





Nº

ÉTUDES ET RECHERCHES

SUR LE

GRAIN DE BLÉ

275

*Droits de reproduction et de traduction réservés
pour tous les pays,
y compris la Suède et la Norvège.*

ÉTUDES ET RECHERCHES

SUR LE

GRAIN DE BLÉ

SUIVIES

d'un Procédé de STÉRILISATION et de BLANCHIMENT
des CÉRÉALES et de leurs FARINES

PAR

Émile FRICHOT

ANCIEN MEUNIER

Chez l'Auteur

à Dreux (E.-&-L.), 73, rue St-Jean

1899

INTRODUCTION

Nous nous sommes souvent demandé pourquoi, puisque le grain de blé nettoyé renferme environ 80 p. 100 de produits farineux, la meunerie n'obtient pas 80 p. 100 de farine première, mais seulement 55 à 60 p. 100 et 20 à 25 p. 100 de produits secondaires; et pour quels motifs elle ne fait pas entrer dans la composition des farines premières les produits de la membrane embryonnaire et du germe qui sont très riches en matières azotées, phosphatées et minérales, si nécessaires à la constitution du cerveau, des os et des muscles.

C'est en 1884, à la suite des remarquables travaux de M. Aimé Girard sur la composition chimique et la valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment, que la meunerie, pour marcher d'accord avec la science, a

cherché à éliminer la membrane embryonnaire et le germe des produits devant servir à la fabrication des farines premières.

Mais devant l'impossibilité où elle s'est trouvée de pouvoir séparer mécaniquement les produits de l'albumen de ceux de la membrane embryonnaire, c'est-à-dire, d'extraire cet albumen entier sans toucher à la membrane embryonnaire, elle s'est vue obligée de diminuer son extraction pour avoir une farine exempte des produits de cette membrane.

Et sous prétexte d'exclure de la farine première toute parcelle de la membrane embryonnaire et du germe, elle en est arrivée à ne plus mettre en farine première que le centre de l'albumen, c'est-à-dire la partie du grain de blé la moins riche en principes azotés et ne contenant que très peu de matières phosphatées et minérales.

D'où ces plaintes justifiées de savants distingués et de médecins éminents, disant que le pain blanc de nos jours ne contient plus tous les éléments nutritifs du grain de blé et qu'il n'est plus un aliment complet.

Cherchant à concilier les exigences de l'hygiène et les intérêts de la meunerie, nous avons étudié la composition physique, chimique et biologique du grain de blé, et partant de ce principe que la membrane embryonnaire et le germe étant très

riches en matières azotées et minérales, il y aurait avantage et économie pour tous à les faire entrer dans l'alimentation humaine, et que si, pour le moment, on les rejetait de cette alimentation, c'était surtout à cause de la céréaline et de l'huile contenues dans ces deux parties du grain de blé, nous avons étudié cette huile et cette céréaline, et nous avons cherché le moyen de les empêcher d'être nuisibles.

Nos efforts ont été couronnés de succès, et nous avons reconnu en même temps, que la céréaline n'était pas seule cause de la production du pain bis, mais qu'avec elle se trouvaient d'autres ferments, des êtres organisés, ceux-là, capables de fermentations diverses et que c'étaient eux, et eux seuls, qui étaient cause de tout le mal.

Nous trouvant alors en présence de ferments nuisibles à une bonne panification et d'une huile qui s'altérait à l'air, il nous est naturellement venu à l'idée de détruire ces ferments et d'empêcher cette huile de prendre ce goût de rance qui est la caractéristique des farines dites « bises ».

D'où notre procédé de stérilisation et de désodorisation du grain de blé ou de sa farine.

Rien ne nous empêche plus maintenant d'obtenir un produit contenant tous les principes nutritifs et assimilables par l'homme, que renferme le grain de blé; un produit qui ne le cède en rien

ni comme blancheur, ni comme pureté, aux farines premières actuelles; enfin, un produit qui donne un pain aussi blanc, mais plus nutritif, plus agréable au goût et se conservant frais plus longtemps.

Nous sommes donc heureux d'être arrivés, tout en marchant d'accord avec les progrès incessants de la science, à donner satisfaction à Messieurs les hygiénistes, qui trouveront dans le pain blanc un aliment complet, et à pouvoir offrir à la meunerie un procédé qui lui permettra d'augmenter le rendement en farine première et de ne plus fabriquer qu'une farine unique tirée à 80 p. 100 du grain de blé.

Et qui sait, si cette élévation de blutage ne donnera pas une solution à la crise que traverse actuellement la meunerie, et si elle ne retrouvera pas alors ses beaux jours d'antan, où son tiroir s'emplissait de beaux écus sonnants au son du joyeux tic tac du moulin.

C'est le résultat de nos études et de nos recherches que nous allons publier dans cette brochure.

Si ces études et ces recherches ne parviennent pas à conjurer la crise actuelle de la meunerie, elles auront toujours au moins l'avantage de lui faire connaître mieux la structure et la composition du grain de blé qui est la matière première de son industrie, et de lui montrer tout le parti qu'elle en peut tirer

C'est qu'en effet, les travaux de M. A. Girard sur la composition chimique et la valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment, publiés en 1884, font encore autorité en meunerie. Mais, depuis cette époque, les sciences naturelles, chimiques et biologiques ont fait d'immenses progrès, et les substances que l'état de la science ne permettait pas d'étudier il y a quinze ans, nous en connaissons aujourd'hui la nature et la provenance.

Notre but a donc été d'appliquer à l'étude du grain de blé les plus récentes découvertes de la science.

Nous nous sommes placé sur un terrain essentiellement pratique et si, aux yeux de quelques savants, nos théories ne paraissent pas toujours scientifiquement exactes, c'est que nous avons voulu, avant tout, les rendre claires, simples et accessibles à tous nos lecteurs.

Nous avons cherché aussi à rectifier certaines erreurs provenant des procédés chimiques employés pour l'analyse du grain de blé, procédés qui, comme l'a signalé M. A. Girard pouvaient donner parfois des résultats inexacts.

Nos calculs seront toujours basés sur du blé nettoyé, c'est-à-dire débarrassé des graines étrangères et des mauvais grains qu'il peut contenir.

Cherchant surtout à donner des chiffres prati-

ques et appréciables par tous, nous rapporterons tous nos calculs à l'état normal d'hydratation, M. Balland ayant démontré que toutes les parties du grain de blé renferment la même quantité d'eau.

ÉTUDES ET RECHERCHES

SUR

LE GRAIN DE BLÉ

CHAPITRE PREMIER

FORMATION ET DÉVELOPPEMENT DU GRAIN DE BLÉ.

Formation du grain de blé. — Le grain de blé, comme toutes les graines, est le résultat du développement d'un **ovule** situé dans l'**ovaire** de la fleur.

D'abord, c'est un simple renflement globuleux, une excroissance de la membrane interne de l'ovaire (1), produite par le développement d'une cellule que l'on nomme la cellule mère.

Cette excroissance s'appelle un **nucelle**. Puis, de la base de ce renflement, s'élèvent bientôt deux mem-

(1) L'ovaire est la partie renflée que l'on voit à la base du pistil; il est situé sur le réceptacle de la fleur avec lequel il se confond après la fécondation. Le réceptacle est directement porté par le pédoncule de la fleur.

branes, l'une intérieure, le *tegmen*, et l'autre extérieure, le *testa*, qui recouvrent entièrement le nucelle, sauf en un point, où subsiste une petite ouverture traversant les deux enveloppes et que l'on nomme le *micropyle*.

Ces deux enveloppes constituent les téguments du

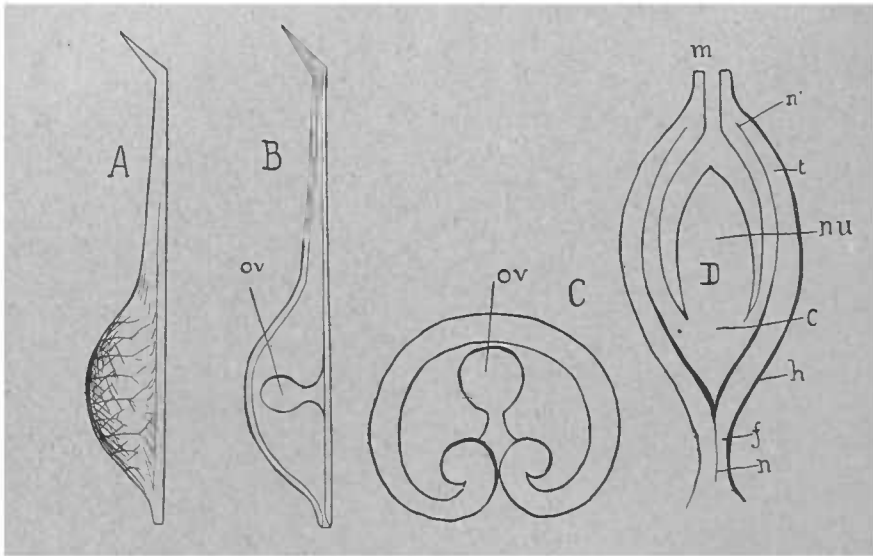


Fig. 1. — Ovaire et ovule.

A. Carpelle fermé vu de côté. — B. Le même coupé en long, *ov*, ovule. — C. Ovaire, coupe transversale; *ov*, ovule. — D. Ovule grossi coupé en long. — *f*, le funicule avec sa nervure *n*; *h*, hile; *t*, tégument avec ses nervures *n'*; *nu*, nucelle, *m*, micropyle; *c*, chalazae.

nucelle et l'ensemble forme l'ovule d'où sortira plus tard le grain de blé.

Le point où s'attache l'ovule à la membrane interne de l'ovaire, se nomme le *hile*. C'est par le hile que pénètrent les vaisseaux nourriciers de l'ovule.

En même temps que se forment les téguments de l'ovule, le tissu intérieur du nucelle s'organise. Une des cellules centrales prend un développement considérable pour former une espèce de sac, appelé *sac embryonnaire*, et dans lequel on voit apparaître sept petites

cellules de forme ovale et allongée, trois en haut, trois en bas, et une au centre plus grosse que les autres et appelée pour cette raison *grosse cellule*.

Nous n'entrerons pas dans des détails sur la formation de ces cellules et nous nous bornerons à dire que l'une des trois cellules du haut sera fécondée pour former l'*œuf* d'où sortira l'**embryon** et que celle du centre (*la grande cellule*), servira à former l'**albumen**.

L'ensemble de ces sept cellules ainsi conformées et disposées a reçu le nom d'*endosperme*. Nous verrons plus tard que cet endosperme se développe au détriment du nucelle et de ses téguments qu'il absorbe en entier.

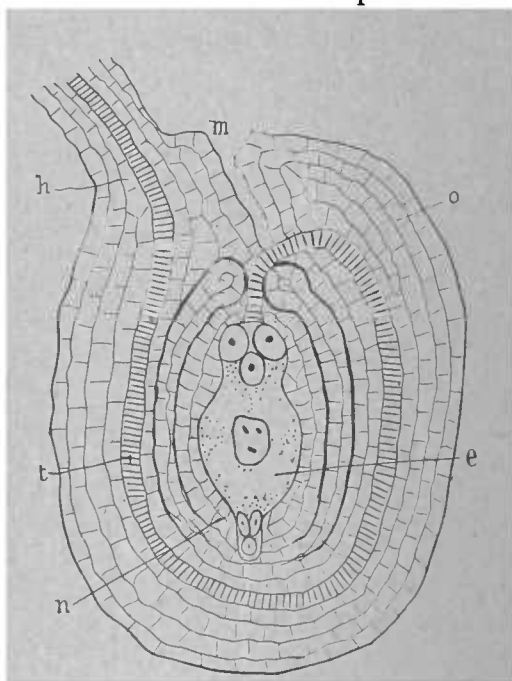


Fig. 2. — Endosperme.

o, ovule; n, nucelle; e, endosperme; h, hile;
m, micropyle; t, tube pollinique.

Formation de l'œuf et de l'embryon. — L'œuf résulte de la *fécondation* (1) de l'une des cellules de l'endosperme. C'est par le hile puis le micropyle que s'engage le *tube pollinique* (2) pour atteindre l'endos-

(1) Le résultat de la *fécondation* est de produire le développement de l'embryon en même temps que celui des autres parties de la graine.

(2) Le *tube pollinique* est formé par le développement d'un grain de pollen de la fleur.

perme et venir féconder l'une des cellules qu'il renferme.

L'œuf, aussitôt formé s'entoure d'une membrane de cellulose, puis grandit en s'allongeant pour devenir l'embryon.

On le voit d'abord se diviser en deux lobes superpo-

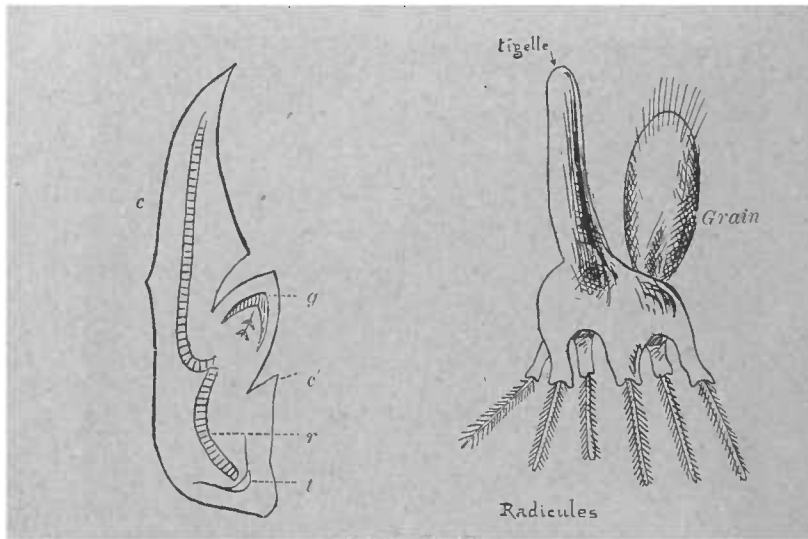


Fig. 3. — Embryon.

c. Grand cotylédon. — *c'*. Petit cotylédon. — *t.* Base de la tigelle renfermant la radicule *r.*
— *g.* Gemmule.

sés, le supérieur s'allonge en un mince cordon, appelé le *suspenseur*, qui vient se souder à la partie supérieure de l'endosperme; puis le lobe inférieur se développe de plus en plus et devient la tige de l'embryon, ce qu'on appelle la *tigelle*.

A l'extrémité inférieure de la tige, l'écorce s'accroît davantage en deux points opposés et forme deux mamelons recouverts par l'épiderme; ceux-ci grandissent vers le bas, se pressent l'un contre l'autre et constituent

enfin les deux premières feuilles, les deux *cotylédons* de l'embryon.

A l'extrémité supérieure, contre le suspenseur, la tige s'amincit en pointe et à une petite distance du sommet, on voit apparaître une partie conique appelée la *radicule* de l'embryon.

Enfin, entre les deux cotylédons se développent plu-

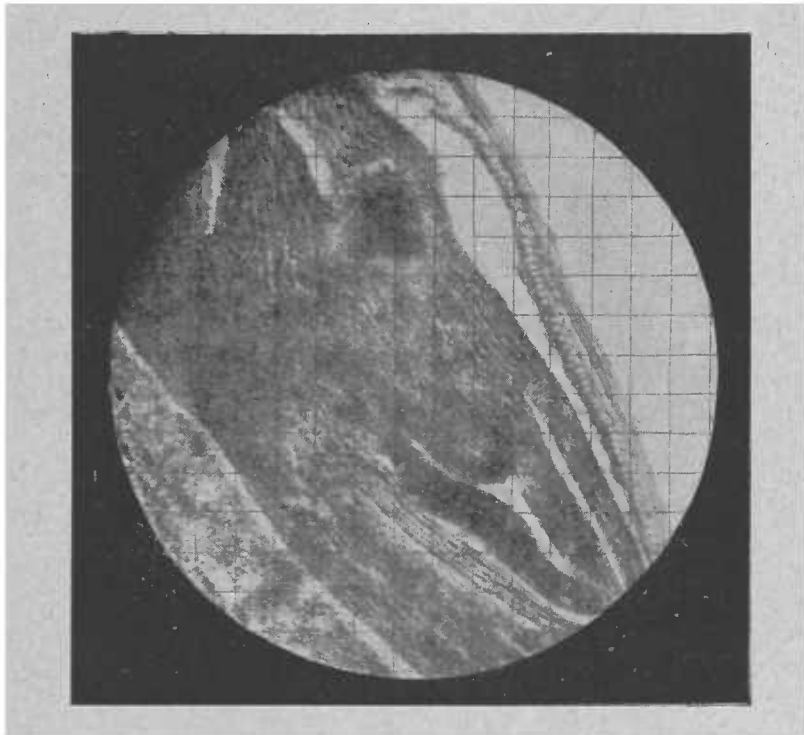


Fig. 4. — Germe du grain de froment en coupe longitudinale (agr^t = 40 diam.)

sieurs feuilles étroitement appliquées les unes sur les autres pour former un bourgeon terminal appelé la *gemmule*.

Les cotylédons serviront plus tard à l'alimentation de l'embryon, la radicule fournira les racines, la gemmule donnera les feuilles et la tigelle se transformera en tige.

Formation de l'albumen. — Sitôt l'œuf formé,

et avant même qu'il se développe, la grande cellule de l'endosperme est le siège de phénomènes particuliers qui aboutissent à la formation de l'**albumen**.

Cet albumen servira à alimenter l'embryon pendant son développement et plus tard pendant la germination.

D'abord cette cellule subit un grand nombre de bipartitions, et les nouvelles cellules ainsi formées se répartissent à la périphérie de l'endosperme pour former la *couche périphérique* de l'albumen.

Puis ces cellules attaquent et font disparaître par voie de *digestion* (1) les parties environnantes du nucelle, ce qui a fait donner à cette couche périphérique le nom **d'assise digestive** que nous lui conserverons désormais.

Mais l'activité de cette assise digestive ne se borne pas au nucelle; elle attaque, au cours du développement de l'albumen, les deux téguments du nucelle, qu'elle digère dans toute leur épaisseur, et vient s'appliquer contre la paroi interne de l'ovaire, qu'elle résorbe en partie en se soudant finalement avec le reste (2).

Nous ne saurions trop insister sur l'*absorption*, par cette assise digestive, du nucelle et de ses téguments, c'est-à-dire de l'**ovule en entier**, disparition qui nous obligera à modifier la constitution du grain de blé généralement admise.

Nous ferons remarquer également que la provenance

(1) On appelle *digestion* la transformation d'une matière insoluble en une matière soluble à l'aide d'un liquide actif exsudé par les cellules elles-mêmes, suivie aussitôt de l'absorption de la substance ainsi transformée.

(2) Van Tieghem, *Éléments de botanique*, 1898.

et la nature des cellules de cette assise les différencient fortement par rapport à celles de l'albumen, à la fois dans leur forme et dans leur contenu. Elles sont de forme carrée, à angles arrondis, dépourvues d'amidon et renfermant beaucoup de matières grasses. Ces cellules secrètent les diastases qui attaquent et dissolvent toutes les cellules du nucelle et de ses téguments, et elles transmettent leurs produits solubles à l'albumen sous-jacent après leur avoir fait subir une nouvelle transformation.

C'est aussi cette assise qui transforme les sucS provenant de la plante pour les faire servir au développement de l'albumen.

De l'enveloppe du grain de blé. — Examinons maintenant d'où proviennent les membranes qui constituent désormais l'enveloppe du grain de blé.

Une fois la fécondation accomplie, les différents verticilles qui constituent la fleur disparaissent, l'*ovaire* seul persiste.

Nous savons que l'ovaire est situé sur le réceptacle de la fleur, à la base du pistil. Il provient du développement de l'une des feuilles qui forment le pistil. Cette feuille, appelée un carpelle s'élargit à sa partie inférieure, ses bords s'épaississent et viennent se souder pour constituer une cavité close qui est la chambre de l'ovaire.

C'est sur cette soudure et dans l'intérieur de la chambre que se développe l'ovule d'où doit sortir le grain de blé.

