culturaux effectués de différents côtés vont nous en fournir une preuve manifeste. Je relaterai surtout ici, avec un soin scrupuleux, les belles expériences que M. Ravel poursuit avec une inlassable énergie à la colonie agricole du val d'Yèvre.

Les essais culturaux du Val d'Yèvre.

I

SURFACE CULTIVÉE

La colonie du Val d'Yèvre possède 130 hectares de terrains humifères; sur ce nombre, 78 hectares sont en culture régulière; la surface restante a été recouverte en grande partie d'une couche de calcaire de 0,20 à 0,30 d'épaisseur et plantée en massifs de peupliers qui disparaissent depuis quelques années sous les ravages des *scolytes* et des *saperdes*.

M. Ravel a consacré une grande partie du terrain à la production herbagère; une quarantaine d'hectares seulement sont régulièrement cultivés et reçoivent la même fumure minérale que les prairies : 500 kilos de *scories de déphosphoration* et 200 kilos de *chlorure de potassium*, par hectare et par an.

La quantité d'acide phosphorique apportée par l'engrais s'élève à 70 kilogr. environ; elle peut satisfaire aux besoins des récoltes les plus exigeantes — mais on ne saurait en

e maïs est coupé en juillet et août, on sème quelquefois e *colza d'hiver*

Grâce à ce système d'assolement, qui ne comporte pas moins de 11 hectares de cultures dérobées, les fourrages verts abondent et l'entretien des animaux se trouve ainsi assuré d'avril à fin novembre :

Du 15 au 30 avril, on récolte le seigle vert, les choux-fourragers et le colza ;

Du 1^{er} mai au 15 juillet, on utilise la vesce ;

Du 16 juillet au 30 septembre, le maïs ;

Du 1^{er} octobre au 30 novembre, la moutarde et les choux.

Il serait difficile de trouver une combinaison plus avantageuse pour la succession des cultures. Et M. Ravel nous offre un précieux exemple de ce que peut un agriculteur formé à bonne école ; il convient de dire, à son honneur, qu'il a tenté de nombreux essais, et que, régisseur d'une colonie de l'Etat, il n'a rien négligé pour rendre des services à l'agriculture ; il ne s'est pas contenté de suivre la sainte routine et de se laisser vivre, il a été un novateur dans toute l'acception du mot...

Qu'il me soit permis à présent de résumer, aussi fidèlement que possible, les appréciations personnelles de M. Ravel sur chacune des cultures principales faisant partie de l'assolement.

Betteraves. — Les betteraves fourragères qui donnent les meilleurs rendements sont : la *Géante de Vauriac*, l'*Oroïde des Barres* et la *Globe jaune*. Les façons sont faites à la main. L'espacement des lignes devrait être porté à 0^m70 si les binages étaient faits à la houe à cheval.

Avant l'emploi des scories et des engrais, de potasse, le rendement était de **25.313** kilos, avec le fumier seul.

Par l'application des engrais minéraux, on a obtenu :

Années	Rendement à l'hectare. (kilos.)
1891	48.000
1892	61.800
1893	54.850
1894	54.500
1895	45.600
1896	43.100
1897	21.000
1898	32.400
1899	64.000
1900	29.000

Ainsi, les rendements moyens, de 1891 à 1895, ont été supérieurs à 55.000 kilogr. par hectare ; ils sont le double de ce qu'ils étaient auparavant.

A partir de cette période, nous constatons de grandes irrégularités ; en 1897 et en 1900, la récolte reste faible. C'est un fait général que nous retrouvons pour toutes les autres plantes ; les conditions climatiques ont été défavorables : en 1897, printemps froid, rigoureux ; en 1900, orages violents en juin et inondation des cultures.

Les racines se conservent bien en silos ; mais ceux-ci doivent avoir de faibles dimensions et être bien aérés à l'intérieur au moyen de bourrées. Ajoutons que la récolte doit se faire avant le 15 octobre, pour éviter les gelées d'automne, encore plus sensibles dans les vallées que sur les plateaux.

Pommes de terre. — Dans les sols tourbeux, la pomme de terre est cultivée en lignes espacées de 0^m70 ; les plants sont à 0^m50 d'écartement.

Le développement du feuillage, toujours très abondant, nécessite un espacement des lignes plus grand que celui qui est généralement adopté dans les autres sols.

Il est préférable de cultiver des variétés hâtives, et notamment l'Early rose, qui, plantée pendant la seconde

quinzaine de mars, peut se récolter dès les premiers jours de juillet. Le rendement dépasse souvent 20,000 kilogr. à hectare.

On a obtenu en effet :

Années	Rendement à l'hectare. (kilos).
1891	19.000
1892	26.000
1893	30.000
1894	21.000
1895	18.000

Malheureusement les tubercules, qui se conservent assez bien en terre jusqu'à la fin d'octobre, s'altèrent assez rapidement en magasin et ne doivent être récoltés qu'au fur et à mesure des besoins de la consommation. Au reste, nous ajouterons que le traitement à la bouillie bordelaise les préserve de la maladie, mais ne suffit pas à assurer leur conservation au delà d'une vingtaine de jours.

Cette culture hâtive, vendue en juillet, quand les prix sont encore assez élevés, peut donner un produit brut atteignant parfois 1.000 francs par hectare.

Carottes. — La carotte donne des résultats satisfaisants, mais la conservation de cette racine est très difficile. Elle s'altère rapidement en silos; aussi, ne cultive-t-on que l'étendue nécessaire à la consommation des mois de septembre à fin novembre. Au delà de cette date, l'altération occasionne une trop grande perte.

Avec cette plante, M. Ravel a obtenu :

Années	Rendement à l'hectare. (kilos).
1891	20.425
1892	22.600
1893	22.024
1894	25.361
1895	17.205

La moyenne de ces cinq années atteint, malgré le faible résultat de 1895, le chiffre de 21,523 kilos. Antérieurement, par l'emploi exclusif du fumier, on récoltait 19.392 kilos.

Haricots. — Le haricot réussit assez bien ; mais sa maturité est plus tardive que dans les terres sèches. Semé de bonne heure, il est exposé aux gelées printanières qui sont assez fréquentes dans les vallées ; semé tardivement, il n'est pas toujours arrivé à maturité complète au moment des gelées blanches d'automne.

M. Ravel a essayé, sans beaucoup de succès, plusieurs variétés hâtives. Le haricot *Suisse sang de boeuf*, variété assez tardive, est celui qui donne généralement les plus abondantes récoltes.