Le carpelle qui constitue la *membrane* de l'ovaire est donc une *feuille* et comme tout limbe de feuille, il se compose de trois parties :

1° D'un *épiderme* portant des poils et des *stomates* (1) sur ses deux faces et formé de cellules fortement unies entre elles latéralement, et faiblement adhérentes à l'écorce ; de sorte qu'on peut l'en détacher facilement ;

2° D'une *écorce* formée de tissu homogène composé de larges cellules à parois minces, de formes polyédri-

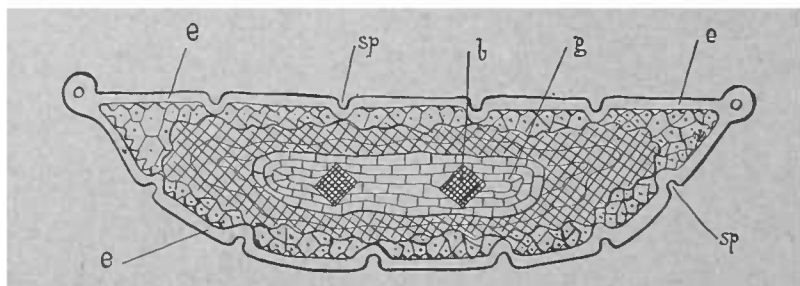


Fig. 5. — Section transversale d'une feuille.

e. Épiderme avec stomates *sp.* sur les deux faces. — *p.* Écorce. — *g.* Méristèle.
— *b.* Faisceaux libéro-ligneux.

ques, irrégulièrement disposées sur plusieurs couches ;

3° Au centre, d'une *assise* de cellules de formes diverses et renfermant les *faisceaux libéro-ligneux* diversement ramifiés pour servir à l'alimentation de la feuille.

C'est après la disparition des autres parties de la fleur que l'ovaire usurpe à son profit les sucs qui alimentaient auparavant toute la fleur et se développe en même temps que l'ovule qu'il renferme.

(1) On appelle *stomates* des ouvertures ménagées dans l'épiderme pour faire communiquer l'atmosphère interne de la feuille avec l'air extérieur.

Après différentes modifications, il enveloppe l'albumen en entier et se soude à son *assise digestive*.

Cette *enveloppe* s'appelle un **péricarpe**.

Développement du grain de blé. — Au moment de la fructification, il semble s'effectuer dans les organes de la plante une véritable analyse par suite de laquelle les matières indispensables au développement des graines sont appelées vers elles sous l'influence de leur enveloppe extérieure qui semble jouer ici un rôle aspirateur, semblable à celui des feuilles proprement dites.

Cette membrane, à la fois souple et résistante, se laisse traverser avec la plus grande facilité par l'eau intérieure, en retenant à la façon d'un dialyseur, tous les produits en dissolution et en formation.

C'est cette évaporation qui agit comme un puissant aspirateur et favorise l'appel des sucs nourriciers qui se précipitent de l'épi dans le hile comme dans une véritable cheminée d'appel (1).

Nous avons vu que ces sucs nourriciers pénétraient par le hile dans l'ovule et de là se répartissaient dans ses téguments et dans le nucelle.

Plus tard, l'ovule entier disparaissant, c'est par l'assise digestive qu'ils sont absorbés pour alimenter l'embryon ou former l'albumen.

Les matières inutiles ou peu utiles au parfait dé-

(1) Balland, *Recherches sur les blés et les farines*, 1889.

veloppement de la graine sont entraînées ou retenues plus ou moins loin, surtout dans les organes qui, comme les feuilles, transpirent abondamment.

C'est ainsi que les matières azotées et sucrées, les phosphates, la potasse et la magnésie, viennent s'accumuler dans les graines, tandis que la silice et la chaux se rendent dans les feuilles et dans les enveloppes extérieures des graines.

Puis, sous l'action de ferments spéciaux, contenus dans les globules disséminés dans les cellules de l'assise digestive, et que nous étudierons plus tard, les matières sucrées sont transformées en amidon et les matières azotées en gluten.

Ces deux produits viennent former l'albumen. Les matières grasses et minérales sont absorbées par les globules dont nous venons de parler et dont nous déterminerons plus loin la composition.

Nous avons dit aussi que ces sucs nourriciers servaient également à alimenter l'embryon.

Celui-ci est mis en contact dès ses premiers développements avec l'assise digestive et l'albumen. L'assise digestive lui fournit les substances grasses et les substances minérales dont il a besoin, et c'est à l'albumen qu'il prend les matières azotées et sucrées qui lui sont nécessaires (1).

Cette façon de s'alimenter est assez curieuse; au lieu de prendre ses matières azotées et sucrées à l'assise digestive qui vient de les rendre assimilables pour son

(1) Van Tieghem, *Éléments de botanique*.

usage personnel, l'embryon les emprunte aux cellules de l'albumen, où elles sont à l'état insoluble. De sorte que pour les absorber, il est obligé de les dissoudre à l'aide de ses diastases.

D'où cette double transformation. Mais cela ne doit pas nous surprendre, le développement des plantes n'étant qu'une suite continuelle d'assimilation et de désassimilation.

État définitif du grain de blé. — Maintenant que nous avons vu se former et se développer l'embryon et l'albumen et que tous les sucs de la plante ont été absorbés par l'assise digestive, que va-t-il se passer?

Sous l'influence de la chaleur, le grain de blé perd graduellement la plus grande partie de l'eau qu'il renfermait en abondance.

Cette dessiccation détermine en lui une foule de changements internes. La surface perd sa transparence et son éclat spécial, elle devient opaque pendant que la membrane interne de l'enveloppe revêt sa couleur définitive.

Les cellules du péricarpe se vident, meurent et se dessèchent. L'amidon et les substances azotées qu'il renferme disparaissent pour aller alimenter l'albumen et bientôt ce n'est plus qu'un *tissu ligneux* semblable à l'écorce du bois.

Dans la graine, les substances de réserve, notamment l'amidon et le gluten se condensent à l'état solide dans les cellules de l'albumen, le gluten en plus grande quan-

tité à la périphérie, entraîné par l'évaporation de l'eau.

Les produits de l'assise digestive et de l'embryon se condensent également, et finalement il ne reste plus dans la graine que 12 à 15 p. 100 d'eau.

Le grain de blé est alors arrivé à sa **maturité**.

CHAPITRE II

COMPOSITION PHYSIQUE DU GRAIN DE BLÉ.

Du grain de blé. — Le grain de blé est un corps de forme ovale plus ou moins allongée, et portant à l'une de ses extrémités le germe et à l'autre des poils très fins qui forment là un petit duvet.

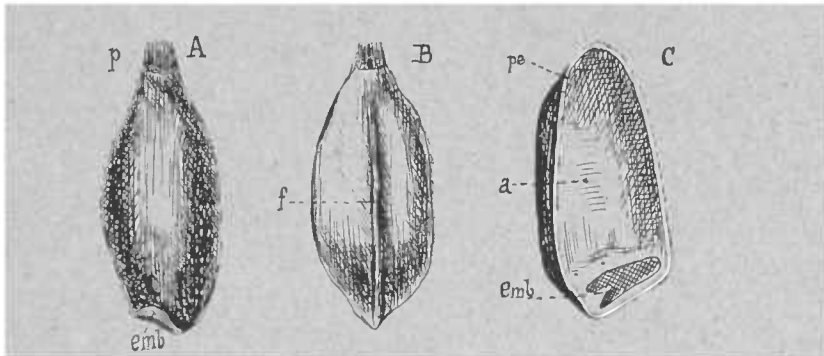


Fig. 6. — Grain de blé.

A. Grain de blé (côté). — B. Grain de blé (face). — C. Grain de blé (coupe). — *p*. Poils.
— *emb*. Embryon. — *pe*. Péricarpe. — *a*. Albumen.

Le grain de blé est divisé en deux lobes semblables par une fente longitudinale.

Dans l'intérieur de cette fente, extérieurement à l'enveloppe, nous rencontrons le *pédoncule* par lequel le grain de blé est attaché à l'épi.

La couleur du grain de blé est variable, il est tantôt

jaune, tantôt blanc, tantôt gris, suivant la variété, la nature du terrain, le climat.

Son *poids moyen* est de 4 centigrammes. Mais ce chiffre ne saurait servir de base à aucun calcul car il ne dépend pas de l'écart trouvé entre les gros et les

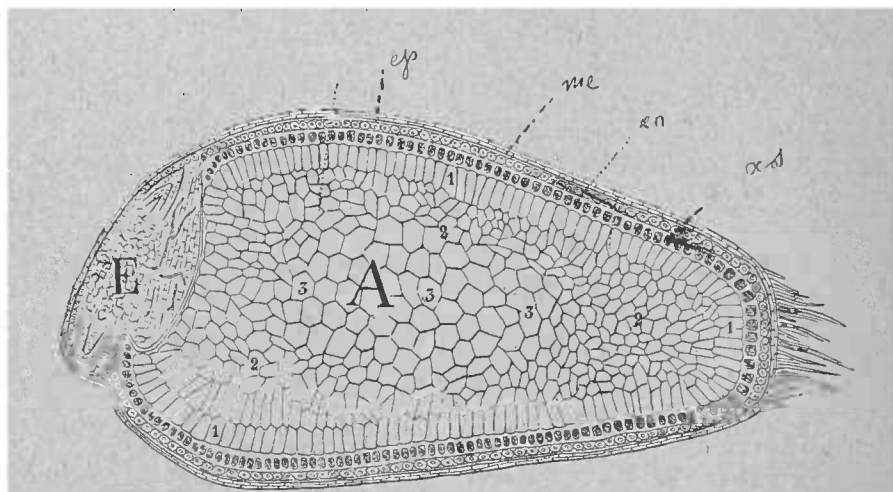


Fig. 7. — Coupe longitudinale du grain de blé.

A. Albumen. — E. Embryon. — *as*. Assise digestive. — *en*. Endocarpe. — *me*. Mésocarpe.
— *ep*. Épicarpe.

petits grains, mais de la proportion dans laquelle se trouvent ces divers grains.

Dans deux blés de poids moyens différents, on peut donc rencontrer les plus gros grains dans le blé dont le poids moyen est inférieur.

Il n'y a pas de rapport entre le poids moyen des grains et l'essence des blés, ni entre ce poids moyen et le poids des blés à l'hectolitre (1).

Les plus gros grains atteignent quelquefois 6 gr. 13 et les plus fins ne dépassent pas 1 gr. 75.

(1) Balland, publication faite par la *Revue de l'Intendance*, 1897.

Structure du grain de blé. — Comme nous l'avons vu, dans le chapitre précédent, **le grain de blé** se compose de quatre parties distinctes :

le péricarpe,
l'assise digestive,
l'embryon,
l'albumen.

Le **péricarpe** est formé de trois membranes que l'on désigne comme suit :

l'épicarpe,
le mésocarpe,
l'endocarpe.

L'ensemble de ces trois membranes constitue l'*enveloppe* du grain de blé.

On appelle **amande** tout ce qui est contenu à l'intérieur de l'enveloppe, c'est-à-dire :

l'assise digestive,
l'embryon,
l'albumen.

On considère actuellement le grain de blé comme composé d'une amande renfermée dans une *enveloppe à cinq membranes*, que l'on désigne comme suit :

l'épicarpe,
le mésocarpe,
l'endocarpe,
le testa,
l'endoplèvre.

Les trois premières sont considérées comme formant l'enveloppe proprement dite ou péricarpe, et les deux autres sont appelées téguments extérieurs de la graine.

Mais nous avons fait remarquer que l'assise digestive ou membrane embryonnaire, a fait complètement disparaître ces deux téguments, testa et endoplèvre, qui constituaient les téguments de l'ovule.

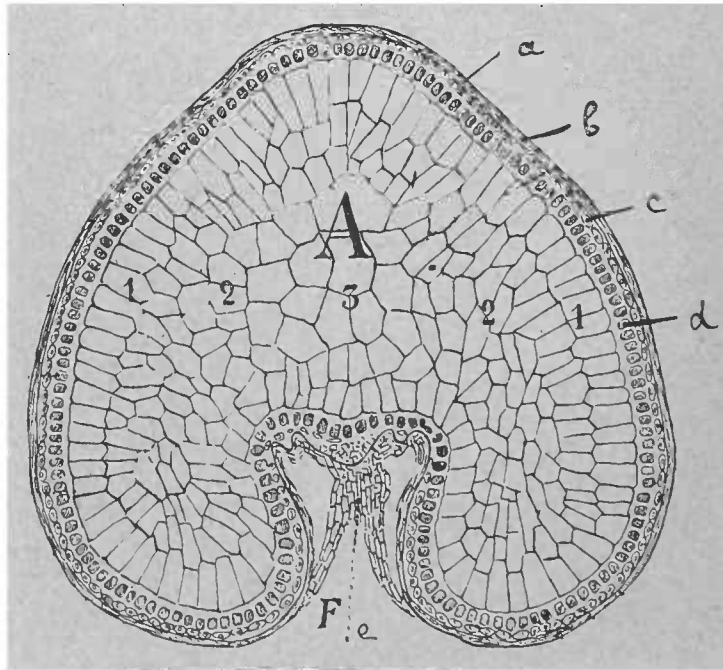


Fig. 8. — Coupe transversale du grain de blé.

A. Albumen. — F. Fente. — *a.* Épicarpe. — *b.* Mésocarpe. — *c.* Endocarpe.
d. — Assise digestive. — *e.* Pédoneule.

Cette disparition de l'ovule entier est générale chez les graminées, et quand il n'y a pas de graine, comme dans le grain de blé, il n'y a pas de téguments, et c'est le *péricarpe* seul qui protège l'albumen et l'embryon (1).

De sorte que ce que l'on appelle testa et endoplèvre

(1) Van Tieghem, *Éléments de botanique*, 1898.

ne sont autre chose que des parties du péricarpe, dans lequel, comme nous le verrons tout à l'heure, en l'étudiant plus longuement, on a pris des couches pour des membranes.

Il y a donc eu confusion et l'enveloppe du grain de blé

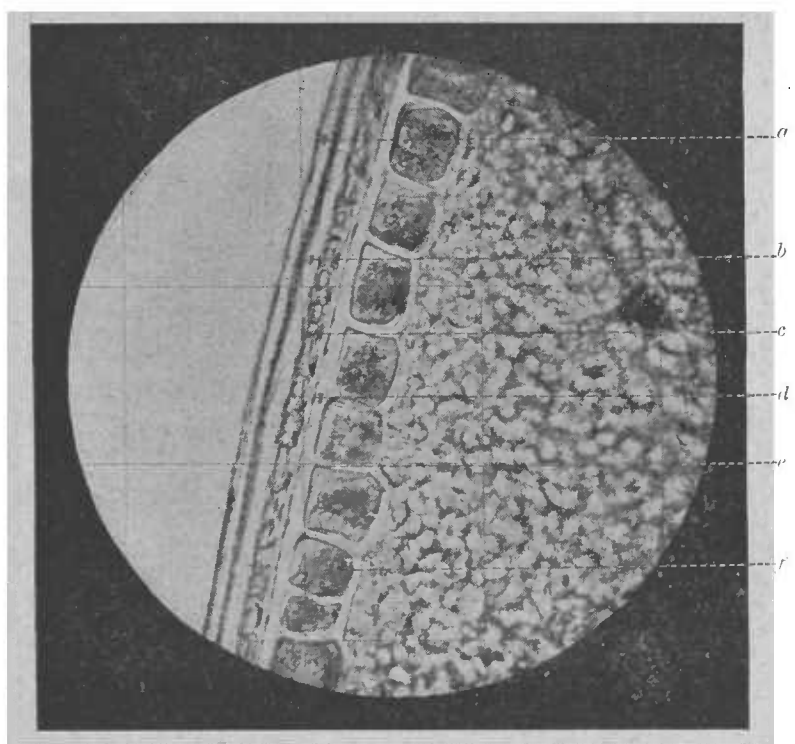


Fig. 9. — Enveloppe du grain vue en coupe longitudinale (agr^t = 180 diam.).
a. Épicarpe. — *b.* Mésocarpe. — *c.* Endocarpe. — *d.* Cellulose provenant de la digestion des téguments de l'ovule et formant avec *e* les parois des cellules de l'assise digestive. — *f.* Assise digestive.

doit être considérée désormais comme composée seulement de trois parties distinctes :

l'épicarpe,
 le mésocarpe,
 l'endocarpe.

Il n'y a ni testa ni endoplèvre. Nous insistons sur ce point, qui est l'un des résultats de nos études et de nos recherches, car il apportera à la meunerie une connaissance plus approfondie du grain de blé, et lui permettra d'obtenir une mouture plus rationnelle.

Cette découverte viendra aussi trancher la question du *son* dans l'alimentation humaine, c'est-à-dire du *pain complet*, qui fait tant de bruit depuis quelques années, en montrant que l'enveloppe entière du grain de blé n'a, pour l'homme, aucune valeur nutritive.

De l'enveloppe. — Nous avons vu que ce qui constitue l'enveloppe du grain de blé, c'est la membrane de l'ovaire modifiée, et nous avons dit également que cette membrane se composait, comme tout limbe de feuille, de trois régions : l'une centrale, appelée en botanique *méristèle*, formée de cellules de formes diverses et renfermant les *vaisseaux* qui alimentent la feuille, c'est la partie nerveuse et la plus résistante; l'autre, médiane formée de tissu homogène et composée de larges cellules, c'est l'*écorce*; enfin, la troisième, extrêmement mince et faiblement adhérente, c'est l'*épiderme*.

Si nous considérons que ces membranes se reproduisent de chaque côté de la feuille, nous voyons qu'au début, l'ovaire, qui n'est qu'une feuille recourbée et dont les deux bords se soudent ensemble, comprend, comme l'indique la coupe latérale ci-contre, cinq parties bien distinctes.

Mais la membrane de l'ovaire se modifie pendant le

développement de l'ovule, la moitié extérieure seule s'épaissit, tandis que la moitié intérieure s'attendrit et disparaît bientôt presque en entier, absorbée par l'assise digestive.

Cette assise vient se souder avec la partie centrale de la membrane de l'ovaire, c'est-à-dire avec le méristèle, de sorte que, après la maturité, on ne trouve plus dans l'enveloppe du grain de blé, que trois parties bien distinctes :

1° L'épiderme de la moitié extérieure de la feuille ;

2° L'écorce de la moitié extérieure de la feuille ;

3° La partie centrale des deux moitiés de la feuille.

L'épiderme et l'écorce de la partie intérieure de la feuille ont disparu.

Ces trois parties bien distinctes, s'appellent comme nous l'avons dit :

l'épicarpe (épiderme de la feuille),
le mésocarpe (écorce de la feuille),
l'endocarpe (partie centrale de la feuille).

Du reste, si nous examinons une photographie de l'enveloppe du grain de blé, nous remarquons de suite,

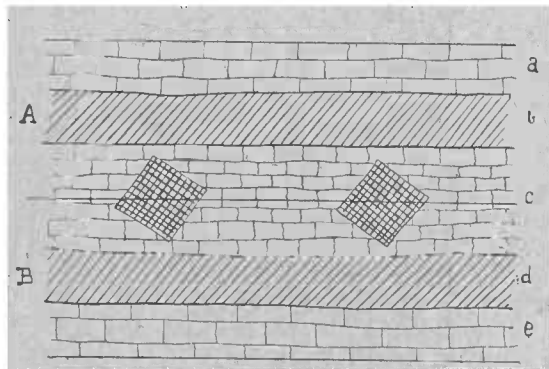


Fig. 10. — Coupe d'une feuille.

A. Moitié extérieure de la feuille. — B. Moitié intérieure de la feuille. — a. Épiderme moitié extérieure. — Écorce moitié extérieure. — c. Partie centrale ou méristèle. — a. Écorce moitié intérieure. — e. Épiderme moitié intérieure.

qu'on ne voit bien distinctement que trois membranes, et que, comme nous le verrons plus loin, ces trois membranes sont bien conformes à celles qui constituent généralement le péricarpe des graines.