Cette culture est une des moins rémunératrices.

La moyenne de rendement, depuis 13 ans, ne dépasse pas 841 kilos, avec des extrêmes de 1.700 et de 170 kilos à l'hectare, suivant les années.

En raison même de ces variations, il serait préférable de renoncer à cette culture et d'accorder toujours la préférence aux plantes fourragères.

Avoine. — L'avoine vient très bien dans les terres humifères ; elle donne fréquemment des rendements élevés. Toutefois, il faut s'abstenir, autant que possible, de cultiver les variétés d'hiver qui pourraient souffrir de l'humidité ; on s'abstiendra également de choisir des variétés qui s'égrènent trop facilement, comme l'avoine noire de Brie, et l'on donnera la préférence à celles dont la paille est forte.

L'avoine *jaune de Flandre*, l'avoine *hâtive de Sibérie* et l'avoine *noire de Hongrie* sont à recommander. Dans les terres tourbeuses, riches en azote, l'avoine verse presque tous les ans : au *Val d'Yèvre*, on n'a jamais pu éviter cet accident fâcheux, et c'est pourquoi on a dû recourir aux variétés robustes à paille forte. Malgré tout, la vigueur excessive de la plante prédispose la tige à fléchir sous l'influence des vents et des pluies. Quand la verse survient tar-

vement, les rendements sont très élevés. L'avoine jaune de Flandre a produit, en 1895, **67 hectolitres** par hectare.

Voici, d'ailleurs, les rendements de cette céréale depuis 1894 :

Années	Rendement à l'hectare. (Hectolitres).
1894	65
1895	67
1896	69
1897	21
1898	55
1899	40
1900	26
1901	45

Les irrégularités de la récolte, en 1897 et en 1900, sont dues exclusivement aux perturbations atmosphériques dont on a parlé plus haut.

Vesce. — La vesce, cultivée comme fourrage vert, produit une abondante et excellente nourriture. On la sème moitié à l'automne, associée à l'escourgeon, et moitié au printemps, associée à l'avoine. Elle n'est jamais mélangée au seigle parce que cette céréale durcit trop vite.

Les semis de printemps sont échelonnés à huit jours de distance pour que la récolte puisse être continuée jusqu'au milieu de juillet. Le rendement moyen est de 16.000 kil. de fourrage vert par hectare.

Maïs. — Le maïs *géant de Caragua*, cultivé aussi comme fourrage vert, est la plante de prédilection des terrains humifères. Très exigeant au point de vue des matières azotées et de la fraîcheur du sol, il trouve, dans les sols tourbeux, toutes les conditions nécessaires à son développement herbacé; si on lui fournit en quantité suffisante l'acide phosphorique et la potasse, la récolte peut atteindre 80.000 kil. par hectare (fourrage vert).

Une telle récolte enlève au sol *256 kilogr. d'azote*; elle tend donc à diminuer sa richesse. M. Ravél se sert précisément de cette culture pour corriger les défauts de certaines parcelles où l'abondance excessive des matières organiques et l'acidité du sol sont nuisibles à la bonne réussite des cultures ordinaires. Après deux ou trois récoltes successives de maïs vert, les autres plantes y viennent beaucoup mieux. Le sol s'améliore ainsi, tout en produisant une abondance de fourrage.

« J'ai commencé depuis quelques années, écrit M. Ravél, le défrichement des vieilles et mauvaises prairies. « Le terrain défriché est cultivé en maïs pendant deux « années consécutives. Par suite de son développement « excessif, cette plante a l'avantage d'étouffer toute végé- « tation spontanée. Après une telle culture, le vieux gazon « est bien décomposé et les mauvaises herbes sont détrui- « tes. La terre se trouve dans les meilleures conditions « pour être transformée de nouveau en prairie. »

Le maïs est semé en lignes espacées de 0^m60; on le butte fortement pour lui permettre de résister à la violence des vents.

A titre de renseignements, voici les résultats obtenus par la culture du maïs-fourrage :

Années	Rendement à l'hectare. (kilos)
1891	68.000
1892	71.000
1893	86.000
1894	62.000
1895	69.000

Le rendement moyen a été de *71.200 kilos*. Antérieurement à 1891, il atteignait à peine *34.392 kilos*, malgré l'emploi du fumier.

Navet. — Le *navet*, semé après la vesce ou après les premières récoltes de pommes de terre, peut donner de bons rendements, mais il est bien difficile de conserver la racine en silos. A moins d'être assuré d'une consommation immédiate, on devra renoncer à cultiver cette plante.

Fèveroles. — Au sujet de cette culture, M. Ravel me communique les observations suivantes : « En 1893, nous avons cultivé 10 hectares de fèveroles à la place occupée par l'avoine. La première végétation a été très vigoureuse, mais la récolte s'est trouvée compromise par l'envahissement des pucerons qui ont causé de sérieux dégâts. Un essai fait cette année nous permet d'espérer qu'on peut mettre cette plante à l'abri des ravages des pucerons en la semant en mélange avec l'avoine. »

III

LES PRAIRIES NATURELLES.

C'est dans les régions essentiellement tourbeuses, où l'humidité et la légèreté du sol rendent impossible l'accès des attelages, que M. Ravel a créé des prairies naturelles.

Les herbages, formés avec de bonnes espèces de graminées et de légumineuses, succédaient à des plantes sarclées que l'on avait fumées au fumier de ferme. Primitivement, les prairies ne recevaient aucune fumure, et l'on voyait disparaître les bonnes herbes par l'envahissement des plantes spontanées propres au terrain. Au bout de quelques années, on n'obtenait plus qu'un fourrage de qualité médiocre et le rendement, de 1882 à 1892, n'excédait pas 1,843 kil. de foin sec par hectare.

C'est en cultivant isolément les meilleures espèces de graminées et de légumineuses, c'est en essayant différents

engrais que M. Ravel put créer de bonnes prairies. Il employait comme semences :

Fromental.....	15 kil.
Dactyle.....	15 —
Fléole.....	10 —
Trèfle ordinaire.....	8 —
Trèfle hybride.....	4 —

Un pré de 4 hectares, ensemencé d'après cette formule, et recevant annuellement 2,000 kil. de scories de déphosphoration et 1,200 kil. de chlorure de potassium, a donné les rendements suivants en foin sec de bonne qualité :

ANNÉES	RENDEMENT	
	Total en kilogr.	à l'hectare en kilogr.
1893.....	38.064	9.766
1894.....	28.952	7.233
1895.....	35.460	8.865

Soit, pendant les trois années, une moyenne de 8,623 kil. par hectare. Le rendement de 1893 est supérieur à celui des autres années ; M. Ravel attribue cette différence à la sécheresse et aux fortes chaleurs du printemps qui permirent de faire *trois coupes*, la première ayant été avancée de 15 jours sur la date ordinaire. Habituellement, on ne fauche que deux fois (première coupe et regain) dans la première quinzaine de juin et dans la seconde quinzaine de septembre.