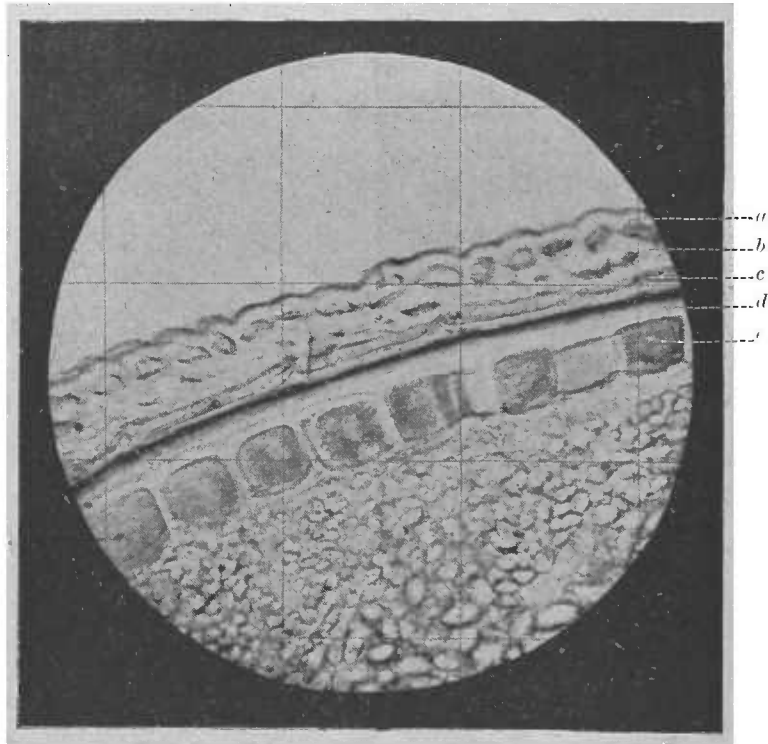


Fig. 14. — Enveloppe du grain vue en coupe transversale (agr^t = 180 diam.).

- | | |
|--|--|
| <i>a.</i> Épicarpe. | } La ligne noire est le point de
soudure de l'assise digestive,
avec le péricarpe. |
| <i>b.</i> Mésocarpe. | |
| <i>c.</i> Endocarpe. | |
| <i>d.</i> Cellulose provenant de la digestion de l'ovule et formant
les membranes des cellules de l'assise digestive. | |
| <i>e.</i> Assise digestive. | |

Puis, ce qui prouve aussi qu'il y a confusion, c'est que, comme nous l'indiquerons tout à l'heure, l'ensemble des différentes couches des trois membranes du péricarpe correspond bien à la division de l'enveloppe en cinq membranes différentes; de sorte que, lorsqu'on étudie

séparément l'enveloppe, on n'examine en réalité que le péricarpe, puisque le testa et l'endoplèvre n'existent plus et, comme on y cherche cinq membranes, on est obligé de prendre les couches des membranes pour les membranes elles-mêmes.

Nous allons étudier séparément chacune des parties du péricarpe.

De l'épicarpe. — Si nous mouillons un certain nombre de grains de blé avec de l'eau rendue légèrement alcaline par de la potasse ou de la soude (1 p. 100) et que nous frottions ces grains les uns contre les autres ou à l'aide d'un linge de grosse toile, nous détachons de ces graines une membrane mince, incolore et inerte, c'est l'épicarpe.

Il est formé, dans sa partie extérieure, de plusieurs rangées de cellules tubulaires, munies de parois assez épaisses. Vues de face, ces cellules sont constamment allongées dans une direction parallèle au grand axe du grain et leurs parois longitudinales sont plus épaisses que leurs parois transversales. Vers l'extrémité supérieure du grain, les cellules deviennent plus irrégulières et on constate sur cette partie du fruit la présence de nombreux *poils*. Ces poils sont coniques, plus ou moins longs et flexueux, pourvus de parois lisses et fort épaisses. C'est sur la partie extérieure de l'épicarpe que se rencontrent les *stomates* dont nous avons déjà parlé; ils sont dispersés régulièrement en séries longitudinales avec leurs fentes dirigées longitudinalement. Ce sont ces stomates qui rendent la surface extérieure de l'épicarpe rugueuse

et plissée, ce qui explique qu'elle retient facilement la poussière.

A la partie intérieure de l'épicarpe, on remarque une ou deux rangées de cellules qui se distinguent des précédentes; elles sont généralement irrégulières et munies de parois plus minces; quelques-unes d'entre elles se sont *sclérifiées* (1); leurs parois légèrement épaissies et irrégulièrement ponctuées, laissent entre elles des lacunes bien apparentes.

C'est la présence de ces cellules à la partie intérieure de l'épicarpe qui a fait croire à la présence de deux membranes distinctes et fait appeler la couche supérieure épicarpe et la couche inférieure mésocarpe.

Mais ces deux couches appartiennent bien à la même membrane et elles ne peuvent se séparer l'une de l'autre. Du reste, la distinction de l'épicarpe est bien facile à établir, ses cellules sont *longitudinales*, tandis que celles du mésocarpe sont *transversales*.

Du mésocarpe. — Si comme nous avons fait précédemment et après avoir détaché l'épicarpe, nous mouillons un certain nombre de grains de blé, mais plus fortement cette fois et les laissant reposer environ une heure pour permettre au liquide de bien pénétrer l'enveloppe, nous les frottons avec un linge grossier, nous détachons une seconde membrane, plus épaisse

(1) C'est-à-dire que leurs membranes se sont imprégnées d'une substance, nommée lignine, renfermant plus de carbone et plus d'hydrogène que la cellulose. Cette substance les rend plus dures et plus cassantes.

que la précédente, plus dure et moins friable, c'est le **mésocarpe**.

Le mésocarpe est formé de cellules dont la direction est perpendiculaire à celle des cellules de l'épicarpe, ce qui les fait désigner quelquefois sous le nom de cellules transversales.

Son tissu est homogène et ses cellules contiennent les grains de chlorophylle dont le rôle est de rendre assimilable à la lumière le carbone de l'acide carbonique de l'air.

Sur une section transversale, ces cellules sont fortement allongées dans la direction tangentielle et légèrement arrondies sur leurs angles; leurs parois, pourvues de *punctuations* (1), sont moins épaisses que celles de l'épicarpe. Quand on les examine de face, les cellules transversales sont allongées perpendiculairement au grand axe du grain de blé; elles ont des dimensions assez variables, mais sont toujours plus régulières et moins anguleuses que celles de l'épicarpe.

Sur plusieurs points, et surtout sur la face dorsale du blé, on observe contre la face interne des cellules transversales, un certain nombre d'éléments qui, à cause de leurs formes bizarres et variables, rappelant souvent celles d'un tube, ont été appelées par Vogl, *cellules tubulaires*.

Ces cellules tubulaires sont les *vaisseaux corticaux* qui amènent la sève dans l'écorce de la feuille pour la

(1) On appelle *punctuation* des places minces qui se correspondent d'une cellule à l'autre, dessinant une sculpture en creux sur le fond épaissi de la membrane.

soumettre à l'action du carbone rendu assimilable par la chlorophylle et l'enrichir en principes albuminoïdes (*azotés*).

On prend habituellement le mésocarpe pour l'endocarpe, et l'on considère que l'épicarpe et l'endocarpe réunis forment le péricarpe. Cette erreur provient, comme nous l'avons dit, de ce que l'on prend les couches de ces membranes elles-mêmes, et que l'on croit avoir détaché du grain de blé trois membranes, alors, qu'en réalité, on n'a enlevé que deux membranes bien distinctes, l'épicarpe et le mésocarpe. C'est ce qui fait que l'on prend la membrane suivante, l'endocarpe, pour le testa.

On a dit aussi que l'épicarpe et le mésocarpe se résorbent après la maturité, ce qui était cause qu'on ne trouvait plus que deux membranes dans le péricarpe; il n'en est rien, et ce sont les téguments de l'ovule, dits téguments de la graine, qui disparaissent, le péricarpe seul reste, et il conserve ses trois membranes.

Celle que l'on prend pour le testa est réellement l'endocarpe.

De l'endocarpe. — Les deux membranes précédentes détachées, le grain de blé apparaît alors brillant et d'une belle coloration jaune ou rouge. Le tissu qui se présente à notre vue est compact et très résistant. Ce tissu, c'est l'**endocarpe**.

On ne peut pas détacher l'endocarpe du grain de blé comme nous l'avons fait pour l'épicarpe et le mésocarpe, et les appareils de meunerie eux-mêmes, pourtant si

énergiques, ne parviennent pas à l'isoler complètement de l'amande; ce n'est qu'après plusieurs grattages successifs, qu'ils finissent par détacher de cette membrane, la presque totalité de l'assise digestive, avec laquelle elle est soudée.

L'endocarpe, tantôt coloré en jaune, tantôt en rouge, est fait de cellules aplaties et fortement serrées les unes contre les autres. Aussi, c'est la partie la plus résistante de l'enveloppe.

A sa partie extérieure, il est composé de cellules rectangulaires étroitement appliquées l'une contre l'autre. Vues de face, ces cellules paraissent munies de parois très minces et sont plus longues que larges; leur direction sensiblement régulière et constante dans la même couche, varie quand on l'observe d'une couche à l'autre; c'est ainsi que, dans l'une d'elles, leur direction est parallèle au grand axe du grain, tandis que dans l'autre, elle leur est sensiblement perpendiculaire.

Dans la partie intérieure, les cellules paraissent d'une forme différente. Sur une section transversale du grain, elles sont rectangulaires, allongées dans la direction tangentielle, leurs parois internes et externes sont fort épaissies. Vues de face, ces cellules sont polygonales et irrégulières.

C'est dans l'endocarpe que se trouvent les *vaisseaux libéroligneux* qui amènent dans la membrane de l'ovaire les sucs nécessaires à son alimentation.

De l'assise digestive. — L'assise digestive, que l'on appelle la membrane embryonnaire, est composée

d'une rangée de grosses cellules transparentes, de section rectangulaire, à angles arrondis, à parois fort épaisses, et surface généralement convexe du côté de l'albumen. Elles sont fortement colorées en jaune. Vues de face, ces cellules sont polygonales, leurs parois sont à peu près droites ou faiblement ondulées.

Cette assise est soudée à l'endocarpe et enveloppe en entier l'albumen et l'embryon avec lequel elle se trouve directement rattachée par le *suspenseur*.

De l'embryon. — Le germe ou embryon est l'organe de la reproduction et partant, le principal organe de la graine.

Nous avons dit, dans le chapitre précédent, qu'il se composait de quatre parties principales : la *tigelle*, la *gemmule*, la *radicule* et les *cotylédons*.

Sa coloration est d'un beau jaune clair. Il est formé de cellules de forme cylindrique et séparées les unes des autres par des parois transparentes et peu épaisses. Ces cellules, comme celles de l'assise digestive, sont remplies de matière granuleuse fortement colorée en jaune.

De l'albumen. — Nous avons vu qu'aussitôt l'œuf formé, l'une des cellules du nucelle se multiplie pour créer un grand nombre de cellules nouvelles qui viennent constituer ce qu'on appelle l'*albumen*.

Cet albumen est formé de cellules polyédriques de formes irrégulières et à membranes minces et toujours fortement unies entre elles sans laisser de méats. Elles

sont remplies d'une substance azotée appelée *gluten*, tenant en suspension une grande quantité de grains d'*amidon*.

C'est pourquoi l'albumen des céréales est dit *amylacé* ou farineux.

On croit généralement que chaque grain d'amidon

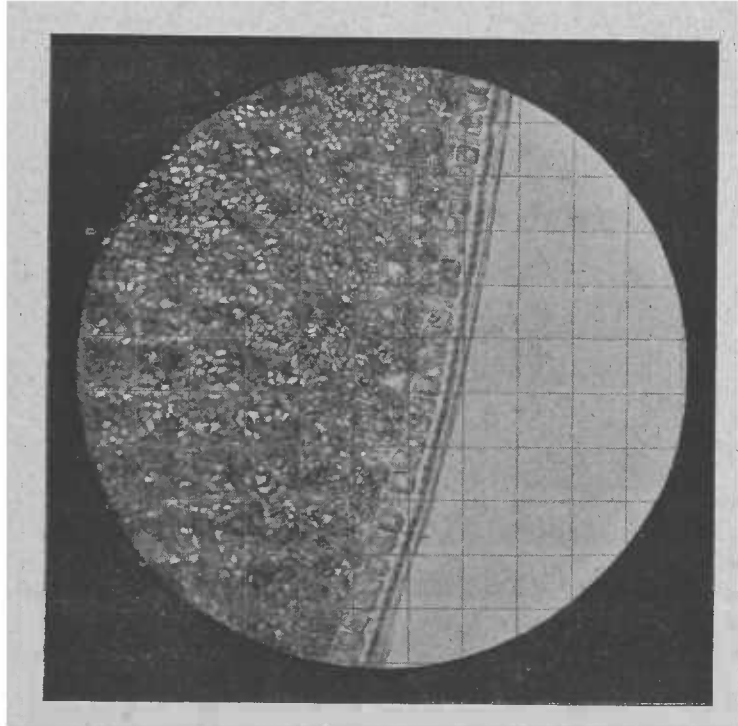


Fig. 12. — Coupe longitudinale de l'amande près de la périphérie (agr^t = de 55 diam.).

constitue une cellule et que le gluten est enchassé entre les cellules. Nous venons de voir que les cellules qui composent le tissu de l'albumen sont polygonales et non ovoïdes comme les grains d'amidon et ne laissent pas d'intervalles entre leurs parois. Les grains d'amidon ne sont donc pas les cellules, et c'est dans l'intérieur de ces cellules que se trouvent le gluten et les grains d'amidon. Le gluten forme un réseau dont les

mailles sont occupées par les grains d'amidon (1).

Les parois des cellules de l'albumen sont formées de cellulose pure et c'est cette cellulose qui est éliminée pendant la mouture du grain de blé et forme, avec la cellulose provenant des cellules de l'assise digestive, ce qu'en meunerie on appelle remoulages.

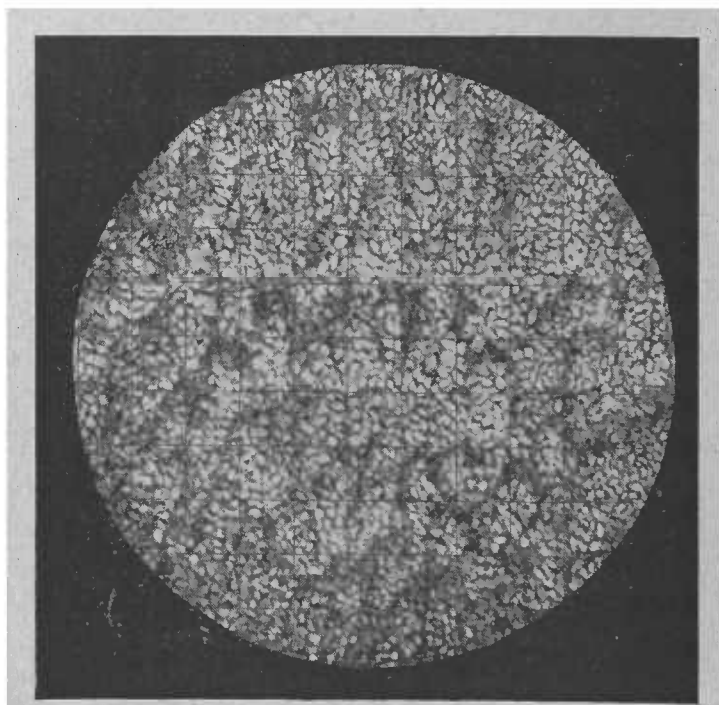


Fig. 13. — Coupe longitudinale de l'amande près du centre (agr^t = 35 diam.).

Si nous examinons une coupe de l'albumen, nous remarquons que les cellules qui le composent sont de

(1) C'est, a dit M. A. Girard, dans de grandes cellules de forme allongée, mesurant de $\frac{2}{10}$ à $\frac{3}{10}$ de millimètre au grand axe, sur $\frac{1}{10}$ de millimètre au petit axe, que l'amidon et le gluten, l'un enchassé dans l'autre, se trouvent logés. Les parois de ces cellules sont transparentes, minces, molles et présentent quant à leur composition, une analogie remarquable avec les parois des cellules du tégument séminal; comme celles-ci, elles sont faites de cellulose pénétrée de matière azotée.

plus en plus grandes en allant de la périphérie au centre.

C'est que ces cellules, formées dans l'assise digestive, se repoussent toujours vers l'intérieur à mesure qu'elles se forment. Celles du centre étant les première formées,

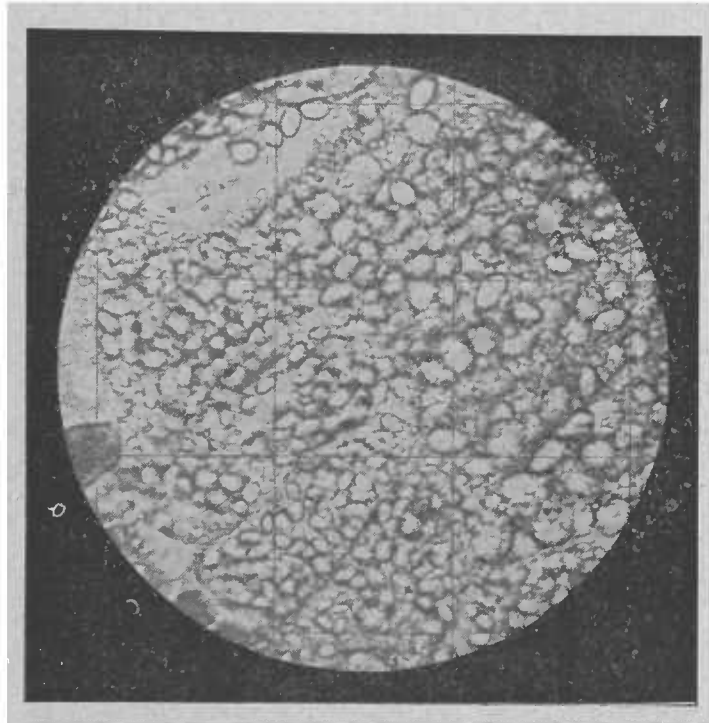


Fig. 14. — Coupe longitudinale de l'amande près de la périphérie (agr^t = 180 diam.).

prennent, par conséquent, un plus grand développement.

Quant aux grains d'amidon, ils se trouvent pour la même raison plus gros dans les cellules du centre que dans les cellules de la périphérie.

Nous constatons également que la partie périphérique de l'albumen est plus grise et est formée de cellules plus dures et contenant plus de gluten que la partie centrale.

La dureté et la quantité de gluten diminuent, et, par conséquent, la blancheur augmente, à mesure que l'on va vers le centre.

Nous avons déjà dit que le gluten était entraîné vers la périphérie par l'évaporation de l'eau; la teinte grise

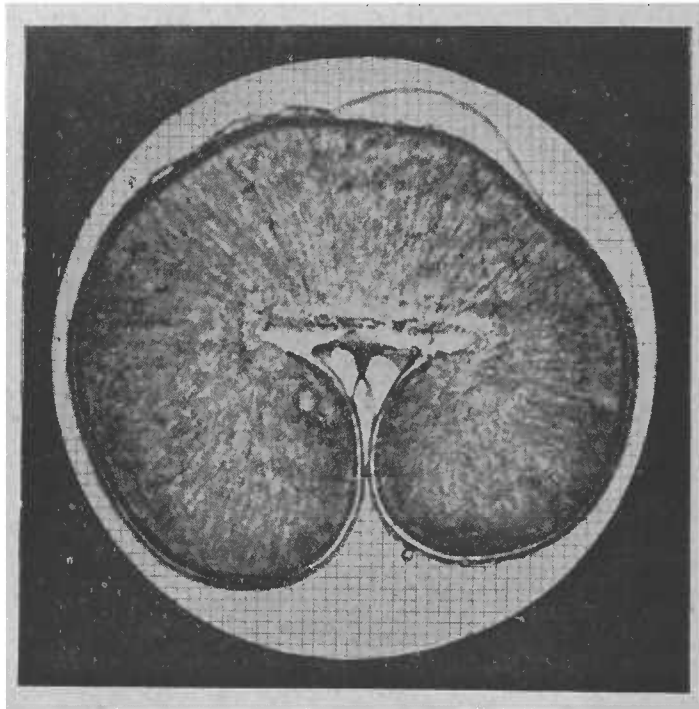


Fig. 15. — Réseau glutineux mis en liberté par la dissolution de l'amidon (agr^t = 12 diam.).

de cette partie de l'albumen provient justement de la présence du gluten qui a une couleur plus terne et moins blanche que les grains d'amidon. Quant à la dureté, elle provient aussi de la plus grande quantité de substances albuminoïdes dans la couche périphérique, ces substances azotées ayant, après condensation, plus de cohésion et plus de dureté que la matière amylacée. Cette dureté dépend également de la nature du sol et de

la température qui a existé pendant la maturation du grain de blé; plus le sol est riche en azote et plus cette température a été élevée, plus le grain de blé est sec et plus la couche périphérique de l'albumen est dure.

Naturellement, cette teinte et cette dureté varient aussi avec l'essence des blés. Plus le grain de blé est d'essence dure, plus la teinte de cet albumen est grise, et plus cet albumen est dur et transparent.

Du fait de la petitesse plus grande des grains d'amidon logés près de la périphérie, résulte nécessairement l'existence entre ces grains d'espaces plus considérables.

Ces espaces, c'est le gluten qui les remplit : d'où cette conséquence nécessaire que les portions de l'amande situées directement au-dessous de l'assise digestive doivent être les plus riches en gluten. C'est ce qui fait que les blés à grains allongés et à grande surface, sont plus riches en matière azotée que les blés à grains ronds dont la surface sphérique est nécessairement moindre.

Étant données les différences de structure et de qualité de l'albumen, nous le diviserons en trois couches différentes :

1° La partie *périphérique*, qui touche l'assise digestive. C'est la couche la plus dure et celle qui donne les plus fins gruaux (1). Par suite de leur grande teneur en gluten et partant de leur teinte grise, ces gruaux sont aussi appelés « gruaux gris ».

2° La partie *médiane*, un peu moins dure que la pré-

(1) On appelle *gruaux*, en meunerie, des granules de l'amande renfermant du gluten et de l'amidon. Ces granules sont justement, comme on le voit, des cellules de l'albumen.

cédente et donnant des grains de gruau plus gros et plus blancs.

3° La partie *centrale*, la moins dure, et celle qui contient les plus gros gruaux. C'est aussi la partie la plus blanche.

Afin de pouvoir mieux se rendre compte de la structure du grain de blé, nous résumons dans le tableau suivant les différentes parties qui le composent.

Grain de blé.	Péricarpe	{	<i>épicarpe,</i>
			<i>mésocarpe,</i>
			<i>assise digestive.</i>
	Amande	{	<i>endocarpe,</i>
			<i>embryon,</i>
			<i>albumen.</i>

CHAPITRE III

COMPOSITION EN POIDS DU GRAIN DE BLÉ.

M. Aimé Girard, qui fait autorité lorsque l'on parle du grain de blé, lui a donné en **poids** la composition suivante (1).

Enveloppe	14.36
Germe.	1.43
Amande.	84.21
	<hr/>
	100.00
	<hr/> <hr/>

Mais cette formule est le résultat de travaux de laboratoire et M. A. Girard lui-même a été le premier à signaler que les chiffres obtenus par les analyses chimiques étaient souvent inexacts (2). Il s'est aperçu que les alcalis et les acides dont on se servait pour doser les différentes substances qui composent le grain de blé faisaient disparaître une quantité considérable de produits qui, ne se trouvant plus au moment de la totalisation des résultats, étaient portés au compte des produits dosés par différence.

(1) A. Girard, *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment* (1881).

(2) A. Girard, Communication faite à l'Académie des sciences en 1897.

C'est ainsi que, bien que considérant l'assise digestive comme faisant partie de l'enveloppe, M. A. Girard ne trouvait que 14,50 pour le poids total de l'enveloppe, alors qu'en réalité, comme nous le verrons plus loin, l'enveloppe seule, telle que nous la considérons, c'est-à-dire simplement le péricarpe, vaut environ 15 p. 100 du poids total du grain de blé, ce qui la porte à près de 25 p. 100 avec l'assise digestive.

De cette erreur découlait forcément cette autre, que le poids de l'amidon, qui était dosé par différence, se trouvait alors exagéré et l'albumen était représenté comme occupant un volume plus grand que celui qu'il a réellement.

Nous allons chercher à déterminer le plus exactement possible le poids des différentes parties du grain de blé.

Dans la pratique, la meunerie à cylindres obtient en moyenne 75 p. 100 de farine, 5 p. 100 de remoulages, soit 80 p. 100 de produits farineux et 20 p. 100 d'enveloppes ou sons.

Est-ce à dire que le grain de blé ne contient que cette quantité de produits farineux et qu'on doive le considérer comme composé de 80 p. 100 d'amande et 20 p. 100 d'enveloppe ou péricarpe?

Non, car les moutures militaires sont tirées à 82 p. 100 sur blé tendre (et nous ne nous occuperons que de ceux-là) et donnent en plus environ 3 p. 100 de déchets de mouture (remoulages), ce qui fait 85 p. 100 de produits farineux et 15 p. 100 de sons.

C'est donc que la meunerie civile ne retire pas du grain de blé toute la farine qu'il renferme. Des expé-

riences pratiques donnent raison à notre supposition.

En 1884, M. A. Girard, en analysant les sons obtenus dans les moutures ayant servi d'expériences comparatives de différents systèmes de mouture, et faites par le Syndicat des grains et farines de Paris avec le concours de M. le Ministre de l'Agriculture, a obtenu dans tous les sons une teneur en produits farineux d'environ 33 p. 100 et 67 p. 100 d'enveloppe, c'est-à-dire que les sons rejetés par la meunerie, contenaient encore 1/3 de leur poids de produits farineux (1).

Or, le rendement en sons était à peu près le même dans toutes les moutures, 20 p. 100, ce qui nous donne par rapport au grain de blé 6. 60 de produits farineux et 13.40 d'enveloppe (2).

Si nous tenons compte que quelques parcelles de l'enveloppe ont été pulvérisées pendant la décortication et sont allées dans les remoulages, nous pouvons admettre, d'accord avec les résultats fournis par les moutures militaires, que le grain de blé a en poids à peu près la composition suivante :

Péricarpe 15 p. 100.
Amande 85 p. 100.

c'est-à-dire qu'il contient 85 p. 100 de produits farineux et 15 p. 100 de sons.

(1) A. Girard, *Analyse chimique et micrographique des principaux produits de mouture fournis par les expériences de 1884.*

(2) Nous verrons plus loin, en parlant de l'extraction des farines du grain de blé, pourquoi la meunerie civile n'obtient pas un plus fort rendement.

M. Balland donne les mêmes chiffres dans son volume « *Recherches sur les blés et les farines.* »

On nous fera de suite observer que nous arrivons aux mêmes chiffres que M. A. Girard, chiffres que nous avons indiqués comme inexacts au commencement de ce chapitre. C'est une simple coïncidence, car dans nos calculs, l'assise digestive est comprise dans les 85 p. 100 représentant l'amande et non dans le poids de l'enveloppe comme le faisait M. A. Girard.

Comme nous l'avons dit plus haut, c'est aux procédés chimiques employés pour le dosage des substances, qu'il faut attribuer cette différence. Du reste, en même temps que M. A. Girard signalait les inconvénients des analyses chimiques, il indiquait, dans une communication faite en 1897 à l'Académie des sciences, une nouvelle méthode d'analyse du grain de blé, en rapport avec le mode de mouture actuel et donnant à la meunerie des renseignements exacts et précis sur la composition des différentes parties du grain de blé.

Nous ne décrirons pas cette méthode, un peu longue et délicate, et nous souhaiterons qu'elle soit simplifiée pour être mise à la portée de tous les meuniers.

Nous allons examiner maintenant quelle valeur en poids il faut attribuer à chacune des membranes qui constituent le péricarpe d'une part et l'amande farineuse d'autre part.

De l'enveloppe. — *L'épicarpe*, excessivement mince, peut être recueilli dans les moulins pendant les

dernières opérations du nettoyage ou à la suite de l'opération du fendage.

On peut également l'obtenir, comme nous l'avons indiqué dans le chapitre précédent, en mouillant un certain nombre de grains.

Il représente environ 1.5 p. 100 du poids total du grain de blé.

Le *mésocarpe*, plus épais que le précédent, n'est généralement pas éliminé dans les moulins par les opérations du nettoyage ou du fendage.

On peut l'obtenir, comme l'épicarpe, à l'aide d'un mouillage plus prolongé.

Il représente environ 3.5 p. 100 du poids total du grain de blé.

L'*endocarpe*, qui n'est pas obtenu seul dans la pratique (1), peut être éliminé, néanmoins, en mettant tremper dans l'eau, pendant trois ou quatre jours, comme l'a indiqué M. A. Girard un certain nombre de grains de blé dépourvus des deux membranes précédentes et enlevant ensuite à l'aide d'une spatule en bois tous les produits farineux du grain de blé, réduits à l'état pâteux.

La membrane ainsi obtenue constitue l'endocarpe. En opérant ainsi, nous avons trouvé que l'endocarpe valait environ 10 p. 100 du poids total du grain de blé.

Nous pouvons également déterminer le poids de cette membrane par différence. Nous avons admis que l'enveloppe entière valait environ 15 % du poids total du grain de blé; si de ce chiffre nous déduisons 5 p. 100 pour le

(1) Nous avons vu que l'épicarpe et le mésocarpe se détachaient seuls du grain de blé et que l'endocarpe restait soudé à l'assise digestive.

poids de l'épicarpe et du mésocarpe réunis, nous obtenons encore 10 p. 100 pour le poids de l'endocarpe.

C'est aux mêmes résultats que nous sommes arrivés en soumettant à une mouture rationnelle des blés dépourvus de l'épicarpe et du mésocarpe par un procédé spécial que nous ferons connaître dans une prochaine brochure sur la mouture du grain de blé.

De l'amande farineuse. — Dans l'impossibilité où nous nous trouvons de pouvoir séparer mécaniquement l'amande farineuse de son enveloppe d'une part, et l'albumen de l'assise digestive d'autre part, nous ne pouvons fixer que des chiffres approximatifs pour ces deux parties du grain de blé.

Nous avons vu que l'amande entière valait 85 p. 100 du poids total du grain, et nous savons qu'elle comprend l'assise digestive, l'embryon et l'albumen.

Si nous admettons que l'embryon vaut 1.5 p. 100 du poids du grain de blé, chiffre fixé par M. A. Girard, il nous reste 83.5 p. 100 pour l'ensemble de l'assise digestive et de l'albumen.

De nombreuses expériences faites sur les derniers passages entre les cylindres pendant la décortication du grain de blé, nous permettent de considérer l'assise digestive comme valant environ 8.5 p. 100 du poids total du grain de blé.

C'est également ce chiffre qu'avait trouvé M. A. Girard pour le poids de la membrane embryonnaire.

De sorte que l'albumen vaut environ 75 p. 100 du poids total du grain de blé.

Si nous rassemblons les résultats obtenus pour les différentes parties du grain de blé, nous aurons le tableau suivant :

Grain de blé.	{	Péricarpe	{	<i>épicarpe.</i>	1.5	}	15
				<i>mésocarpe.</i>	3.5		
				<i>endocarpe.</i>	10 »		
		Amande	{	<i>assise di-</i>		}	85
	<i>gestive.</i>			8.5			
	<i>embryon.</i>			1.5			
	<i>albumen</i>			75 »			
							} 100

CHAPITRE IV

ALIMENTATION ET NUTRITION DU GRAIN DE BLÉ.

C'est dans l'air et dans le sol que la plante puise les matériaux élémentaires nécessaires à la synthèse des *produits organiques* (1) complexes qu'elle élabore pendant toute la durée de sa *végétation*.

Parmi les nombreux corps simples que la chimie connaît aujourd'hui, quatorze seulement paraissent entrer nécessairement dans la constitution du corps de la plante.

Ce sont : le *carbone*, l'*hydrogène*, l'*oxygène*, l'*azote*, le *phosphore*, le *soufre*, le *potassium*, le *magnésium*, le *calcium*, le *silicium*, le *fer*, le *cuivre*, le *zinc*, le *manganèse*.

Le *carbone* provient de l'acide carbonique de l'air et du sol. C'est surtout dans l'acide carbonique de l'air que le végétal puise le carbone qui lui est nécessaire. Le sol, qui renferme des liquides et des gaz, en fournit aussi par l'absorption des salines où le carbone tient sa place. Les atmosphères du sol renferment, en effet, une certaine quantité d'acide carbonique provenant des dé-

(1) On appelle substances organiques les nombreux composés que l'on rencontre dans les organes des végétaux et des animaux.

compositions et des fermentations des substances organiques enfouies dans le sol sous forme d'engrais.

L'*hydrogène* n'est pas assimilé à l'état gazeux libre. Il l'est sous forme d'eau, d'ammoniaque ou de corps organique. Il est fourni par l'eau qui existe dans les deux milieux où la plante puise son alimentation.

La plante trouve l'*oxygène* et l'*azote* à l'état de mélange dans l'atmosphère et en même temps dans le sol, les racines absorbant de l'eau aérée qui est plus ou moins riche en oxygène dissous. L'oxygène est aussi assimilé à l'état de combinaison soit avec l'hydrogène dans l'eau, soit avec l'hydrogène et le carbone dans le glucose et autres corps organiques, soit avec des corps minéraux acides ou basiques.

C'est principalement sous forme d'acide nitrique, provenant des substances azotées mises par les engrais à la disposition de la plante, que l'azote est assimilé. Cependant, de récentes découvertes ont appris que certaines plantes, telles que les légumineuses, absorbent l'azote libre de l'air à l'aide de microbes situés dans leurs racines. Peut-être en est-il de même dans le végétal qui nous préoccupe.

C'est dans le sol que la plante puise les matières minérales dont elle a besoin. Elle les solubilise, grâce à une sécrétion d'acide carbonique (peut-être à l'aide de diastases), qui se produit aux extrémités radicellaires; elle les absorbe par endosmose.

Le *phosphore* est assimilé sous forme d'acide phosphorique fourni par les phosphates; le *soufre* sous forme d'acide sulfurique provenant des sulfates. Le *si-*

licium est assimilé sous forme d'acide salicilique dans un silicate double. Le *potassium* et le *magnésium* sont assimilés sous forme d'oxydes et aussi sous forme de chlorures. Le *fer*, le *cuivre*, le *zinc* et le *manganèse*, enfin, sont assimilés sous forme d'oxydes.

Pour bien comprendre les diverses transformations que subissent ces éléments avant d'arriver dans le grain de blé, il est nécessaire que nous disions quelques mots de la **cellule** qui est l'élément fondamental des tissus et des divers organes de la plante.

Quand, dans une plante, on examine une partie jeune quelconque, encore en voie de croissance, on y distingue aussitôt quatre choses :

1° A l'extérieur, une couche mince, homogène et continue de substance solide, incolore, ordinairement transparente, qui est protectrice, c'est la *membrane*.

2° A l'intérieur, intimement appliquée contre la membrane et remplissant en grande partie toute la cellule, une matière molle, semi-liquide, non élastique, incolore, et finement granuleuse, appelée *protoplasme*.

3° Au sein même du protoplasme, un corpuscule sphérique, séparé du protoplasme ambiant par un contour très net; ce corpuscule se nomme un *noyau*.

4° Enfin, dans la masse du protoplasme, autour du noyau, des corps plus petits, doués d'une grande activité, ce sont des *leucites*.

Toute cellule de tissu vivant se compose ainsi d'une membrane, d'un protoplasme, d'un noyau et de divers leucites.

La *membrane* n'est d'abord que la couche périphé-

rique du protoplasme, exempte de granules et modifiée dans ses propriétés physiques, devenue notamment plus dure et plus résistante. Cette membrane fait partie intégrante du protoplasme, et, s'il vient à en être dépouillé, il en régénère une aussitôt. Puis elle s'entoure de bonne heure d'une substance ternaire, plus condensée que l'amidon et très résistante, appelée *cellulose*.

Le *protoplasme* est un mélange d'eau (environ 75 p. 100) avec un plus ou moins grand nombre de substances diverses : *albuminoïdes* (1), *matières grasses*, *matières minérales*, etc. Ce sont ces substances en solution qui lui donnent cette apparence finement granuleuse que nous avons indiquée plus haut.

Sous les influences les plus variées, chaleur, humidité, action de l'oxygène, incitations lumineuses, électriques ou mécaniques, en un mot, grâce aux modifications de toutes sortes survenues dans le milieu ambiant ou intérieur, le protoplasme change lentement de forme. Il se rétracte, émet des prolongements et se creuse de cavités contenant de l'eau et des matières dissoutes.

Ces cavités sont appelées des *hydroleucites*. Petits, lorsque la cellule est encore jeune, ils grossissent en absorbant de l'eau puis bientôt se touchent et se confondent de proche en proche en hydroleucites plus grands. Enfin, la croissance des hydroleucites continuant, les

(1) On nomme *albuminoïdes* ou matières protéiques, les principes analogues au blanc d'œuf, à la fibrine, à l'osséine, etc., matière qui, en s'unissant à l'eau et à divers sels, forment la trame vivante et active des protoplasmes cellulaires. Tous ces principes contiennent cinq éléments qui leur sont communs : carbone, azote, hydrogène, oxygène et soufre.

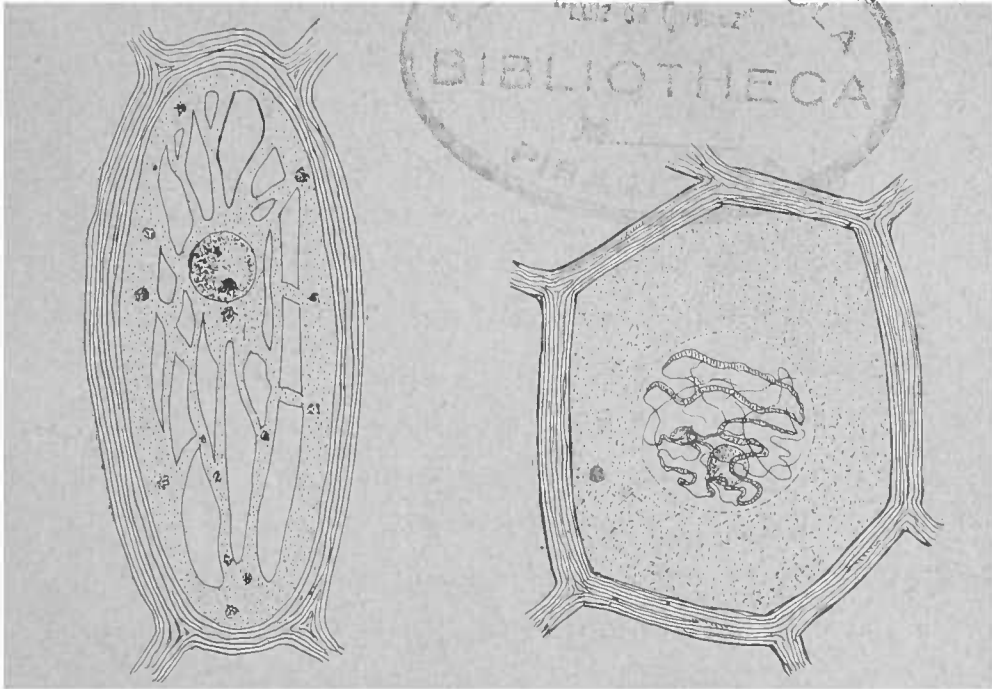


Fig. 16.

Cellule végétale avec son enveloppe de cellulose, son protoplasme, son noyau, ses vacuoles ici représentées vides, et ses granulations protoplasmiques.

Fig. 17.

Cellule végétale avec son noyau central contenant le peloton de bâtonnets réunis en un long filament, et le nucléole.