A première vue, il semble bizarre que pendant une année de sécheresse excessive le rendement ait été supérieur à celui des années humides. Mais on ne doit pas oublier que les sols humifères conservent l'eau plus facilement que les autres, en raison de l'abondance de la matière organique ; il s'ensuit, naturellement, que la dessiccation n'est pas à redouter. Les chaleurs précoces, prématurées, ont eu pour effet d'accélérer le départ de la végétation et de rendre possible une coupe supplémentaire.

La formule d'ensemencement des prairies, telle que la donne M. Ravel, ne saurait convenir évidemment à toutes

terres humifères. Ces sols, en effet, tout en ayant un caractère commun, ne se ressemblent pas; leur constitution générale peut différer sensiblement, et c'est au cultivateur qu'il appartient, par des essais préliminaires, de déterminer quelles sont les plantes, graminées et légumineuses, qui conviendraient le mieux. Ce choix, on le conçoit aisément, est d'être de la plus haute importance, surtout si l'on vise le maximum de rendement; s'il n'était pas conforme à la nature du sol, à ses aptitudes, les espèces qui ne conviendraient pas disparaîtraient rapidement pour faire place à de mauvaises herbes qui donnent toujours un fourrage grossier et de faible valeur alimentaire.

Il est à remarquer, en outre, que chaque nature de terrain, sous un même climat, produit spontanément une flore déterminée. Dès qu'on fournit au sol une fumure convenablement appropriée, la végétation se modifie; de nouvelles espèces plus exigeantes quant à l'alimentation apparaissent, et l'on obtient ainsi un fourrage plus abondant et de meilleure qualité.

Il s'agit donc de déterminer une fois pour toutes, pour un sol donné, quelles sont parmi les meilleures espèces fourragères celles qui pourront acquérir le développement maximum. Ce problème, fort heureusement, n'est pas insoluble; mais on ne peut le résoudre que par l'expérience. Au lieu de copier une formule quelconque sur des livres spéciaux ou des catalogues de marchands de graines, il y a tout intérêt à ensemercer sur une petite parcelle représentant la composition moyenne du sol, 250 ou 500 gr. de différentes plantes pour voir celles qui conviennent le mieux au milieu considéré.

On essaiera de préférence le *paturin commun*, le *paturin des prés*, le *vulpin*, la *fléole*, le *dactyle pelotonné*, la *fétuque*, le *ray-grass vivace*, le *fromental*, l'*avoine jaunâtre*, et les différents *trèfles* (ordinaire, hybride et blanc).

En ensemençant plusieurs parcelles semblables et faisant varier la composition de la fumure, on pourra du même

coup se rendre compte des engrais qui conviennent le mieux à la terre.

Grâce à l'organisation de ce petit champ d'expériences, il sera facile, après quelques années, de choisir les quatre ou cinq graminées les plus résistantes. Ce sont celles-la qui entreront, avec les trèfles, dans la composition de la prairie. M. Ravel estime qu'il faut employer, par hectare, 40 kilos de semence totale de graminées et 12 kilogr. des trois espèces de trèfle. Au reste, la quantité de semence, pour chaque plante, doit être proportionnelle au développement du végétal.

Les anciennes prairies créées avant l'emploi des scories et du chlorure de potassium ont une flore bien différente des autres : les mauvaises plantes y abondent et le fourrage obtenu est de moindre qualité. Par l'emploi généralisé de la fumure, la composition botanique de l'herbage change considérablement⁽¹⁾ et le rendement s'accroît dans une proportion très sensible. Pour l'ensemble des prairies, sur une étendue de 28 hectares, la quantité de foin sec s'est élevée par hectare :

à 5,960 kil. en 1893.
à 5,569 kil. en 1894.
à 6,757 kil. en 1895.

(1) L'influence des fumures sur la modification de la flore des prairies a été mise en évidence par MM. Lawes et Gilbert. Des expériences plus récentes, effectuées par M. le Dr Voigt, sont encore plus concluantes. Voici la proportion de *graminées* et de *légumineuses* contenues dans le foin d'un pré tourbeux diversement fumé :

	Légumineuses (pour 100)	Graminées (pour 100)
Sans engrais.....	5,28	57,82
Kaïnite (1,200 kil.).....	5,25	60,90
Scories (600 kil.).....	5,91	42,93
Kaïnite et scories (mêmes doses)...	35,63	37,54

M. le Dr Sommerville, à Northumberland, obtient des résultats à peu près semblables. L'association des engrais potassiques et des scories favorise donc au plus haut degré le développement des légumineuses. Le nitrate de soude, au contraire, agit essentiellement sur la végétation des graminées. On peut ainsi, par l'emploi judicieux des engrais, changer dans un sens ou dans l'autre la composition botanique de la prairie.

a moyenne générale de ces trois années, comparée au rendement obtenu antérieurement à 1892, accuse donc une augmentation de 4,252 kil. par hectare, ce qui représente évaluant le fourrage à 5 fr. le quintal métrique, une plus-value de 212 fr. 60 pour une dépense d'engrais de 67 fr.

Il n'est pas besoin de faire ressortir la plus grande valeur nutritive des fourrages provenant des prairies fumées avec scories et au chlorure de potassium.

Depuis 1896, M. Ravel a créé de nouvelles prairies; elles ont donné, à partir de 1897, de très beaux résultats :

Années	Rendement à l'hectare. (Foin sec)
—	—
1897	7.654 kilog.
1898	8.236 —
1899	6.563 —
1900	7.219 —
1901	5.220 —

Pendant cette même période de temps, le rendement moyen de l'ensemble des prairies anciennes et nouvelles ne dépasse 5.860 kilog.