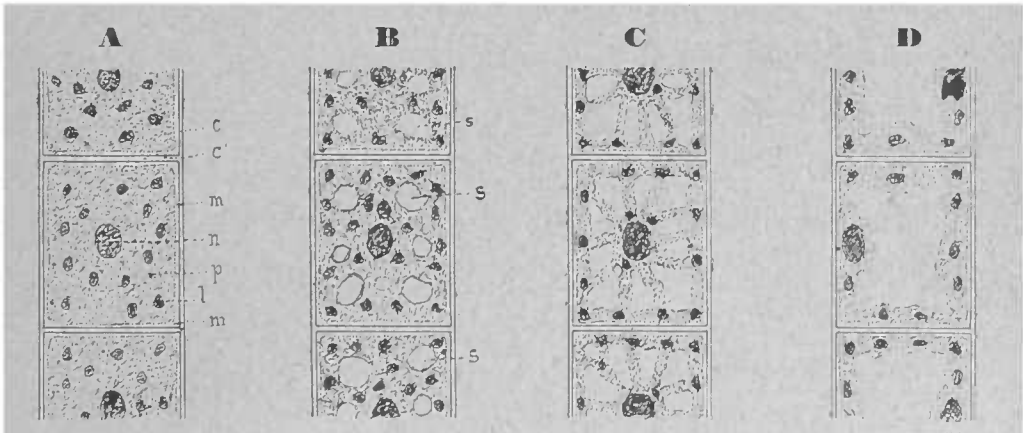


Fig. 18. — SECTION LONGITUDINALE DU CORPS D'UNE PLANTE

A. premier âge : *m*, membrane; *c*, sa couche cellulosique; *m'*, les deux feuillets albuminoïdes de la cloison; *c'*, sa lame cellulosique mitoyenne; *p*, protoplasme plein; *n*, noyau; *l*, leucites. — **B.** après le grossissement des hydroleucites avec leurs vacuoles pleines de suc *s*. — **C.** phase des bandelettes. — **D.** après la disparition des bandelettes et la fusion de tous les hydroleucites de la cellule en un seul.

bandelettes de protoplasme qui les séparent s'amincissent et se rompent, et, finalement, tous les hydroleucites sont réunis en un seul.

Désormais, le protoplasme ne forme plus qu'une couche pariétale dans l'épaisseur de laquelle sont nichés les noyaux et les leucites, toute la région centrale de la cellule est occupée par le grand hydroleucite.

En de certaines places, la cloison albuminoïde de la cellule demeure mince et ne produit pas de cellulose. Ces places minces et qui dessinent alors une sculpture en creux sur le fond épaissi de la membrane, s'appellent des *punctuations*. C'est par elles que s'opèrent les échanges entre les protoplasmes voisins.

Les hydroleucites sont la source où le protoplasme puise l'eau et les substances dont il a besoin pour s'accroître; ils sont aussi le réservoir où il déverse les matières solubles qui sont les produits de son activité.

Le protoplasme est donc le siège de modifications incessantes et d'une véritable circulation.

Le *noyau*, petite cellule incluse dans la grande, est muni d'une enveloppe hyaline propre, contenant un suc alcalin presque transparent, appelé *suc nucléaire*. Il est parsemé de légères granulations dont une plus importante et plus grosse, le *nucléole*. Dans ce suc, baignent un certain nombre de *bâtonnets* en U; en se posant bout à bout, ces bâtonnets prennent l'aspect d'un filament enroulé et pelotonné sur lui-même, appelé *filament chromatique*.

Ces bâtonnets sont formés d'une substance semi-solide, contenant à l'intérieur des corpuscules d'une matière

acide, riche en phosphore, appelée *nucléine*. La nucléine possède la propriété de fixer les matières colorantes, entre autres la safranine. Par conséquent, elle colore fortement le noyau au sein du protoplasme incolore.

Le noyau est l'organe principal de la cellule. C'est un être vivant, un *ferment organisé*, comme nous le verrons plus loin, qui préside à l'harmonie des fonctions de la cellule, à son organisation et, par conséquent, à sa conservation et à sa reproduction.

C'est lui qui dirige la fabrication des substances indispensables à son accroissement et au développement de la cellule.

C'est lui qui crée ces petits corpuscules appelés plastides ou leucites qui courent dans toutes les directions lui chercher les matériaux nécessaires à son activité.

C'est de lui, enfin, que dépend la vie de la cellule. En effet, lorsqu'une cellule est mécaniquement séparée en deux parts dont l'une contient le noyau et l'autre le protoplasme, la partie contenant le noyau reproduit cette cellule tout entière, mais la portion uniquement protoplasmique restée sans noyau, tout en continuant quelque temps encore à fonctionner, dépérit bientôt et disparaît, sans se reproduire jamais (1) (*Balbani*).

Les leucites sont, comme le noyau, composés de substances albuminoïdes, mais ils ne contiennent pas de bâtonnets. Pour nous, comme nous le dirons plus loin, ils sont les diastases que l'on rencontre dans toutes les plantes.

(1) Armand Gautier, *Leçons de chimie biologique*, 1897.

Ces leucites ont chacun une composition différente et chacun un rôle spécial à remplir. Mis en contact avec les substances apportées par le suc cellulaire, ils les décomposent pour les faire servir à l'alimentation du protoplasme. Ils sont les agents transformateurs du noyau.

Puis, ces substances décomposées, sous l'influence de la chaleur et de l'activité du noyau, et par des réactions chimiques encore peu connues, sont transformées en principes immédiats qui servent à l'accroissement du noyau et au développement de la cellule.

Le premier produit qui apparaît est, d'après M. Armand Gautier (1), un composé ternaire appelé *aldéhyde* CH^2O . Il provient de la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau. Cet aldéhyde, en s'hydrogénant donne du *glucose* $\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^6$; enfin, ce glucose, en perdant de l'eau donne naissance au *sucré de canne* $\text{C}^{12}\text{H}^{22}\text{O}^{11}$, à l'*amidon* $\text{C}^{12}\text{H}^{20}\text{O}^{10}$ et à la *cellulose*, $\text{C}^{24}\text{H}^{40}\text{O}^{20}$, c'est-à-dire, à toute la série des *hydrates de carbone*.

D'autre part, les *nitrates* apportés par la sève sont décomposés et les acides qui en dérivent, acide formique CH^2O^2 et acide cyanhydrique CAzH donnent naissance à l'*albumine* et aux acides organiques que l'on trouve dans la plante.

Une fois formé, l'*albuminoïde* primordial, subit une sorte d'assimilation qui le fait varier suivant les cellules ou les tissus. C'est ainsi qu'en s'unissant au soufre et au phosphore, cette *albumine* devient la *fibrine*, la *caséine*, la *gliadine*, la *nucléine*...; en un mot elle donne tous

(1) Armand Gautier, *Leçons de chimie biologique*, 1897.

les albuminoïdes que nous avons déjà signalés dans le protoplasme.

Les matières grasses sont produites par l'oxydation des hydrates de carbone et les matières minérales sont également transformées avant d'être assimilées.

Toutes ces substances élaborées sont utilisées immédiatement ou mises en réserve pour être reprises plus tard.

Ainsi, ce petit organisme, la *cellule*, est comme le résumé de tout ce qui se passe dans l'individu tout entier. Comme l'individu complet, la cellule a des organes séparés, les leucites, qui travaillent et assimilent la matière et un appareil général qui les crée, les dirige et dépense les matériaux qu'ils lui apportent suivant les besoins de l'être tout entier. « Elle a à sa disposition un certain nombre, probablement un grand nombre de serviteurs qu'elle fait concourir à son entretien, à son bien-être, à son besoin de multiplication, à tenir son rang et à jouer son rôle dans le monde, à se défendre de la mort. Bref, chaque cellule vivante nous apparaît en quelque sorte comme la cour d'un prince indien, avec sa hiérarchie, son cérémonial immuable, et ses domestiques nombreux et tous spécialisés (1). »

Examinons maintenant, comment se forment les cellules des tissus et des organes.

La formation de ces cellules s'opère par dédoublement. A mesure que le protoplasme augmente de volume, toujours revêtu par la membrane qui s'accroît en

(1) E. Duclaux, *Traité de microbiologie*, 1898.

même temps, le noyau grossit aussi. Quand il a acquis une certaine dimension, il se divise en deux moitiés égales, et les nouveaux noyaux s'écartent l'un de l'autre pour former chacun une nouvelle cellule; ils grandissent ensuite pour subir plus tard une nouvelle bipartition et ainsi de suite.

Tout noyau procède donc d'un noyau antérieur par voie de dédoublement. Au moment où un noyau ayant acquis sa dimension maximum se prépare à se diviser, son contour s'efface et la portion de sa masse qui n'est pas de la nucléine se confond avec le protoplasme. Le peloton de nucléine se déroule et isole ses bâtonnets; puis chacun de ceux-ci se divise suivant la longueur en deux moitiés qui s'écartent. De part et d'autre, toutes les moitiés correspondantes se rapprochent et constituent deux nouveaux pelotons qui se revêtent et combrent leurs interstices avec du protoplasme ordinaire, et enfin s'isolent d'avec le protoplasme général pour former les noyaux des deux nouvelles cellules. On voit que chaque noyau possède exactement la moitié de la nucléine du noyau ancien, disposée dans le même nombre de bâtonnets, moitié moins gros (1).

Les leucites se répartissent également dans chaque cellule.

Nous comprenons maintenant comment se forment les substances que l'on trouve dans le grain de blé et nous venons de voir également comment s'est développée l'assise digestive qui entoure l'albumen.

(1) Van Tieghem, *Éléments de botanique*, 1898.

Nous avons dit qu'après la fécondation, les sucs de la plante étaient attirés dans le grain de blé. D'abord, ce sont les principes élaborés par les cellules qui viennent alimenter l'ovule fécondé; puis arrive le tour des matériaux mis en réserve dans ces cellules; et enfin, c'est le protoplasme lui-même, qui est entraîné dans le suc cellulaire et vient participer au développement du grain.

Nous avons dit aussi que, arrivés dans le grain de blé, les sucs de la plante se répartissaient, les uns alimentant l'assise digestive, les autres allant former l'albumen. Nous nous expliquons maintenant pourquoi ces deux parties de l'amande n'ont pas la même composition. C'est que l'*assise digestive* et l'*embryon* sont des *tissus vivants*, qui doivent fournir plus tard, à la jeune plante, les éléments indispensables à la formation de ses tissus et de ses organes; aussi y voit-on s'accumuler les principes qui constituaient le protoplasme de la plante, c'est-à-dire : noyaux, leucites, substances albuminoïdes, matières grasses et minérales.

L'*albumen*, au contraire, qui n'est qu'un *organe de réserve* et doit seulement fournir à la plante les matières nécessaires à son alimentation première, en attendant qu'elle puisse subvenir elle-même à ses besoins, ne contient pas de principes actifs; il est simplement composé de substances de réserve, c'est-à-dire, de gluten et d'amidon.

CHAPITRE V

COMPOSITION CHIMIQUE DU GRAIN DE BLÉ.

Soumis à l'analyse, le grain de blé donne :

- | | | |
|--------------------------------|---|---|
| 1° Des substances azotées. | { | <i>Solubles.</i> — Albumine.
<i>Insolubles.</i> — Gluten, ligneux. |
| 2° Des substances non azotées. | { | <i>Solubles.</i> — Sucre, glucose.
<i>Insolubles.</i> — Amidon, cellulose. |
| 3° Des matières grasses | \| | Graisse, huile, essence. |
| 4° Des matières minérales. | { | Silice, phosphore, potasse, chaux,
fer, magnésie, etc., etc. |

Voici, d'après M. A. Girard, la composition de quatre blés, d'espèce différente. Les analyses ont été faites avec sa nouvelle méthode.

		BLÉ				
		de Bordeaux (S.-et-Oise)	d'Altkirch (Meuse).	de Flandre (Nord).	de St-Laud (E.-et-Loir).	
Matières azotées.	<i>Solubles.</i> | Albumine.	1.90	1.83	1.62	2.08	
	<i>Insolubles.</i> {	Gluten	7.96	8.25	8.80	8.51
		Ligneux.	1.81	2.31	2.32	1.75
Matières non azotées.	<i>Solubles.</i> {					
	Sucre.	0.80	1.13	1.58	0.80	
	Glucose.	2.58	2.82	3 »	2.95	
	<i>Insolubles.</i> {	Amidon.	69.94	68.56	67.86	70.46
Cellulose		10.92	10.83	11.39	10.64	
Matières grasses		2.15	1.99	1.88	1.93	
Matières minérales.		1.94	2.28	1.55	0.88	
		100.00	100.00	100.00	100.00	

Nous allons examiner comment ces substances se trouvent réparties dans le grain de blé.

Nous avons vu que le grain de blé se composait d'un *péricarpe* et d'une *amande*, et que ce péricarpe provenait de l'organisation d'une feuille. Or, si nous considérons

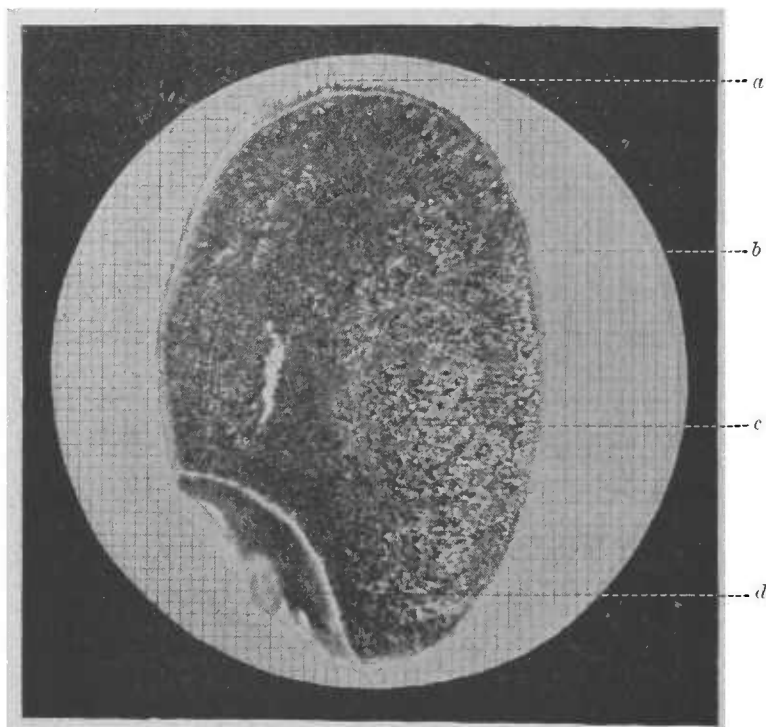


Fig. 19. — Coupe longitudinale d'un grain de froment (agr^t = 12 diam.).
a, poils; b, péricarpe; c, amande; d, embryon.

que, au moment de la maturation de la graine, la feuille comme toutes les autres parties de la plante, abandonne toutes les substances azotées, non azotées, grasses et minérales, contenues dans ses cellules, et qui sont nécessaires à la formation et au développement du grain de blé, à l'exception de quelques matières minérales comme la silice, la chaux, la soude, le fer, le cuivre, qui restent dans les tissus épidermiques de la tige et des

feuilles, nous sommes déjà convaincus que l'amande seule contient la totalité des *substances nutritives* que renferme le grain de blé.

Nous avons dit aussi que l'*embryon* était l'organe essentiel de la graine, une plante en miniature; et que

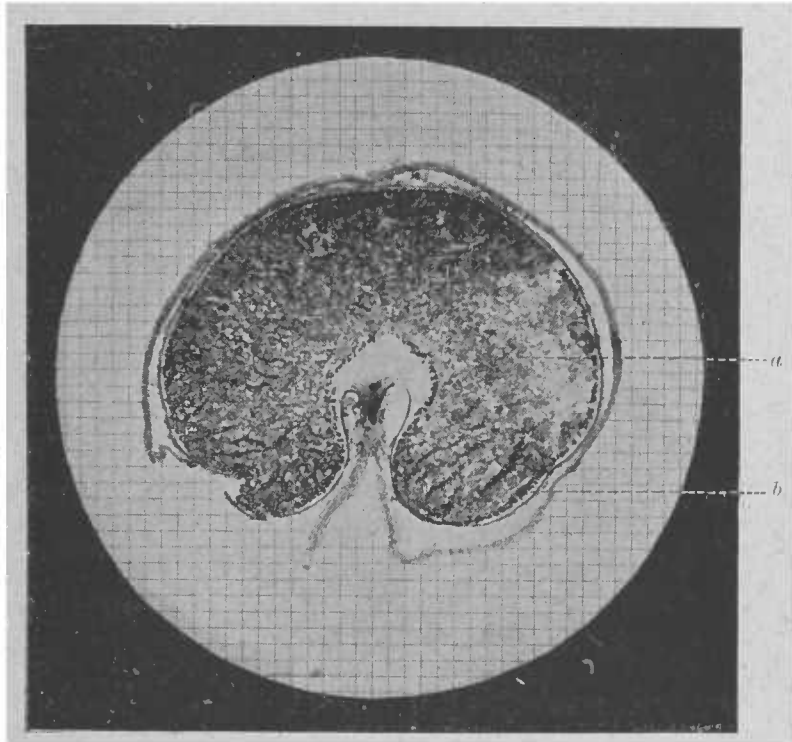


Fig. 20. — Coupe transversale d'un grain de froment (agr^t = 17 diam.).
a, albumen; *b*, assise digestive.

les *substances plastiques* de la plante, celles vraiment actives, s'accumulaient dans l'embryon et dans l'assise digestive qui n'en est que le prolongement, tandis que le gluten et l'amidon, substances de réserve, formaient la totalité de l'*albumen*. Nous trouverons donc dans l'assise digestive et l'embryon, les substances indispensables au développement des tissus et des organes d'une plante, c'est-à-dire, les principes essentiels du proto-

plasme : noyaux, leucites, substances albuminoïdes, matières grasses et minérales. Nous ne trouverons que du gluten et de l'amidon dans l'albumen.

Un examen approfondi de chacune des parties du grain de blé, va nous prouver qu'il en est bien ainsi.

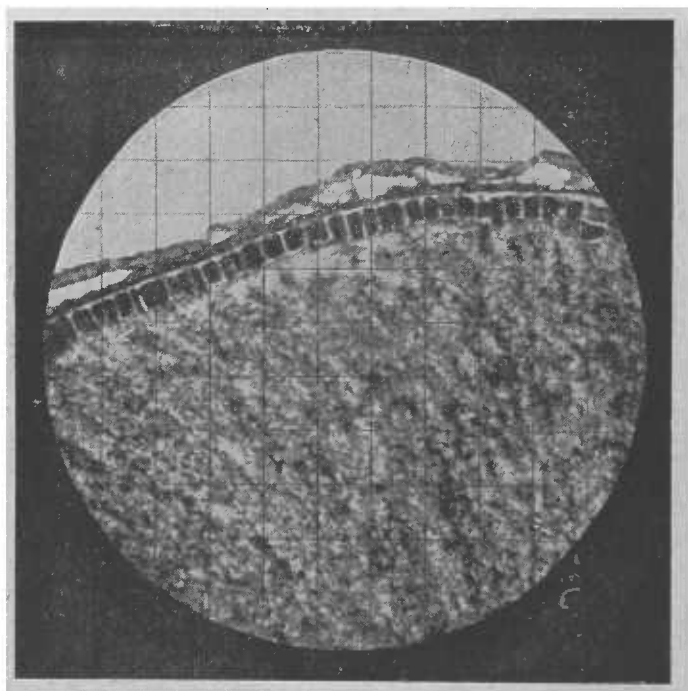


Fig. 21. — Réseau glutineux mis en liberté par la dissolution de l'amidon (agr^t = 55 diam.).

Du péricarpe. — L'enveloppe du grain de blé a donc la même composition qu'une feuille, c'est-à-dire qu'elle est formée de *ligneux* et de *cellulose* contenant quelques matières minérales.

Nous avons vu que la cellulose formait les membranes des cellules; c'est une substance ternaire composée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. A l'état pur, c'est une matière blanche, solide, insoluble; c'est de l'amidon condensé.

Mais dans les feuilles, elle n'existe pas, ou presque pas, à l'état pur. Tantôt, comme dans l'épicarpe et le mésocarpe, elle est imprégnée d'une substance ternaire nommée *lignine*, renfermant plus de carbone et plus d'hydrogène que la cellulose, ce qui lui donne plus de

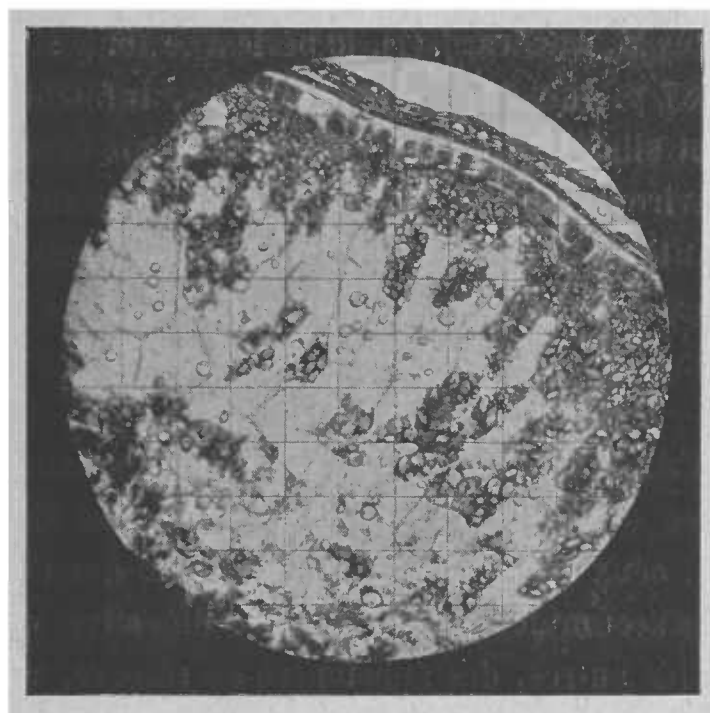


Fig. 22. — Réseau cellulaire partiellement débarrassé de gluten et d'amidon
(agr^t = 55 diam.)

dureté et la rend cassante; elle ressemble alors à du bois, c'est du *ligneux*. Tantôt, la cellulose est transformée en une substance ternaire nommée *cutine*, beaucoup plus pauvre en oxygène, ce qui la rend plus élastique et lui donne toutes les propriétés bien connues du liège. Ce tissu, appelé *tissu cutineux*, forme la majeure partie de l'endocarpe.

Enfin, comme dans l'endocarpe, elle est imprégnée de

principes colorants qui donnent au grain de blé sa teinte jaune ou rouge orangé.

C'est dans l'épicarpe que se trouvent les matières minérales de l'enveloppe. Ces substances incrustent les parois des cellules et en augmentent l'imperméabilité et la solidité.

D'après M. A. Girard (1), le péricarpe fournit à l'analyse, 1.87 p. 100 de cendres blanches, infusibles, calcaires et siliceuses à la fois (2). Or, comme le péricarpe vaut environ 15 p. 100 du poids total du grain de blé, la quantité de matières minérales que renferme le péricarpe, est donc d'environ 0.10 p. 100 du poids total du grain de blé.

De l'amande. — Nous savons que les sucres de la plante se divisent en arrivant dans l'assise digestive; les uns, ceux nécessaires à la formation des tissus vivants, s'accumulent dans l'assise digestive et l'embryon; les autres, des substances de réserve, viennent former l'albumen.

Examinons donc la composition de ces tissus vivants, ou plutôt, du *protoplasme* qui sert à les former.

Le protoplasme, au point de vue chimique, est un mélange d'eau et d'un plus ou moins grand nombre de principes immédiats en voie de transformation continue. Parmi toutes ces substances, les unes sont binaires ($C^x H^y$) comme certains carbures aromatiques;

(1) A. Girard, *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment* (1884).

(2) C'est la *silice* qui donne à l'épicarpe la dureté du quartz.

d'autres sont ternaires ($C^x H^y O^z$), tels sont : les glucosides (tannin, etc.), les hydrates de carbone (amidon, dextrines, sucres, corps gras); d'autres sont quaternaires ($C^x H^y O^z Az$) : c'est le groupe des matières dites albuminoïdes (albumine végétale, caséine végétale, etc.); des amides comme la tyrosine et la leucine.

Enfin, le protoplasme renferme en dissolution des matières minérales qui en constituent les cendres (bases alcalines combinées aux acides organiques). Ces substances minérales sont principalement des sels très riches en potasse et des phosphates divers.

Les substances albuminoïdes et les matières minérales sont les espèces réellement constitutives de la cellule, absolument indispensables à son fonctionnement. Les autres substances les accompagnent généralement, mais sont souvent des produits de l'activité cellulaire ou des réserves. Plusieurs sont directement apportées par les aliments; d'autres sont issues par dédoublements, fermentations, oxydations, etc., des matières albuminoïdes du premier groupe.

Nous allons étudier séparément les principaux éléments du protoplasme.

Albuminoïdes. — On entend par matières albuminoïdes ou *substances protéïques*, les principes analogues au blanc d'œuf, à la fibrine, à l'osséine, etc... Tous ces principes contiennent du carbone, de l'azote, de l'oxygène, de l'hydrogène, du soufre et quelques-uns du phosphore.

Quoique différentes par leur origine, leurs propriétés

et leur composition, les substances protéiques présentent un ensemble de caractères communs qui les ont fait réunir dans une même famille naturelle.

Elles se présentent généralement sous la forme de matières amorphes, filantes et gélatineuses, lorsqu'elles sont en solution, cornées et translucides à l'état sec.

Les matières albuminoïdes se transforment sous la moindre influence, action de la chaleur et du froid, des gaz, des sels neutres, des ferments, etc... Leur simple dilution dans l'eau, un changement de milieu, l'agitation ou le repos, le passage à travers certaines membranes inertes, etc., peuvent leur imprégner des changements importants tels que la solubilité ou l'insolubilité.

On peut donc rencontrer les substances albuminoïdes à l'état soluble et à l'état insoluble. On les rencontre aussi quelquefois à l'état cristallin, qui est une sorte d'état transitoire entre les deux précédents.

Sous l'action des ferments, des alcalis ou des acides, elles s'hydratent facilement, et, de cette hydratation, résulte une série d'amides complexes, de la tyrosine, ou d'autres corps aromatiques.

L'eau agit sur elles pour les dissoudre, les hydrater, dissocier leurs combinaisons avec les alcalis ou les sels.

Les acides minéraux tendent à dédoubler les matières protéiques en les transformant en isomères solubles ou insolubles.

La plupart des matières albuminoïdes sont unies à la fois à de la potasse, à de la soude ou de la chaux, et à des sels, chlorures alcalins et terreux, phosphates terreux, etc.

Certains de ces corps protéiques, insolubles à l'état naturel, se dissolvent dans les sels neutres : ainsi, la fibrine, se dissout dans le sel marin au 10° et donne une combinaison instable, que l'eau dissocie et précipite.

Les sels peuvent modifier plus ou moins ces mêmes matières en s'unissant à elles ou déplaçant les parties minérales qui leur sont unies, souvent aussi en provoquant lentement des hydratations et des *peptonisations* (1).

On comprend maintenant toutes les transformations qui peuvent s'opérer dans le sein du protoplasme et l'on conçoit son activité.

Les substances albuminoïdes que l'on trouve dans le végétal qui nous occupe sont : l'*albumine*, la *fibrine*, la *caséine*, la *gliadine*, la *nucléine*.

L'**albumine** est une matière transparente et inodore ; elle constitue la majeure partie du blanc d'œuf. Elle est soluble dans l'eau. Soumise à une température de 75° elle se coagule et devient dure, blanche et opaque.

Elle a la composition suivante :

	Th. Osborne.	J. B. Dumas.	Ritthausen.
Carbone	53.02	53.74	53.12
Hydrogène	6.84	7.11	7.18
Azote.	16.80	15.65	17.60
Soufre	1.28	23.50	1.55
Oxygène	22.06			20.55

(1) On appelle *peptones* les produits définitifs résultant du dédoublement des albuminoïdes par les ferments digestifs, aidés des acides ou des sels alcalins. Elles sont toutes caractérisées par leur incoagulabilité à chaud, leur grande solubilité dans l'eau et dans l'alcool affaibli.

La **fibrine végétale** ressemble en tous points à la fibrine du sang. C'est une substance d'un jaune brunâtre, translucide et d'une consistance fibreuse.

Molle et élastique à l'état humide, elle devient dure et cassante quand elle est desséchée. La fibrine est insoluble dans l'eau, mais peut entrer en dissolution dans les chlorures alcalins, dans les carbonates ou les phosphates solubles.

Voici sa composition d'après M. Osborne.

Carbone.	51.03
Hydrogène	6.85
Azote	18.39
Soufre.	0.69
Oxygène	23.04

La **caséine** est une matière solide, blanche, pulvérulente, insoluble dans l'eau, mais soluble dans les milieux alcalins tels que le protoplasme.

Elle est précipitée par la neutralisation de sa solution ou sous l'influence d'un excès de sels neutres.

Elle contient généralement un peu de phosphore provenant de la nucléine à laquelle elle se trouve souvent unie.

Elle se compose de

Carbone.	53.30
Hydrogène	7.07
Azote	15.91
Soufre.	0.82
Oxygène.	22.04

La **gliadine** est une substance gélatineuse analogue à l'osséine des os, à la cartilagine, aux fibres élastiques

Elle est insoluble dans l'eau; elle a à peu près la composition suivante :

Carbone.	50.1
Hydrogène	7.1
Azote	18.5
Soufre } Oxygène }	24.4

Ces substances albuminoïdes unies à une matière riche en phosphore, la nucléine, forment les tissus des noyaux et des leucites.

La **nucléine** est une substance amorphe, blanche, légèrement soluble dans l'eau, mais soluble dans les carbonates et phosphates qu'elle sature. Elle est surtout réunie à la caséine.

Sa composition centésimale est la suivante :

	NUCLÉINE du jaune d'œuf.	NUCLÉINE du lait	NUCLÉINE du cerveau.	NUCLÉINE de la levure.
Carbone . .	42.11	48.5	50.5	40.8
Hydrogène.	6.08	7.1	7.8	5.4
Azote . . .	14.33	13.3	13.2	16.0
Phosphore. .	5.19	4.6	2.1	6.2
Soufre. . .	0.55	»	»	0.38
	(Bunge).	(Lubavine).	(Miescher).	(Rossel).

Les *matières protéiques* sont souvent transformées par les acides et les bases, et plus particulièrement par les diastases qui existent dans le protoplasme. Elles se dédoublent et s'hydratent pour former des substances plus simples; d'abord, des albumoses ou *propeptones* ;

ensuite, des *peptones* (1). Ce sont ces peptones, qui, en s'hydratant encore, donnent naissance aux principes aromatiques, tels que la tyrosine et la leucine.

Les peptones sont des substances solubles et facilement dialysables. Chaque albuminoïde spécial étant apte à se dédoubler et à s'hydrater, on comprend que les peptones soient différentes suivant leur origine.

Hydrates de carbone. — Les hydrates de carbone sont des substances ternaires composées de carbone, d'oxygène et d'hydrogène; elles ne contiennent pas d'azote.

Les hydrates de carbone les plus répandus dans le blé sont le *glucose*, le *sucre* et l'*amidon*.

Nous avons vu que les hydrates de carbone provenaient de la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau et qu'en se combinant à l'azote apporté par la sève, ils donnaient les substances albuminoïdes. Nous avons dit aussi, que ces albuminoïdes pouvaient redonner à leur tour des hydrates de carbone.

Le **glucose**, $C^6 H^{12} O^6$, est le premier hydrate de carbone qui se forme dans la plante. Il donne ensuite de l'amidon puis de la cellulose.

C'est une substance amorphe, d'un blanc légèrement jaunâtre, soluble dans l'eau. Il sucre trois fois moins que le sucre ordinaire (2).

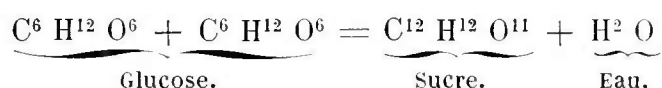
(1) Voir note, page 59.

(2) Dans le commerce, on trouve le *glucose* en masses molles ou en cristaux inaltérables à l'air.

Le glucose fermente directement en présence de la levure de bière.

Le **sucre** $C^{12} H^{12} O^{11}$ est un corps solide, blanc inodore et soluble dans l'eau (1).

Le sucre ordinaire peut être considéré comme résultant de la combinaison de deux équivalents de glucose avec élimination d'un équivalent d'eau.



Le sucre ne subit pas immédiatement la fermentation; les ferments fixent d'abord sur le sucre un équivalent d'eau, puis le transforment en glucose. On obtient alors la réaction inverse.

L'**amidon** est la substance de réserve par excellence. Il se présente sous l'aspect de grains solides, de forme ovoïde, et de dimensions variables. Leur petit diamètre varie entre 16 et 28 millièmes de millimètre et leur gros diamètre entre 33 et 56 millièmes de millimètre. Barral indique comme dimensions moyennes 40 sur 15 millièmes de millimètre.

Bien entendu, ces dimensions ne se rapportent qu'à l'amidon de blé, car elles varient suivant les espèces végétales.

Les grains d'amidon sont formés de couches concen-

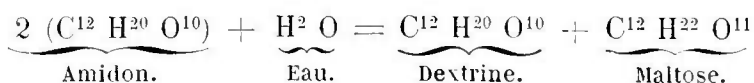
(1) On appelle *saccharoses* des sucres facilement cristallisables dont le type est le sucre ordinaire extrait de la canne à sucre et de la betterave. La galactose ou sucre de lait signalée par M. A. Girard dans le grain de blé est également un saccharose.

triques qui se sont solidifiées successivement de l'extérieur à l'intérieur; aussi les couches extérieures, plus anciennes, sont-elles les plus fortement agrégées. Elles présentent au centre une cavité vide que l'on aperçoit comme une tache sous le microscope et que l'on appelle le hile. C'est par le hile que les grains d'amidon reçoivent la matière qui doit servir à leur développement.

Le grain d'amidon peut être décomposé en deux substances, l'une facilement dissoute, colorée en bleu par l'iode en présence de l'eau, c'est la *granulose*. L'autre conservant la forme du grain et que l'iode colore en jaune rougeâtre; c'est l'*amylose*, qui représente 1/8 du poids total au maximum.

L'amidon n'est donc pas une substance homogène. L'amidon est insoluble dans l'eau et dans la plupart des dissolvants organiques. Maintenu longtemps à 100°, il se transforme en amidon soluble.

Les acides minéraux étendus, ainsi que la diastase du malt (amylase, céréaline), transforment l'amidon en *dextrine* et *maltose* :



Puis la dextrine est transformée en *maltose* et enfin le maltose donne du *glucose*

En somme, l'amidon rétrograde en sucre qui se transforme en glucose.

Matières grasses. — Les matières grasses que l'on rencontre dans le protoplasme sont des corps gras

azotés, principalement formés par les *acides stéariques, margariques et oléiques*. Elles se trouvent dans le blé à l'état liquide sous forme de gouttelettes huileuses.

Elles proviennent soit du dédoublement des hydrates de carbone avec oxydation des produits obtenus, soit du dédoublement des substances albuminoïdes sans intervention de réaction oxydante.

Les matières grasses sont des substances transitoires qui seront transformées au moment de la végétation, par un ferment spécial, appelé saponase, et que nous étudierons plus loin.

Elles sont facilement oxydables et s'altèrent rapidement à l'air; on dit qu'elles *rancissent*.

Principes aromatiques. — Les principes aromatiques des végétaux n'ont aucune analogie chimique avec les corps gras. Ce sont des principes immédiats qui proviennent, comme nous l'avons dit, du dédoublement des substances albuminoïdes : telles sont la tyrosine et la leucine. Ils sont produits par l'albumine, la fibrine et la caséine; la gliadine n'en donne pas.

Ils sont liquides à la température ordinaire et se volatilisent à 100°. Sous l'influence de l'air, ils s'oxydent et se transforment en résine.

Matières minérales. — Nous avons vu que les plantes puisent directement dans le sol les matières minérales dont elles ont besoin et nous avons dit sous quelle forme ces substances étaient assimilées.

Dans la plante, on les retrouve à l'état cristallisé ou bien amorphes ou dissoutes dans le protoplasme.

Les corps minéraux cristallisés sont surtout des *cristaux* d'oxalate de chaux ou de potasse, des *sulfates* ou des *phosphates* de chaux, formés par la combinaison d'un acide organique (oxalique, sulfurique ou phosphorique), avec la potasse ou la chaux.

La substance amorphe que l'on rencontre dans le blé est la *silice*.

Les corps minéraux dissous dans le suc cellulaire sont toujours des *nitrates*, *phosphates*, *sulfates*, *silicates*, *carbonates*, *chlorures* de bases alcalines.

A propos des matières minérales contenues dans le protoplasme, nous ferons remarquer que toutes n'ont pas pour la plante la même importance.

Quelques-unes sont nécessaires, même indispensables à sa vie; tels sont l'*acide phosphorique*, sous forme de *phosphates*, et la *potasse*, que l'on trouve partout où la vie est très active, là où les tissus se reproduisent activement. Ce sont les éléments minéraux qui dominent dans la graine.

D'autres, comme la *chaux* et la *magnésie*, influent sur la vitalité des tissus. On les rencontre de préférence dans les membranes des cellules.

Enfin la *soude*, la *silice*, le *fer*, le *cuivre*, etc., sont des substances indifférentes pour la plante et restent dans les tissus épidermiques de la tige et des feuilles.

Ceci nous explique l'analyse des matières minérales qui semble se faire dans le grain de blé pendant sa maturation.

« Les cendres provenant du grain de blé, dit M. Baland dans ses *Recherches sur les blés*, contiennent peu de silice et beaucoup de phosphates; celles des autres parties de l'épi contiennent, au contraire, peu de phosphates et beaucoup de silice (45 à 50 p. 100). Il y a donc sélection, pendant le passage de l'épi au grain. »

Voici d'après un certain nombre d'analyses de MM. Thomas Way et Ogston, publiées dans le *Journal de la Société Royale d'agriculture d'Angleterre*, la moyenne de la composition des cendres du grain de blé.

Acide phosphorique	45.98
Potasse	31.75
Magnésie	11.97
Silice	3.35
Chaux.	3.20
Soude.	2.33
Peroxyde de fer	0.69
Chlorure de sodium.	0.36
Acide sulfurique	0.29
Acide carbonique et perte	0.08
	100.00

De l'assise digestive et de l'embryon. — Maintenant que nous connaissons la composition du protoplasme, il nous est facile de nous rendre compte des substances qui viennent s'accumuler dans l'assise digestive et l'embryon.

Ces deux membranes étant des tissus vivants, et devant fournir plus tard à la jeune plante tous les éléments indispensables à la formation de ses tissus et de

ses organes, nous devons donc trouver, condensés dans leurs cellules, les principaux éléments du protoplasme : noyaux, leucites, substances albuminoïdes, matières grasses et minérales, et nous ne sommes plus étonnés de trouver que ces deux parties du grain de blé sont

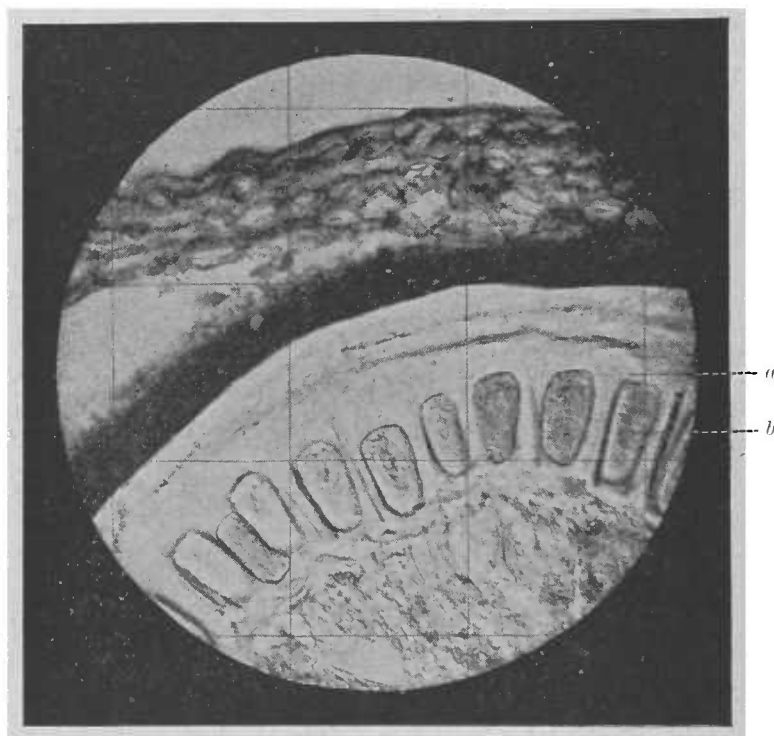


Fig. 23. — Enveloppe du grain traitée par la potasse (agr^t = 180 diam.).
a, cellulose provenant de la digestion des téguments de l'ovule ; *b*, cellules
 de l'assise digestive.

très riches en principes azotés, phosphatés et minéraux.