Années	Rendement à l'hectare. (Foin sec).
—	—
1897	5.328 kilog.
1898	6.275 —
1899	5.796 —
1900	6.154 —
1901	4.875 —

On voit tout de suite, en comparant ces rendements, que les anciennes prairies donnent moins de fourrage; les rendements moyens sont en effet plus faibles pour l'ensemble des prés que pour les nouvelles prairies. Comme le fait observer judicieusement M. Ravel, les herbages anciennement créés sont en grande partie envahis par les mauvaises plantes; et si l'emploi des scories et du chlorure de potassium favorise visiblement la végétation des bonnes espèces,

il ne détruit malheureusement pas les mauvaises. Il vaut donc infiniment mieux créer de nouvelles prairies plutôt que de chercher à rajeunir ou à raccommoder celles qui sont trop vieilles. Avec de bons soins d'entretien, on évitera cependant une altération trop rapide de l'herbage. Il faut arracher les mauvaises herbes pendant l'hiver, curer les fossés d'assainissement, *herser* et *rouler* la prairie avant le départ de la végétation. Ces façons culturales sont de la plus grande utilité : la herse gratte la terre et rend plus facile l'aération de la surface ; le rouleau tasse les mottes soulevées par la gelée, donne plus de consistance au sol et favorise le tallage des touffes de graminées.

Au Val d'Yèvre, les travaux de hersage et de roulage s'effectuent à la main, au moyen de rateaux ou de herSES et de rouleaux légers ; il serait évidemment plus économique d'employer les attelages si le gazon offrait assez de résistance sous le pied des animaux.

IV

SUR LE DÉVELOPPEMENT DU TRÈFLE

Les légumineuses fourragères jouent un grand rôle dans la création des prairies naturelles. Malheureusement ces végétaux ont de telles exigences que certains sols humifères ne leur conviennent pas. C'est ainsi que, dans les terrains acides ou trop chargés d'humus, la culture du trèfle laisse beaucoup à désirer. Dans les sols humifères du *Val d'Yèvre*, cette plante ne se développe que lorsqu'on emploie des engrais potassiques. Avec les engrais phosphatés seuls et la chaux, on a beau en semer, pas un pied ne pousse. En employant la fumure aux scories et au chlorure de potassium, il se développe abondamment pendant les premières années, mais il est étouffé ensuite par la végétation excessive des graminées fourragères.

On aurait tort de croire que l'insuccès de la culture du trèfle dépend essentiellement de l'abondance des matières

organiques. Si les terres humifères se montrent parfois réfractaires au bon développement des légumineuses, il faut en attribuer la cause :

- 1° Au défaut de potasse active ;
- 2° A l'insuffisance de la production des humates ;
- 3° A l'acidité du sol ;
- 4° A l'absence des bactéries fixatrices d'azote.

Etudions successivement ces différentes causes.

Les légumineuses de nos prairies ont-elles de grandes exigences en potasse ? A première vue, il semble que le non développement du trèfle dans les sols tourbeux doit être attribué à l'insuffisance des éléments minéraux.

M. Ravel est très affirmatif sur ce point.

« Il n'y avait pas autrefois un pied de trèfle, me dit-il, dans toutes les prairies du Val-d'Yèvre, en dehors des bordures des chemins. J'en avais semé sur toutes les parcelles du champ d'expériences, mais il ne s'est développé que là où j'avais répandu du chlorure de potassium. Le mélange des deux engrais (scories et chlorure) convient mieux. »

Certes, voilà une question qui n'est pas sans intérêt. Comment l'interpréter ? En 1894, dans une étude sur les matières fertilisantes propres aux sols tourbeux, je montrai clairement la nécessité des humates pour assurer le développement des légumineuses de nos prairies.

Pour que la culture du trèfle réussisse bien, disais-je, il faut que le sol soit suffisamment pourvu de matières organiques. La récolte s'accroît notablement quand on lui donne de la matière noire du fumier à la place d'engrais chimiques. C'est une constatation heureuse qui ne sera jamais trop vulgarisée ; l'expérience de M. Ravel en est une confirmation des plus frappantes. Bien que les terres qu'il cultive soient fortement pourvues de matières organiques, le trèfle n'y réussit pas si l'on n'ajoute au sol des engrais potassiques et principalement du chlorure de

potassium. Avec l'engrais phosphaté seul, le développement de cette plante ne se manifeste point.

Ceci nous prouve nettement qu'il ne suffit pas qu'une terre soit bien pourvue en matières humiques pour que les légumineuses y prospèrent, il faut encore que ces substances ne soient pas immobilisées et qu'il existe un certain équilibre entre les éléments fertilisants.

Cet équilibre est établi, dans ce cas, quand on mélange les scories et le chlorure de potassium ; il se fait alors du carbonate de potasse qui exerce sur l'humus une action d'autant plus manifeste qu'il y a dans le sol une proportion d'argile trop faible pour le retenir ; ce carbonate de potasse dissout l'humus, fait de la matière noire du fumier de l'humate de potasse qui est, d'après M. Dehérain, l'aliment par excellence de la plupart des légumineuses.

Les composés organiques du sol et du fumier, quand ils revêtent une certaine forme, peuvent exercer une influence heureuse sur la végétation des légumineuses. C'est ce qui ressort manifestement des expériences effectuées par M. Dehérain sur les exigences comparées du trèfle et du ray-grass ; la matière noire du fumier, à richesse égale en principes fertilisants, donne de bien meilleurs résultats que les engrais chimiques pour la culture du trèfle.

J'ai fait moi-même, en 1896 et en 1897, quelques essais intéressants. Après avoir montré que les humates alcalins sont dialysables⁽¹⁾, j'ai étudié leur absorption directe par les légumineuses. Une touffe de trèfle rampant, bien développé et enraciné dans l'eau, fut cultivée pendant plusieurs mois dans une solution d'humate de potasse contenant par litre :

	grammes
Matière sèche..... ..	3,50
Cendres..... ..	1,70
Matière organique.. ..	1,80
Azote organique.... ..	0,042

(1) Sur la dialyse des humates alcalins (C. R. de l'Académie des sciences tome CXXIV, p. 105).

Le 12 octobre, les plantes pesaient exactement 105 gr. ; deux mois après, elles pesaient 112 gr. 50, soit un gain de 7 gr. 50. Comme on le voit, le développement ne fut pas bien considérable; mais il ne faut pas négliger de dire que l'expérience a été faite en fin de saison. La solution nutritive analysée de nouveau, le 12 novembre, dosait :

	grammes
Matière sèche.	2,50
Cendres...	0,90
Matière organique.....	1,60
Azote organique....	0,038

Pendant cette période, ce sont les matières minérales qui ont disparu le plus rapidement; les différences sont relativement faibles pour la matière organique et l'azote (10 p. 100 environ et 40 p. 100 pour les cendres).