Ce sont les granulations du protoplasme qui donnent à l'assise digestive et à l'embryon son apparence granuleuse, et c'est la teinte safranée des noyaux et des leucites, ainsi que celles des matières grasses, qui est cause de leur coloration.

Comme le protoplasme, l'assise digestive et l'embryon

renferment des substances azotées riches en phosphore : c'est de la nucléine.

Comme lui, ils contiennent des albuminoïdes formés de principes azotés, unis à l'acide phosphorique et à la potasse : principalement de l'albumine, qui est

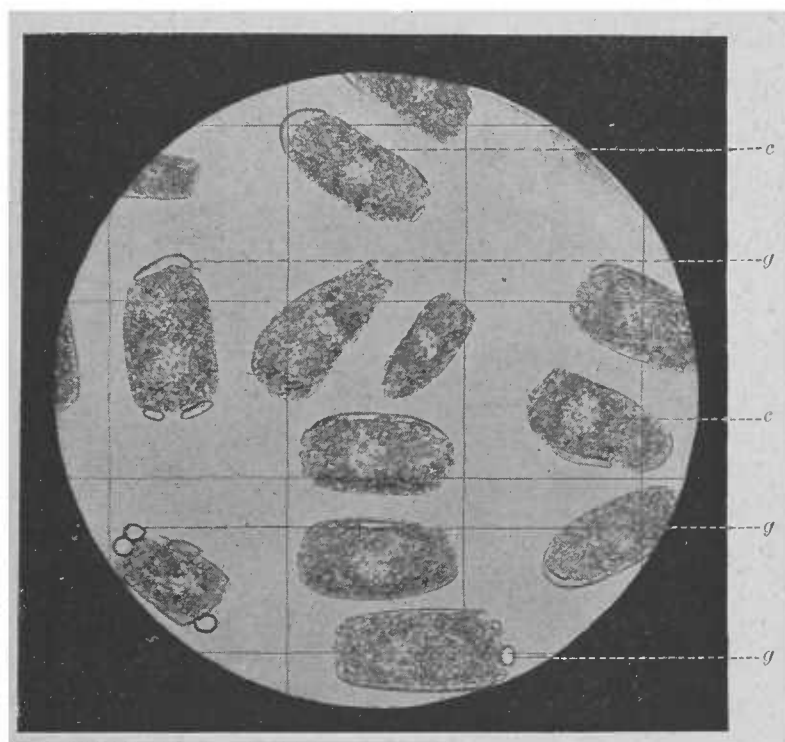


Fig. 24. — Cellules du tégument seminal détachées par la potasse (agr^t = 180 diam.).

c, cellules, *g*, gouttelettes huileuses.

l'albuminoïde primordial; les autres, la fibrine, la caséine, la gliadine, se rendant de préférence dans l'albumen pour former les substances azotées de réserve.

Comme dans le protoplasme, on y rencontre des hydrates de carbone, tels que des glucoses et des sucres. L'amidon étant une substance de réserve, réside exclusivement dans l'albumen.

On y trouve également des matières grasses; ce sont

les gouttelettes huileuses du protoplasme qui sont disséminées dans toutes les cellules de l'assise digestive et de l'embryon.

Enfin, ces deux membranes sont principalement riches en principes phosphatés et minéraux, indispensables, comme nous l'avons vu, à la formation des substances albuminoïdes.

C'est également dans l'assise digestive et dans l'embryon que se trouvent les *principes aromatiques* du grain de blé. On croyait que l'embryon seul contenait ces principes aromatiques, mais M. A. Girard les a également rencontrés dans l'assise digestive (1). Du reste, il ne peut en être autrement, puisque ces deux membranes renferment les mêmes éléments, plus condensés, toutefois, dans l'embryon que dans l'assise digestive.

Les membranes des cellules de l'assise digestive et de l'embryon sont formées de cellulose pure, imprégnée de matières minérales telles que la chaux, la potasse et la magnésie. Elles contiennent aussi des substances azotées provenant de la membrane qui entoure d'abord le protoplasme et qui reste adhérente à la couche de cellulose qui l'enveloppe ensuite.

Grains d'aleurone. — Pendant la maturation du grain de blé, les substances albuminoïdes de l'assise digestive et de l'embryon se solidifient et constituent dans les cellules, autant de grains arrondis qui sont alors connus sous le nom de *grains d'aleurone*.

(1) A. Girard. *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment*, 1881.

D'après M. Belzung, ils résulteraient de la précipitation de l'albumine en dissolution dans le suc cellulaire, par les acides libres du suc, de plus en plus concentrés par suite de la dessiccation progressive de la graine.

Analyse de l'assise digestive et de l'embryon. — Dans l'impossibilité où nous nous trouvons de séparer mécaniquement l'assise digestive des autres parties du grain de blé, nous ne pouvons déterminer exactement sa composition chimique.

Voici d'après des analyses faites en 1884 par M. A. Girard sur des blés de Noé, blé poulard d'Australie et blé rouge d'Écosse, quelle est en moyenne la composition chimique de l'assise digestive et de l'embryon.

	Pour 100 de la membrane.	Pour 100 du poids du grain.
Assise digestive.		
Matière cellulosique.	54.70	4.65
Matières azotées.	28.30	2.40
Matières grasses.	10.50	0.89
Matières minérales	6.50	0.56
	<hr/>	<hr/>
	100.00	8.50
	<hr/>	<hr/>
Embryon.		
Matière cellulosique.	10.61	0.15
Matières azotées.	41.37	0.66
Matières non azotées	24.45	0.36
Matières grasses.	13.80	0.21
Matières minérales	6.77	0.12
	<hr/>	<hr/>
	100.00	1.50

De l'albumen. — Nous avons vu que les sucs de la plante, en arrivant dans l'assise digestive, se trouvent en partie transformés, les uns en substances albuminoïdes, et les autres en amidon, pour venir former l'albumen.

L'albumen est donc exclusivement composé de substances albuminoïdes, c'est-à-dire d'albumine, de fibrine, de caséine, de gliadine, et d'amidon.

L'amidon étant l'élément de réserve par excellence, domine naturellement dans l'albumen.

Nous savons que l'amidon est enfermé dans les cellules de l'albumen, mélangé aux substances albuminoïdes, et que celles-ci sont en plus grande quantité à la périphérie qu'au centre.

Comme dans l'assise digestive et l'embryon, c'est de cellulose pure, pénétrée de matières azotées et minérales que sont formées les membranes des cellules.

Comme les substances albuminoïdes renferment généralement quelques éléments minéraux, nous devons nécessairement en retrouver une certaine quantité dans la composition chimique de l'albumen.

On appelle *gluten* les substances azotées qui restent dans la main lorsqu'on pétrit de la farine sous un mince filet d'eau. Nous verrons plus loin que toutes les substances albuminoïdes de l'albumen n'entrent pas dans la composition du gluten et que ce gluten n'existe pas tout formé dans le grain de blé.

Nous avons étudié, en parlant du protoplasme, les diverses substances qui composent l'albumen; il ne nous reste plus qu'à établir dans quelles proportions ces substances se trouvent dans l'albumen.

Si on pouvait extraire du grain de blé l'albumen seul, sa composition chimique nous serait donnée par l'analyse mainte fois répétée des farines livrées en boulangerie. Mais nous verrons, en parlant de l'extraction des farines premières, que la meunerie pour éviter d'introduire des produits de l'assise digestive dans ses farines premières, ne fait entrer dans la composition de ces farines qu'une partie de l'albumen. L'analyse des farines premières ne peut donc donner exactement la composition de l'albumen.

Toutefois, en prenant comme base l'analyse d'une farine extraite à 70 p. 100, c'est-à-dire comprenant la presque totalité de l'albumen, nous ne nous éloignons guère de la véritable composition de cet albumen.

Voici d'après M. A. Girard (1) la composition moyenne d'une farine tirée à 70 p. 100 sur les quatre espèces de blés dont nous avons donné la composition au commencement de ce chapitre.

Matières azotées	10.70
Hydrate de carbone.	85.88
Matières grasses	1.20
Matières minérales.	0.75
Débris et cellulose.	0.30
Non dosé.	1.17
	<hr/>
	100.00
	<hr/> <hr/>

Si nous comptons les 1.17 p. 100 non dosés comme cellulose provenant des membranes des cellules de l'al-

(1) Communication faite par M. A. Girard en 1897 à l'Académie des sciences.

bumen et qui sont allées dans les remoulages, nous obtenons comme composition moyenne de l'albumen :

	Pour 100 de l'albumen.	Pour 100 du poids du grain.
Matières azotées.	10.70	8.04
Hydrates de carbone	85.88	64.40
Cellulose.	1.47	1.10
Matières grasses.	1.20	0.90
Matières minérales	0.75	0.56
	<hr/> 100.00	<hr/> 75.00

Puis, bien que les chiffres que nous avons donnés plus haut comme représentant à peu près la composition de l'assise digestive et de l'embryon ne proviennent pas des mêmes blés que ceux qui nous ont servi à déterminer la composition de l'albumen, nous les rapprocherons quand même dans un même tableau, afin d'obtenir un aperçu de la composition chimique de l'amande entière.

	Albumen.	Assise digestive.	Embryon.	Amande entière
Matières azotées.	8.04	2.40	0.66	11.10
Hydrates de carbone.	64.40	»	0.36	64.76
Cellulose.	1.10	4.65	0.15	5.90
Matières grasses.	0.90	0.89	0.21	2.00
Matières minérales.	0.56	0.56	0.12	1.24
	<hr/> 75.00	<hr/> 8.50	<hr/> 1.50	<hr/> 85.00

Comme on le voit, ces chiffres concordent assez bien

avec ceux donnés par l'analyse du grain de blé en entier.

Toutefois, nous ferons observer que la quantité de cellulose trouvée par M. A. Girard dans l'assise digestive nous paraît un peu forte. Peut-être faut-il comprendre dans ce chiffre de 4.65 p. 100 quelques hydrates de carbone comme dans l'embryon. C'est en effet, en moyenne 5 p. 100 de cellulose (remoulages) que la meunerie retire du grain de blé.

Enfin, en nous servant des chiffres obtenus par M. A. Girard dans l'analyse des différentes parties de l'enveloppe du grain de blé, nous arrivons à composer le tableau suivant qui représente à peu près la composition chimique des différentes parties du grain de blé (1).

	Amande.	Enveloppe.	Grain de blé.
Matières azotées.	11.10	0.65	11.75
Hydrates de carbone.	64.76	0.92	65.68
Cellulose et ligneux	5.90	13.25	19.15
Matières grasses.	2.00	» »	2.00
Matières minérales	1.24	0.18	1.32
	<hr/> 85.00	<hr/> 15.00	<hr/> 100.00

(1) Nous obtenons une teneur en cellulose et ligneux plus forte que celle indiquée par les analyses de M. A. Girard; mais nous pensons que, malgré que ces analyses aient été faites d'après la nouvelle méthode de M. A. Girard, une partie de la cellulose a quand même été portée au compte de l'amidon, car nos chiffres se rapprochent beaucoup de ceux obtenus dans la pratique.

Mais ces chiffres ne peuvent être considérés comme exacts pour tous les blés, car les éléments qui entrent dans la composition du grain de blé, varient nécessairement avec l'espèce, le climat, la nature du terrain, le mode de culture, etc.

La quantité de matière azotée qui existe dans les blés, varie entre 8 et 15 p. 100. Elle dépend, du reste, de l'espèce, du terrain, du climat, des engrais.

Un blé d'essence dure contient plus de gluten qu'un blé tendre. Les pays chauds sont plus favorables au développement de la matière azotée. Dans les pays à climat varié, tels que la France et les États-Unis, les plus fortes proportions d'azote se rencontrent dans les blés des régions les plus chaudes et l'on sait que les années de chaleur et de sécheresse produisent des blés plus riches en gluten que les années froides et humides.

Comme exemple de l'influence simultanée du climat et du sol, M. Balland indique (1) le blé dur de Bordeaux qui est plus azoté dans la Gironde que dans les départements du Jura et de Seine-et-Oise. Un autre exemple plus frappant lui est fourni par un blé d'origine française récolté dans les environs de la Plata. Ce blé contient plus de 13 p. 100 de matière azotée; c'est une proportion qui n'est trouvée dans aucun blé de France.

L'influence de la culture se manifeste sur les blés d'Aubervilliers (environs de Paris), récoltés dans les terrains où les maraîchers utilisent de préférence, comme engrais, les gadoues de Paris. Ces blés renfer-

(1) Balland, *Recherches sur les blés*. — Publication faite par la *Revue du service de l'Intendance*, 1897.

ment plus de matière azotée que les blés de même espèce semés en Seine-et-Oise.

D'autres causes peuvent encore modifier la composition des blés; on doit tenir compte de l'état d'homogénéité de la denrée : les gros grains n'ont pas la même composition que les petits; on trouve aussi des écarts suivant la forme et la nuance; de sorte que, par un triage approprié, on peut retirer d'un même échantillon de blé des grains qui présentent une composition différente. Les grains les plus blancs sont toujours moins azotés que les grains foncés, généralement plus durs.

Les blés des différents pays, pris dans leur ensemble présentent de tels écarts de composition, que l'on ne peut songer à les représenter par une formule unique. Il serait aussi arbitraire de vouloir assigner une composition spéciale aux blés durs et aux blés tendres.

Les écarts extrêmes qui ont été relevés par M. Baland sur 300 échantillons de blé sont les suivants :

Matière azotée	{ maximum	18.50
	{ minimum	7.75

Voici à titre de renseignement, d'après Pélégot, la teneur en substances azotées de quelques blés :

Touzelle blanche de Provence	9.8
Blé d'Espagne.	10.5
Poulard roux.	10.6
Blé blanc de Flandre	10.7
Hardy White.	12.5
Banat tendre.	13.4
Taganrock .	13.6

Polish d'Odessa	14.3
Poulard bleu.	15.6
Mitadin du midi.	16 »
Blé d'Égypte.	20.6

Les chiffres suivants nous sont fournis par les analyses de M. Balland (1).

Blé de Bordeaux (Jura).	9.37
— d° — (Seine-et-Oise)	9.13
— d° — (Yonne).	9.70
Blé blanc (Oise).	8.13
Blé de Crépy (Oise).	9.75
Blé Dattel (Seine-et-Marne)	9.67
Blé Goldendrop —	9.09
Blé de Bergues —	9.67
Chiddam tendre (Puy-de-Dôme)	10.04
Blé de Bresse (Ain)	9.59
Tuzelle Bel Abbès	10.43
Philippeville	13.12
Tunis dur.	14.05
Danube (Bourgas) :	9.67
— (Varna)	10.82
— (Roumanie)	12.43
Russie (Azima Sébastopol).	12.51
— (— Nicolaieff)	15.58
— (— Odessa).	12.74
— Girka.	13.70
Californie .	8.82
Walla-Walla	11. »
Red-Winter	12.12
Nouvelle-Zélande.	9.21
Australie	10.51
Chili.	9.67
La Plata	13.58

(1) Publication faite par la *Revue de l'Intendance*, 1897.

La matière amylicée est en opposition directe avec la matière azotée, les blés les plus riches en amidon sont les plus pauvres en azote. Les blés blancs et les blés tendres sont ceux qui contiennent le plus d'amidon.

Le rendement des blés en farine panifiable dépendant de l'épaisseur de l'enveloppe, le meunier a le plus grand intérêt à être exactement renseigné sur la teneur en matières cellulosiques des blés qu'il emploie.

Avec les produits chimiques employés par les anciennes méthodes d'analyse, la cellulose des blés est en partie détruite, et les produits non dosés viennent augmenter la quantité d'amidon, calculé par différence. C'est ainsi que M. A. Girard ne trouvait qu'un poids insignifiant pour l'enveloppe du grain de blé.

Nous avons vu aussi que d'après la nouvelle méthode de M. A. Girard la quantité de cellulose obtenue est encore trop faible. Le mieux, pour le meunier, est de faire une mouture en grand ou avec de petits appareils à expériences, s'il veut être exactement fixé sur la teneur en cellulose et ligneux du blé qu'il veut analyser. L'analyse chimique ne saurait lui fournir de chiffres précis à ce sujet. Elle lui indiquera, au contraire, la composition chimique des différentes parties du grain de blé.

Il ne paraît pas que l'on puisse établir de relations définies entre les matières salines et l'essence des blés.

Il en est de même des matières grasses. On rencontre des blés durs et des blés tendres qui ont exactement la même quantité de graisse; toutefois, c'est dans les blés

durs que l'on a observé les plus fortes proportions de matières grasses.

Il n'y a aucune relation entre les cendres, la graisse et la cellulose (1).

(1) Balland, *Recherches sur les blés*. — Publication faite par la *Revue du service de l'Intendance*, 1897.

CHAPITRE VI

FERMENTS DU GRAIN DE BLÉ.

Nous avons dit que les noyaux des cellules étaient des *ferments*. Qu'est-ce qu'un ferment?

On entend par ferment, un être organisé qui, placé dans des conditions convenables, vit et s'accroît aux dépens de certaines matières organiques qu'il décompose.

En cela, le noyau d'une cellule ressemble bien à un ferment. Comme les ferments, ce noyau s'alimente de substances organiques et, comme eux, il emploie une partie de la matière décomposée à faire de la matière vivante, tandis qu'il met l'autre partie en réserve ou l'abandonne au suc de la plante.

Les ferments sont tantôt des cellules rondes et ovales, comme dans la *levure de bière*; tantôt ils ont la forme de bâtonnets et s'appellent des *bacilles*.

Nous avons signalé la présence d'êtres semblables aux bacilles dans le noyau de la cellule vivante.

Le *bacille* est un cylindre tantôt régulier, tantôt dilaté par places, en son milieu ou au voisinage de ses extrémités. Il s'allonge dans le sens de sa longueur, puis, quand la longueur dépasse une certaine quantité, il se

segmente par une cloison perpendiculaire à sa longueur et placée en son milieu. Les nouveaux bacilles agissent de même, et lorsqu'ils restent réunis, il en résulte une sorte de *filament* dont la configuration peut varier. On en rencontre qui ont la forme de tire-bouchon, d'autres qui sont plus ou moins spiralés.

Plus de doutes, les bâtonnets du noyau sont des bacilles et le noyau peut être considéré comme un ferment.

En général, les *microbes* s'entourent d'un protoplasme qu'enveloppe une membrane mince, mais résistante. Cette paroi est tellement fine et tellement transparente, qu'on peut souvent douter de son existence.

Nous avons vu que le noyau possédait également un protoplasme et une membrane. Mais si ce protoplasme est très réduit chez la plupart des bactéries (1), qui exigent, en général, un aliment préparé à l'avance, ou du moins, si ces bactéries se composent seulement d'un noyau, il n'en est pas de même de la cellule végétale, dans laquelle l'aliment doit être formé de toutes pièces.

Le noyau de la cellule végétale ne se contente pas de son protoplasme propre, et il est muni d'un protoplasme ambiant, celui de la cellule, dans lequel il puise les aliments nécessaires à son organisation et où se fabriquent les substances indispensables au développement de la cellule. Le plasma cellulaire nous apparaît alors comme la cuisine du noyau, le lieu où s'élabore la matière alimentaire. Aussi, devons-nous considérer la cellule entière comme étant le ferment.

(1) Une bactérie est un tout petit bacille.

Comme les ferments, la *cellule végétale* a besoin, pour vivre, d'aliments azotés, hydrocarbonés, et de substances grasses et minérales.

C'est aussi aux sels ammoniacaux, aux nitrates et aux matières albuminoïdes que les ferments empruntent l'azote dont ils ont besoin.

Les aliments hydrocarbonés de la cellule végétale et des ferments sont des sucres et sont tirés des hydrates de carbone.

C'est Pasteur qui, le premier, a démontré que les ferments ne pouvaient se développer en l'absence d'aliments minéraux. De tous les sels qui peuvent servir à la nutrition minérale des microbes, le phosphate de potasse est celui dont l'effet est le plus marqué.

Les sels de magnésie sont également nécessaires, et après viennent les sels de chaux.