Le 12 décembre, l'analyse accuse une diminution plus sensible de la matière organique. On trouve, en effet :

	grammes.
Matière sèche.	1,70
Cendres	0,73
Matière organique.	0,97
Azote	0,028

A première vue, quelques faits importants se dégagent de cet essai. Il semble que lorsque la fonction chlorophyllienne est encore active, — tant que la feuille fabrique de la matière organique aux dépens de l'acide carbonique de l'air — la racine s'attaque surtout aux éléments minéraux. Du 12 octobre au 12 novembre, la proportion de cendres contenue dans la solution tombe de 1,7 à 0,9. Au contraire, quand la végétation se ralentit, l'assimilation du carbone étant moins intense, l'absorption des matières organiques augmente considérablement. Comparons ces résultats :

1 ^{re} PÉRIODE	}	Matière organique assimilée.	0,20
		Matières minérales absorbées...	0,80

Rapport : **0,25**

2 ^e PÉRIODE	{	Matière organique assimilée...	0,63
		Matières minérales absorbées..	0,17

Rapport : **3,7**

On remarque, d'autre part, que l'assimilation de l'azote croît avec l'absorption de la matière organique, ce qui montre bien que la *matière noire* est utilisée directement par la plante.

Cette expérience ne laisse subsister aucun doute sur l'influence des humates dans le développement du trèfle ; et il n'y a rien d'étonnant si les légumineuses ne poussent pas convenablement dans les sols où l'humus revêt toujours une forme passive.

L'acidité du sol est-elle un obstacle à la culture du trèfle ? Les expériences récentes de MM. Dehérain et Demoussy nous autorisent à le supposer. Dans une terre de Bretagne, dépourvue de chaux, l'addition du calcaire a produit d'excellents résultats. Avec la terre de bruyère, il faut apporter des bactéries.....

On sait que des microbes fixateurs d'azote vivent en symbiose sur le trèfle. Dans les terrains pauvres en bactéries, les légumineuses végètent mal ; ce fait a été mis en évidence par des expériences multiples. J'ai essayé, il y a quelques années, de faire pousser différentes variétés de trèfles sur le sol tourbeux du Val d'Yèvre. J'ai constaté que le trèfle hybride se développait normalement dans cette terre après addition de carbonate de potasse : avec le trèfle blanc, je n'ai jamais obtenu de bons résultats, même par l'emploi des engrais. Pour réussir, j'ai dû ajouter au sol de la délayure de terre. Il semble donc que les variétés de trèfle ne sont pas également sensibles aux mêmes microbes, puisque certains milieux favorables au développement du trèfle hybride sont impropres à la végétation du trèfle blanc, tant qu'on n'y a pas inoculé le microbe spécifique.

Dans tous les cas, pour les sols qui nous intéressent, les

engrais potassiques sont indispensables au développement des légumineuses. L'inoculation n'est réellement nécessaire que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles et seulement pour certaines variétés de trèfle.

Expériences diverses

I

Si les expériences effectuées à la colonie agricole du *Val d'Yèvre* méritaient, en raison de leur intérêt, de fixer plus longuement notre attention, celles que nous allons relater ne sont pas sans importance.

Dans les environs de Châteauroux, au domaine de *Bras-sieux*, appartenant à M. Balzan, on a tenté de mettre en valeur des sols humifères, dits « *prés servins* ». Ces *prés* sont moins réfractaires que les sols tourbeux proprement dits.

Ayant habité le département de l'Indre pendant une année, nous avons étudié un certain nombre de vieilles prairies très humifères. Elles nitrifient aisément et avec activité par l'emploi des engrais potassiques qui améliorent le sol d'une façon sensible. Malheureusement, les eaux de la rivière sont à fleur de terre, les inondations fréquentes, et il n'est pas rare que les vallées soient submergées presque tous les ans pendant plusieurs semaines. Les cultures d'hiver deviennent impraticables dans de pareilles conditions.

Tous ces terrains sont riches en calcaire ; l'enrichissement en humus a eu pour cause le maintien prolongé de la prairie. Il y a, en effet, dans ces parages, des herbages séculaires, où les joncacées et les cypéracées ont élu domicile, qu'il serait très utile de soumettre à la culture ordinaire. Les plantes sarclées et les plantes fourragères y réussiraient à merveille.

A *Brassioux*, d'après les renseignements que l'on m'a fournis, la richesse du sol en azote varie, dans les régions humifères, de 5 à 14 millièmes. On y dose, d'autre part, de 11 à 50 p. 100 de calcaire.

Dans la saison sèche, à partir du mois de mai, les eaux se retirent; la partie supérieure du sol devient pulvérulente, mais la fraîcheur se maintient dans la couche sous-jacente à 0,10 de profondeur environ.

Une pièce de terre d'une étendue de 4 hectares, labourée profondément (0,35) en juillet-août, a été soumise à la culture le printemps suivant après avoir reçu une fumure minérale comprenant (par hectare) :

800 kilogr. de scories de déphosphoration
et 100 kilogr. de chlorure de potassium.

On y a cultivé des *betteraves à sucre* (2 hectares), du *maïs-fourrage* (1 hectare), des *choux à vaches* (50 ares), des *haricots* et du *sarrasin* (20 ares).

Les résultats, m'écrit-on, ont été extrêmement variables. Les *betteraves à sucre*, semées en mai, levèrent promptement; mais, après le démariage, les plantes jaunirent et la végétation sembla s'arrêter. Il fut même sérieusement question alors de retourner le champ. Vers la fin du mois de juin, tout ce que les pucerons et autres parasites n'avaient pas détruit sembla renaître : la végétation reprit activement, le feuillage devint vert foncé, et au 15 octobre on récoltait à l'hectare, malgré les manques, 25.000 kilogrammes de *betteraves à sucre* donnant 7 à 7,5 de densité.

Quelques places cependant ont toujours présenté des différences notables. Dans les unes, la végétation était exubérante : feuilles abondantes, racines pesant 1.500 à 2 000 grammes et plus ; dans les autres, la plante n'avait pris que peu de développement et, quoique espacées, les racines ne dépassaient pas 300 à 400 grammes.

A titre d'essai, quelques rangs avaient reçu en juin du nitrate de soude appliqué en couverture (à raison de

100 kilogrammes à l'hectare). La végétation de ces rangs était certainement beaucoup plus active et les racines accusaient des dimensions plus considérables.

Le développement des *choux* fut extrêmement irrégulier; de deux plants voisins, l'un atteignait 1 mètre de haut, tandis que l'autre restait stationnaire, sans que rien dans l'aspect du sol permit d'expliquer cette différence.

Le *maïs* leva bien; néanmoins, au bout d'un mois, la plante jaunissait partout, sauf dans les endroits où des ados de fossés avaient été écartés et formaient une surélévation de quelques centimètres (0,05 à 0,15). Dans ces parties seulement, la tige atteignit 1^m50 de hauteur au 15 septembre.

Le *sarrasin* s'est comporté comme le maïs.

Les *haricots* n'ont rien donné.

Les observations de mon correspondant occasionnel excitèrent ma curiosité et éveillèrent mon attention. Je ne m'expliquai pas très bien les inégalités observées dans le développement des plantes de même espèce, et je me trouvais fort embarrassé pour répondre tout de suite aux questions qui m'étaient posées.

A quelles causes fallait-il attribuer l'arrêt de la végétation? Pourquoi des jeunes plantes souffraient-elles subitement après une levée régulière et hâtive? A la rigueur, on comprendrait que le chlorure de potassium paralysât la jeune plante quelque temps après la germination; mais tel n'est pas le cas quand le végétal est pourvu de ses feuilles et qu'il peut vivre par lui-même.

Que s'était-il donc passé? Serait-ce l'humidité, le changement de milieu qui paralyserait ainsi le développement de la racine? L'alimentation serait-elle insuffisante à un moment donné? En réalité, les deux causes peuvent influencer, mais elles agissent très inégalement.

Dans la culture du maïs, par exemple, la surélévation du sol a pu déterminer, le long des fossés, un développement plus considérable de la plante; il semblerait donc

qu'en abaissant le plan d'eau — même par un drainage à ciel ouvert — on pourrait obtenir de bonnes récoltes, comme au *Val-d'Yèvre*. C'est une expérience que j'indique aux intéressés; on pourrait la réaliser sur quelques parcelles en creusant davantage les fossés ou en les multipliant si cela est nécessaire.

Les bons effets du nitrate de soude sur les betteraves à sucre témoignent d'une nitrification imparfaite et discontinue. J'ai établi expérimentalement l'influence pernicieuse des chlorures sur les ferments nitriques, et il se peut que l'entraînement tardif du chlore apporté par l'engrais paralyse momentanément la nitrification. Dans ce cas, il faudrait substituer le sulfate de potasse au chlorure de potassium. Encore une expérience à poursuivre en essayant d'accroître les doses d'engrais.

L'époque de l'épandage et le caprice des saisons ont aussi leur influence. Avec le sulfate de potasse, les *aléas*, sont moins à redouter.

II

Dans la région des Hautes Vosges, M. E. Mer, professeur à l'école forestière, a fait aussi quelques essais intéressants sur la culture des prairies en sols tourbeux. Dès le début, il employa des phosphates de chaux fossiles, des phosphates précipités, des scories, de la chaux éteinte, de la chaux carbonatée, du chlorure de potassium, du sulfate de potasse, des cendres non lessivées et des charrées pour améliorer les prés.

A l'exception des cendres, toutes les autres substances employées isolément ne donnèrent pas de résultats appréciables. M. Mer explique ces succès en s'appuyant sur la pauvreté du sol en potasse et en chaux.

C'est donc aux cendres non lessivées qu'il faut, selon lui, accorder la préférence; elles ont produit partout de bons effets.

On répand cet engrais, au printemps, par un temps calme et légèrement pluvieux, à la dose de 1.200 kilogrammes par hectare ; la fumure coûte environ 70 francs, et le rendement se trouve accru, en moyenne, de 2.000 kilos.

Les expériences effectuées sur des tourbières ne sont pas moins concluantes. En répandant de fortes doses de scories de déphosphoration (2.000 à 4.000 kilogrammes), les graminées atteignirent des dimensions sensiblement supérieures à celles des mêmes plantes dans les parcelles témoins. Ce qui les distingua surtout, ajoute M. Mer, c'est qu'elles fleurirent et fructifièrent. De nouvelles espèces : *flouve* et *houlique laineuse*, firent leur apparition ; mais aucun pied de trèfle ne se développa.

Quelques points furent écobués et ensemencés avec un mélange de trèfle et de fléole ; une amélioration sensible se produisit. Sur les emplacements des foyers, la végétation était plus belle que partout ailleurs. L'écobuage peut donc rendre quelques services pour l'amélioration de certaines tourbières.

Enhardi par ces résultats, M. E. Mer résolut de mettre en valeur une tourbière voisine du lac de Longemer. Après avoir effectué quelques travaux d'assainissement, il répandit 2.000 kilogrammes de cendres par hectare ; depuis cette époque, en employant la fumure habituelle (1.200 kilogrammes), on obtient des récoltes d'autant plus belles que la saison végétative est plus chaude et plus sèche. En 1893, le rendement fut magnifique.

*
* * *

On voit, par ces différents exemples, combien l'influence des engrais de potasse et des scories de déphosphoration se fait sentir dans les prairies tourbeuses. Soit qu'on emploie les cendres vierges, soit qu'on accorde la préférence

au mélange *scories et chlorure de potassium*, les résultats obtenus sont du même ordre.

Les prés tourbeux peuvent être transformés ; il y a tout intérêt à les soumettre au régime ordinaire des prairies, au lieu de les abandonner, comme de mauvais herbages, au caprice de la nature.

Par des fumures appropriées, les laiches, les carex, les juncs et toutes les plantes grossières qui envahissent les régions humides des tourbières disparaîtront pour faire place aux bonnes graminées. La culture y gagnera beaucoup.

Mais il ne suffit pas d'améliorer les herbages existants, il faut essayer de créer de toutes pièces de nouvelles prairies, comme on l'a fait au *Val-d'Yèvre*. Cette pratique mérite d'être suivie dans les endroits trop humides où les autres cultures sont à peu près impraticables par suite de la difficulté des transports.

La culture maraîchère.

Quand les marais tourbeux sont situés au voisinage de quelque grande ville, on peut les consacrer avantageusement à la culture maraîchère. Dans la Somme, aux alentours d'Amiens, et dans le Cher, aux environs de Bourges, on a créé de véritables jardins sur les anciennes tourbières. Rien de plus curieux à voir que ces vastes potagers sillonnés de nombreux canaux et formant parfois de petites îles rectangulaires et symétriquement disposées !

Près d'Amiens, ces jardins, appelés *aires* ou *hortillons*, occupent aujourd'hui plus de 300 hectares de superficie et valent plusieurs millions de francs. Les *rieux* qui les séparent déversent leurs eaux dans la Somme et permettent aux *hortillonners* de transporter les légumes sur des barques jusqu'au marché de la ville.

La terre des hortillons, franchement tourbeuse, dose

environ un centième d'azote. Malgré l'excessive richesse du sol, les maraîchers emploient d'énormes quantités de fumier, et l'on évalue à 1.000 francs le prix de la fumure pour un hectare. — Cette dépense est renouvelée tous les ans.

On pratique une culture très intensive.

La première année, après un labour et une copieuse fumure, on sème pêle-mêle, à la volée, au mois de février, des radis, des salades, des oignons, des poireaux et des carottes. On récolte les radis en mai, puis les salades; les carottes sont récoltées en juin et juillet, les oignons et les poireaux en août. La terre est ensuite labourée et fumée; on y plante des salades et des choux qui seront vendus en hiver.

La deuxième année, on donne un labour et une fumure moyenne; on redresse les rigoles et l'on rabat le talus des hortillons. On sème ensuite des pois, par routes, à 2 mètres de distance. Entre les lignes, on plante trois rangées de pommes de terre. Les pois sont cueillis pendant la dernière quinzaine de juin, les pommes de terre en août et septembre. Quand la récolte des pois est faite, on plante des choux qui seront arrachés en décembre et janvier. A la place des pommes de terre, on repique des laitues ou des chicorées que l'on vendra en octobre.

La troisième année, après avoir travaillé et fumé le sol, on y sème en mélange des radis et des salades, puis on plante des oseilletons d'artichauts. Les artichauts poussent avec vigueur dans les terrains tourbeux; en août et septembre on fait la cueillette. Quand ils ont fini de donner, on les arrache et on repique à leur place des chicorées qui sont récoltées en janvier et février.

Ce genre de culture donne d'excellents résultats. D'après M. Rattel, le produit brut d'un hortillon atteindrait 2.000 fr. par hectare, et le bénéfice réalisé s'élèverait à près de 800 francs.

On ne saurait trop encourager la pratique de l'hortillonnage. A l'heure actuelle, grâce à la facilité des moyens

de communication et de transport, on pourrait encore transformer en jardins très productifs de vastes étendues de tourbières. Par l'emploi rationnel des engrais potassiques et des scories, il serait sans doute possible de se passer de fumier, au moins partiellement, et l'on réaliserait ainsi une économie notable sur le prix des fumures. Il appartient aux intéressés de faire des essais en ce sens.

Personnellement, en nous basant sur les résultats obtenus dans la grande culture, nous croyons qu'il y aurait tout intérêt à utiliser les engrais chimiques. Une fumure de 1,000 francs par hectare nous paraît excessive, et nous avons l'ardente conviction qu'on pourrait le réduire à quelques centaines de francs en limitant ou en supprimant l'emploi du fumier dans les sols tourbeux.

Au reste, l'usage des engrais commerciaux en horticulture se généralise de plus en plus.

CONCLUSIONS

Nous avons insisté longuement, dans le cours de cet ouvrage, sur la possibilité de mettre en valeur les sols humifères. On ne nous accusera pas d'avoir fait un travail de compilation. Depuis 1893, époque à laquelle remontent nos premières publications, nous n'avons cessé d'étudier la question des terrains tourbeux.

Au laboratoire, nous avons résolu le grand problème de la mobilisation de l'humus par l'emploi des sels de potasse ; nous avons montré le rôle considérable qu'exercent, à différents titres, les matières organiques du sol et du fumier. C'est le côté théorique de la question ; il est un peu notre œuvre personnelle.

Mais il n'eut pas suffi de relater exclusivement les recherches du chimiste ; il fallait trouver une sanction pratique. Les travaux de laboratoire passent souvent inaperçus, surtout quand ils émanent de jeunes expérimentateurs encore sans autorité ; l'universalité agricole ne les apprécie qu'autant qu'ils sont confirmés par des expériences culturales. C'est là sans doute une bien bonne chose, et nous sommes de plus en plus convaincu que cette nécessité de contrôle reste le véritable critérium des études agronomiques.

Et puis, il faut compter avec le temps, ce facteur puissant qui a raison de tout, même de la routine. Aujourd'hui, un coin du voile se soulève ; nos idées sur la transformation des matières humiques naturelles se sont considérablement modifiées, et telle de nos déductions qui pouvait sembler exagérée se trouve confirmée par des

essais de grande culture. Le rôle de la potasse dans la mobilisation de l'humus se précise de plus en plus, et nos recherches, ainsi que celles de M. Ravel, n'y auront pas peu contribué.

Nous aurions pu multiplier les exemples, citer d'autres essais non moins affirmatifs qui montrent bien l'action heureuse des engrais potassiques et des scories dans la fertilisation des terres chargées d'humus ; nous avons préféré limiter notre étude en relatant seulement les faits principaux. Les expériences du Val d'Yèvre ont été conduites avec beaucoup de méthode, par un agriculteur habile, et il était juste de leur accorder une place prépondérante dans cet ouvrage. Nous l'avons fait.

Les résultats obtenus en d'autres endroits n'en sont pas moins dignes d'intérêt pour cela. Ils ont fortifié notre conviction. Nous pensons que toutes les terres humifères peuvent être améliorées et rendues à la culture. Et le jour n'est pas éloigné, du moins nous l'espérons, où ces sols improductifs seront exploités avec profit.

Comme le dit avec juste raison M. E. Mer : « Les tourbières, les marécages, si nombreux encore en France, et qu'on regardait comme ayant une valeur presque nulle, — parce qu'on ne savait pas les rendre économiquement productifs, — doivent être, au contraire, recherchés à cause de la grande quantité de matières organiques qu'ils renferment. »

C'est aussi notre avis.

Au Val-d'Yèvre, à Longemer, à Brassioux, des cultivateurs habiles ont tranché la question au point de vue pratique. Puisse leur exemple ne pas être perdu ! Et puisse aussi notre modeste travail décider ceux qui hésitent encore !

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- H. HETIER. — *Utilisation agricole des tourbes françaises en agriculture.* (Annales de l'Institut agronomique, n° 12).
- RAVEL. — *Les cultures en terrains tourbeux.* (Journal de l'Agriculture, tome I, 1894).
- P.-P. DEHÉRAIN. — *Traité de Chimie agricole.* (Librairie Masson).
Annales agronomiques. (Masson, éditeur).
- E. MER. — *Action des sels de chaux et de potasse sur la végétation des prairies.* (Ann. Agronom., juin 1895).
- E. WOLNY. — *La décomposition des matières organiques.* (Annales de la Science agronomique, 1898-1899-1900).
- J. DUMONT. — *Les matières fertilisantes dans les sols tourbeux.* (Journal de l'Agriculture, tome II, 1894).
L'amélioration et la culture des terrains humifères. (Bulletin de la Société d'agriculture de l'Indre, juin 1895).
*Sur la nitrification des terres de prairie*¹ (C. R. de l'Académie des sciences, tome CXVII, page 670).
*Influence des sels de potassium sur la nitrification*¹. (C. R. de l'Académie, tome CXVIII, page 604).
*De l'influence des chlorures sur la nitrification*¹. (C. R. de l'Académie, tome CXIX, page 98).
*Des moyens de hâter la nitrification des substances azotées*¹. (Congrès horticole de 1894).
Sur l'amélioration des terres humifères. (C. R. de l'Académie, tome CXXV).
Sur la dialyse des humates alcalins. (C. R. de l'Académie, tome CXXIV, page 1051).
Absorption du phosphate monocalcique par la terre arable et l'humus. (C. R. de l'Académie, tome CXXXII, page 435).

(1) Ces travaux ont été effectués en collaboration avec M. J. Crochetelle.

- Les causes d'infécondité des sols tourbeux.* (C. R. de l'Académie, tome CXXXIV).
- Action des carbonates alcalins sur les matières humiques du sol végétal* (C. R. de l'Académie, tome CXXXV).
- L'humus, son rôle dans la fertilité du sol et la nutrition des plantes.* (P. A., 1901).
- Sur l'Assimilation des phosphates rétrogradés.* (Progrès agricole, 1900).
- Sur la stérilité des terres humifères.* (Agriculture nouvelle et Progrès Agricole, 1900).
- Assimilation des humates par le trèfle.* (Progrès agricole, 1901).
- P. DE GASPARIN. — *Cours d'agriculture.* (Librairie agricole).
- M. BERTHELOT. — *Chimie végétale et agricole, tomes I et IV.* (Masson, éditeur).
- ANDRÉ. — *Sur la constitution des matières humiques naturelles.* (Bulletin de la Société chimique, tome XXI, p. 407).
- L. GRANDEAU. — *Annales de la Station agronomique de l'Est* (1872).
- P. KOSYTCHEFF. — *Les terres noires de Russie.* (Ann. Agronomiques, tome XVII).
- P -E. MÜLLER. — *Les formes naturelles d'humus.*

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction.....	5
Les sols humifères. — Généralités.....	9

PREMIÈRE PARTIE

Etude générale du sol.

<i>L'humification et l'enrichissement du sol en azote.....</i>	13
L'accumulation de l'humus.....	13
Enrichissement en azote.....	15
La prairie enrichit le sol.....	16
<i>La composition du sol.....</i>	19
Caractères généraux.....	19
Les prairies humeuses.....	21
Sols des forêts.....	24
Terres de bruyères.....	25
Les sols tourbeux.....	26
<i>Propriétés des sols humiques.....</i>	29
Propriétés physiques.....	29
L'acidité du sol.....	30
Le pouvoir absorbant.....	33
Absorption de l'acide phosphorique.....	34
<i>La stérilité des terres humifères ..</i>	39
Le défaut de nitrification..	39
Nitrification des sels ammoniacaux.....	41
Les causes d'infécondité.....	43
Le manque de potasse..	44
La matière azotée de la tourbe.....	47

DEUXIÈME PARTIE

La Fertilisation du sol.

	Pages
<i>Le problème.....</i>	5
Son caractère général..	51
Les données.....	52
Ce que dit l'expérience.....	54
L'interprétation des résultats.....	57
<i>Les agents de mobilisation...</i>	59
La potasse.....	59
Le carbonate de potasse...	63
Le carbonate de soude.....	66
La chaux.....	67
Conclusions.....	68
<i>Les sels de potasse et la nitrification.</i>	70
Carbonate de potasse..	70
Sulfate de potasse... ..	74
Chlorure de potassium... ..	79
Cendres non lessivées.....	81
<i>Les amendements calcaires</i>	82
Le rôle du calcaire..	82
Le chaulage est-il nécessaire ?.....	84
Les sols qu'il ne faut pas chauler.....	85
Les sols qu'il faut chauler.....	87
Association de la chaux et du plâtre..	87
<i>Les engrais phosphatés....</i>	90
Phosphates et superphosphates.....	90
L'équivalence d'action.....	94
Action dissolvante de la tourbe.....	96
Action dissolvante du fumier.....	97
Action dissolvante des humates alcalins.....	99
Absorption des phosphates solubles.	101
<i>Les procédés d'amélioration</i>	104
Considérations générales.....	104
Assainissement.....	106

TABLE DES MATIÈRES 159

	Pages
Amendement et ensablement des tourbières..	109
Ecobuage des landes et des tourbières.....	111
La fertilisation par les engrais.....	114
La marche à suivre.....	121

TROISIÈME PARTIE

Les cultures en sols tourbeux

<i>Considérations générales</i>	125
<i>Les essais culturaux du Val d'Yerre</i>	127
Surface cultivée..	127
Les cultures annuelles.....	128
Prairies naturelles.....	135
Sur le développement du trèfle..	140
<i>Expériences diverses</i>	145
<i>La culture maraîchère</i>	150
CONCLUSIONS.....	153
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.....	155
TABLE DES MATIÈRES.....	157

ERRATA

- Page 40, ligne 15, lire : deux millions *d'hectares*.....
- Page 66, ligne 23 (tableau), lire : dans *1000* gr. de terre.....
- Page 80, 3^e colonne du tableau, lire : *sol* non lavé.
- Page 114, ligne 7, lire : *mais* encore.....
- Page 120, ligne 7, lire : depuis *une* dizaine d'années.....

631.4

2.484

J. Dumont

Autor

Les Sols Humiferes

Título



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).