L'alimentation des ferments est donc en tous points semblable à celle que nous avons indiquée pour la cellule végétale et nous avons encore une fois la preuve que la cellule végétale est un ferment. Cette alimentation minérale des ferments nous démontre en même temps la grande richesse de l'assise digestive et de l'embryon en éléments phosphatés et minéraux.

Comme nous l'avons dit, et comme nous le verrons encore plus loin, en parlant des diastases du grain de blé, la cellule végétale a, de même que tous les ferments, le pouvoir de sécréter des *diastases* qui décomposent la matière organique, pour la faire servir à son alimentation.

La cellule est donc bien un être vivant, un ferment, et

les bâtonnets que l'on trouve dans son noyau sont des bacilles.

Naturellement, ces bacilles ne se rencontrent que dans les cellules des *tissus vivants*, et, dans le grain de blé, nous les trouverons localisés dans l'assise digestive et l'embryon. Ces deux membranes en contiendront forcément un grand nombre, puisque c'est dans leurs cellules que s'accumulent les noyaux et les éléments essentiels du protoplasme des cellules végétales de la plante.

Ce sont ces *ferments* qui sont nuisibles à une bonne *panification*, et ce sont eux qui, comme nous le verrons plus loin, empêchent la meunerie de faire entrer dans la composition de ses farines premières la totalité des matières nutritives que contient le grain de blé, c'est-à-dire l'amande entière.

Mais quels sont ces ferments? Nous avons dit que les ferments organisés se présentaient sous forme de cellules rondes ou ovales, comme dans la levure de bière, ou sous forme de bâtonnets appelés bacilles, comme dans la cellule végétale.

De là deux groupes différents de ferments organisés : les **levures** et les **bacilles**.

Le type des levures est la *levure de bière* que tout le monde connaît. Elle se compose de cellules rondes ou ovales qui ont de 8 à 9 millièmes de millimètre dans leur plus grand diamètre. Ces cellules, dont la membrane est mince et incolore, renferment un protoplasme également incolore, tantôt homogène, tantôt renfermant de petites granulations.

Les cellules de levure se multiplient habituellement

par bourgeonnement. Lorsqu'elles se trouvent dans un milieu nutritif convenable, on voit naître en un ou plus rarement en deux points de leur surface des renflements vésiculeux dont l'intérieur se remplit aux dépens du protoplasme de la cellule mère (1).

Ces renflements s'accroissent et finissent par atteindre les dimensions de la cellule mère. Ils constituent alors de nouvelles cellules qui, se détachant ou restant encore quelque temps adhérentes à la cellule qui leur a donné naissance, bourgeonnent à leur tour. Lorsqu'on examine la levure au microscope, on peut donc observer des cellules isolées ou des groupements de cellules.

On attribue aux levures la propriété de déterminer la fermentation alcoolique. Mais une récente découverte de M. Buchner a montré que dans la cellule de levure, la fonction de ferment alcoolique, qui semblait être si caractéristique, appartenait à une sécrétion de la levure, à une diastase capable de transformer le sucre en dehors de la cellule dont elle provenait.

De son côté, M. Calmette a fait connaître une diastase extraite d'une levure chinoise, employée à faire fermenter le riz et qu'il a appelée *amylomices Rouxii*. Cet *amylomices* ensemencé dans de l'empois d'amidon, arrive à le transformer presque intégralement en alcool, parce qu'il en fait d'abord de la dextrine, puis un sucre fermentescible.

La fermentation alcoolique que l'on croyait être le résultat d'un *acte vital* de la cellule, résulte donc d'une *action diastasique*.

(1) Bourquelot, *les Fermentations*, 1893.

Mais si la transformation du sucre en alcool et acide carbonique est produite par une diastase sécrétée par la cellule de la levure, c'est donc que cette cellule, semblable à la cellule végétale, renferme à l'intérieur de sa membrane, dans son protoplasme, un être vivant, un ferment organisé, un bacille ou une bactérie capable de sécréter cette diastase.

Cette bactérie est peut-être si petite que nos appareils les plus puissants ne sont pas encore parvenus à la découvrir.

Il est donc possible de rattacher la fermentation alcoolique aux fermentations produites par les bacilles; c'est ce que nous ferons en étudiant les fermentations qui peuvent se produire dans le grain de blé.

Les principales **bactéries** connues sont :

1° La *bactérie* qui transforme le sucre en acide lactique, ou *ferment lactique*.

2° La *bactérie* qui produit de l'acide butyrique aux dépens de diverses substances, ou *ferment butyrique*.

3° La *bactérie* qui transforme l'alcool en acide acétique ou *ferment acétique*.

4° La *bactérie* qui donne de l'ammoniaque ou *ferment ammoniacal*.

Nous allons passer rapidement en revue ces différentes bactéries.

Ferment lactique. — La bactérie lactique est formée de courtes cellules au moins deux fois aussi lon-

gues que larges. La longueur moyenne de ces éléments est de 1 à 1.7 millièrne de millimètre, la grosseur de 0.3 à 0.4 millièrne de millimètre. Ces éléments se multiplient par bipartition; chaque corpuscule s'allonge et se divise par son milieu. Après chaque bipartition les cellules se séparent ou bien restent réunies en petit nombre.

Ferment butyrique. — Ce ferment dont les germes sont aussi répandus que ceux du ferment lactique, accompagne souvent ce dernier. Il est formé de bâtonnets de 3 à 10 millièmes de millimètre de longueur sur 1 millièrne de millimètre environ d'épaisseur.

Ces bâtonnets forment fréquemment de courts filaments.

Ferment acétique. — Le bacille acétique consiste essentiellement à l'état normal, en cellules cylindriques qui ne sont guère plus longues que larges et dont le diamètre transversal est en moyenne de 1 à 1.5 millièrne de millimètre. Ces cellules se multiplient par allongement ou division transversale. Les nouvelles cellules restent souvent réunies entre elles, il en résulte des chapelets qui paraissent composés de doubles cellules.

Cette forme de bactéries en cellules presque rondes est souvent accompagnée de cellules allongées dont quelques-unes sont fusiformes ou renflées de manière à dépasser en diamètre dans leur plus grande largeur de quatre fois les cellules ordinaires et même davantage.

Toutes ces cellules se trouvent alors réunies dans un même filament.

Ferment ammoniacal. — Ce ferment est formé de globules sphériques dont le diamètre est en moyenne de 1.5 millièrne de millimètre. Ces globules sont réunis en longs chapelets à courbures élégantes, qui remplissent tout le liquide pendant que la fermentation suit son cours. On a également signalé des ferments ammoniacaux ayant la forme de bacilles. M. Miquel a indiqué un bacille très ténu dont la largeur est inférieure à 1 millièrne de millimètre et qui se développe en longs filaments. M. Leube a également décrit un bacille ammoniacal qu'il a rencontré dans l'urine putréfiée (1).

Ainsi, les bacilles que nous avons signalés dans la cellule végétale ressemblent beaucoup aux bactéries que nous venons d'étudier, toutefois, en se rapprochant plus particulièrement de la bactérie lactique.

Pour vérifier cette ressemblance, nous avons pensé que les ferments du grain de blé devaient nécessairement se retrouver dans la pâte et dans les farines, et nous avons examiné les recherches biologiques faites sur ces substances.

M. Peters a trouvé dans un levain de pâte cinq **bactéries** (2) : 1° une *bactérie A*, très petite, ne solubilisant ni l'albumine, ni l'amidon; 2° une *bactérie B*, dissolvant l'amidon, mais nullement l'albumine. Cul-

(1) Bourquelot, *les Fermentations*, 1893.

(2) BOUTROUX, *le Pain et la panification*, 1897.

tivée dans un bouillon de levure sucrée, elle acidifie la liqueur par une production d'acide lactique; 3° une *bactérie C* qui s'est surtout développée lorsque le levain est devenu acide. Cultivée dans un bouillon de levure additionné de 5 p. 100 d'alcool, elle transforme ce corps en acide acétique; 4° une *bactérie D* ne liquéfiant pas la gélatine, mais dissolvant l'amidon; 5° enfin, une *bactérie E*, formée de bâtonnets mobiles, qui, semée dans un liquide nutritif contenant de petits fragments de blanc d'œuf cuit, les dissout et les transforme en peptones. Elle dissout aussi l'amidon (1).

M. Poppoff a extrait de la pâte de pain un *bacille* qui, cultivé dans une solution de sucre et de peptone y produit une fermentation avec dégagement d'acide lactique.

M. Vignal a signalé dans la pâte de boulangerie, ainsi qu'à la surface des grains de blé un *bacille* doué de propriétés chimiques à peu près semblables à celles du bacille *E* de M. Peters : il sécrète des diastases au moyen desquelles il intervertit le sucre de canne, saccharifie l'amidon cuit en produisant de l'acide butyrique, dissout l'albumine cuite, la caséine, la fibrine et la gélatine.

Enfin, M. Wolffin a trouvé dans le levain de pain bis un *bacille* mobile auquel il donne le nom de *Bacillus Levans*, ne liquéfiant pas la gélatine et déterminant dans le bouillon sucré une fermentation vive avec déga-

(1) Nous verrons dans le chapitre suivant que cette liquéfaction du gluten et de l'amidon est due aux diastases sécrétées par les ferments et non aux ferments eux-mêmes

gement d'hydrogène et d'acide carbonique, et production d'une dose considérable d'acide acétique et d'acide lactique.

Mais ces bactéries peuvent ne pas exister dans la farine et avoir été apportées dans la pâte par le levain primitif.

M. Boutroux a pensé que puisqu'on pouvait faire du pain en ajoutant de la levure pure à un mélange d'eau stérilisée et de farine, il serait évident que si le levain contenait des bactéries, celles-ci préexisteraient dans la farine (1).

Il a trouvé dans une farine : 1° un *bacille* à longs filaments ressemblant au bacille *E* de M. Peters. Ce bacille, très vraisemblablement le bacille lactique, dissout le gluten cuit et saccharifie l'empois d'amidon. Il a le pouvoir de retarder la fermentation alcoolique et il est incapable par lui-même de faire fermenter la farine avec dégagement de gaz; 2° un *second bacille* saccharifiant l'amidon; 3° un troisième bacille qui a produit aussi une faible fermentation dans une pâte molle faite de farine délayée dans du bouillon de levure, pâte stérilisée par la chaleur.

La farine expérimentée contenait donc au préalable ces trois espèces de ferments.

Nous-même, nous avons fait faire quelques recherches à ce sujet. Nous avons soumis à l'analyse biologique plusieurs échantillons de farine. Dans tous on a rencontré le ferment lactique et le ferment butyrique en plus ou moins grande quantité.

(1) Boutroux, *le Pain et la panification*, 1897.

Nous avons pensé aussi que, puisque les ferments étaient localisés dans l'assise digestive et l'embryon, les farines provenant de ces membranes, c'est-à-dire les farines dites bises devaient seules contenir des ferments, et que, s'il en était ainsi, ces ferments seraient bien les ferments naturels que renferme le grain de blé.

Nous avons fait analyser séparément une farine de gruau provenant du centre de l'albumen et une farine bise extraite des couches périphériques de l'amande.

Voici les résultats de ces analyses :

Farine de gruau	{	Absence de ferments.
Farine bise.....	{	Ferments lactique et butyrique en quantité.

Ces résultats nous prouvent donc que le grain de blé renferme des ferments et que ces ferments sont localisés dans l'assise digestive et l'embryon. Ils sont une preuve de plus que la cellule vivante est un ferment, et que les bâtonnets des noyaux sont des bacilles.

Nous pouvons en conclure également que parmi ces bacilles se trouvent la bactérie lactique, la bactérie butyrique, la bactérie acétique et probablement aussi la bactérie ammoniacale puisque les tissus des végétaux peuvent subir cette fermentation.

Ce sont ces *bactéries* qui, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, empêchent le développement de la fermentation alcoolique, la seule qui doive se produire dans une bonne panification.

CHAPITRE VII

DIASTASES DU GRAIN DE BLÉ.

Nous avons vu que la **cellule végétale** était un organisme complet et qu'elle devait se suffire à elle-même. Comme tous les ferments, sa nutrition est tout entière protoplasmique, et la condition primordiale de son alimentation est la pénétration de l'aliment à l'intérieur de la cellule. Elle est donc obligée d'aller dissoudre à l'extérieur les aliments solides, ou liquéfier ceux qui sont coagulés. Comme tous les ferments, elle dispose pour cela de sécrétions digestives qui se diffusent dans le milieu alimentaire, et y remplissent la mission dont elles sont chargées. Ces sécrétions s'appellent des **dias-tases**.

Si l'on transforme en farine un grain de blé, et si l'on met à digérer dans de l'eau tiède la farine de son albumen, on ne constate pas de transformation. Mais, si l'on humecte un autre grain de blé avec de l'eau tiède et si on le laisse germer alors dans la farine mise à digérer dans l'eau, l'amidon s'hydrate activement et donne du glucose.

C'est que, pendant la germination du grain de blé, il s'est développé aux points d'où émerge la tigelle, un

agent capable de provoquer l'hydratation de l'amidon et sa transformation en glucose, une *diastase*.

Si on examine pendant sa germination, un grain de blé ou un grain d'orge, on remarque d'abord que les *granulations protoplasmiques* de l'assise digestive et de l'embryon grossissent et augmentent en nombre. Puis on voit ces granulations s'enfoncer dans l'albumen et dissoudre la cellulose qui constitue les parois des cellules, pour attaquer ensuite l'amidon et les substances azotées que ces cellules renferment.

Ces *granulations* qui existent dans les cellules de l'assise digestive et de l'embryon ou qui sont produites au moment de la germination par les ferments accumulés dans ces membranes, sont des *diastases*.

Les diastases sont des composés chimiques produits par les ferments organisés.

Elles agissent, en général, comme de puissants agents d'hydratation, à la façon de l'eau, des acides ou des alcalis, et par leur simple présence, c'est-à-dire sans qu'elles paraissent rien céder de leur substance ni rien perdre de leur activité dans les réactions qu'elles provoquent.

Leur composition semble être celle des substances albuminoïdes; elle s'en éloigne cependant un peu, et, vu surtout leur richesse en phosphore, elle se rapproche plutôt de celle des nucléïnes. Cela ne doit pas nous surprendre, étant donné que les diastases dérivent du noyau de la cellule, et que ce noyau, de même que le protoplasme qui l'entourne et où il puise ses aliments, est composé de substances riches en éléments azotés, phosphatés et minéraux.

Les diastases sont généralement unies, dans le protoplasme, à des sels (sels de potasse, de magnésie, phosphates, chlorures et sulfates), et forment des granulations semblables à celles produites par les substances albuminoïdes. Ce sont ces *granulations* qui, selon nous, et comme nous le verrons plus loin, ont été appelées des *leucites*.

A l'état de pureté, les diastases se présentent sous forme de poudre presque blanche, soluble dans l'eau. C'est cette solubilité qui les a fait aussi appeler *ferments solubles*.

Nous connaissons maintenant ces *agents* qui parcourent le protoplasme et vont jusque dans le suc cellulaire décomposer la matière organique pour la rendre assimilable par la *cellule vivante*.

Ce sont des diastases qui décomposent les substances que la plante a puisées dans le sol ou dans l'air, pour faciliter leur assimilation ou leur combinaison avec d'autres éléments et en faire des substances plastiques ou des aliments de réserve.

Ce sont ces mêmes diastases qui, plus tard, décomposeront dans le protoplasme, ces aliments de réserve, pour les besoins de la cellule.

Ce sont des diastases qui, pendant la formation du grain de blé ont été sécrétées par les cellules de l'assise digestive pour décomposer les tissus du nucelle et les membranes de l'ovule.

C'est à l'aide de diastases que l'embryon, pendant son développement, s'est procuré, aux dépens de l'albumen, les substances azotées et amylacées dont il avait besoin.

Ce sont aussi des diastases qui, pendant la germination du grain de blé, sont sécrétées par les ferments de l'assise digestive et du germe et vont attaquer, les unes la cellulose, d'autres l'amidon, d'autres enfin les substances albuminoïdes contenues dans l'albumen.

Mais le rôle des diastases ne se borne pas à cette œuvre de destruction et d'analyse; elles prennent part aussi aux phénomènes de composition et de synthèse qui s'opèrent dans l'intérieur de la cellule.

C'est aussi sous leur influence que se forment, dans le protoplasme, les matières plastiques et les substances de réserve.

Ce sont elles qui produisent les réactions que nous avons indiquées en parlant de l'alimentation du grain de blé : c'est à leur activité qu'est due la formation de l'amidon, des matières grasses, de la cellulose et des substances azotées que nous rencontrons dans les tissus des végétaux.

Ainsi, toutes les fonctions importantes que l'on attribuait autrefois à la vitalité des ferments, même peut-être la création de leur matière propre, sont des actions diastatiques, c'est-à-dire chimiques (1).

Ce que la cellule conserve, c'est le pouvoir de fabriquer ces *diastases*.

On a longtemps pensé que les diastases avaient seulement pour but de transformer les substances, afin de les rendre assimilables aux ferments, et l'on attribuait la formation des matières plastiques et des aliments de

(1) Duclaux, *Traité de microbiologie*, tome II, *Diastases*, 1899.

réserve à des agents spéciaux, appelés *leucites*, et que nous avons signalés en parlant de la cellule végétale. C'est ainsi qu'il y avait des leucites qui produisaient de l'amidon, on les appelait *amylolucites*; d'autres, appelés *leucites albuminifères*, donnaient des substances albuminoïdes; d'autres fabriquaient des substances grasses, etc.

Puis, à mesure que les chimistes firent de nouvelles découvertes et qu'ils parvinrent à reproduire dans leurs laboratoires les différentes substances que l'on rencontre dans les végétaux, on attribua de plus en plus, les transformations qui s'opèrent dans le protoplasme, à des phénomènes chimiques.

Enfin, aujourd'hui que les diastases sont mieux connues, non seulement on les considère comme des moyens de dislocation et de destruction, mais on les fait entrer en ligne de compte dans les phénomènes de construction et de synthèse (1) qui se produisent dans l'intérieur des cellules, et on en fait des agents indispensables à toute *fermentation* (2).

On voit par là, que chacune des propriétés dites vitales de la cellule, passe peu à peu à l'état de propriété chimique, pouvant fonctionner et être étudiée à part. Cela ne supprime pas la vie ni la cellule; cela permet de les disséquer et de les mieux comprendre.

(1) D'après M. Hill, la même diastase qui transforme le maltose en glucose pourrait refaire du maltose aux dépens du glucose.

(2) Nous avons vu, en parlant de la levure de bière que le dédoublement du sucre en alcool et acide carbonique était dû à une diastase et non au ferment. Il en est probablement de même dans toutes les fermentations.

« Les *diastases*, dit M. Duclaux, dans son traité de microbiologie, sortent ainsi du cadre étroit des phénomènes de digestion dans lequel on les confine d'ordinaire.

Il y a des actions de diastases dans toutes les cellules de tous les tissus de tous les êtres vivants. Toutes les fois qu'il y a dans une cellule un élément qui, après avoir pris part à l'œuvre qui s'accomplit, doit être éliminé, soit parce qu'il est usé, soit parce que son action est terminée, soit pour une cause quelconque, ce sont des diastases qui interviennent pour activer le phénomène; et l'œuvre physiologique qui préside à l'élimination de la queue du tétard et à la demi-castration du vieillard, est aussi bien une action de diastases que la digestion des aliments ou la respiration pulmonaire (1). »

Il existe un grand nombre de *diastases*, et le même ferment a probablement la propriété de les produire toutes; toutefois, il ne les sécrète pas d'une façon constante et sa production est subordonnée aux conditions d'alimentation et liée à la présence de l'aliment qu'il s'agit de digérer.

Il est essentiel de faire remarquer que chaque ferment soluble exerce son action sur une ou plusieurs substances tout à fait déterminées et il est bon de dire aussi que l'activité d'une diastase varie avec le ferment qui l'a produite.

Ainsi, la diastase récemment découverte par M. Calmette, et dont nous avons déjà parlé, qui transforme

(1) Duclaux *Traité de microbiologie*, tome II, *Diastases*, 1899.

presque intégralement l'empois d'amidon en alcool, est beaucoup plus active que la diastase extraite de l'orge, et qui saccharifie l'amidon.

C'est à MM. Payen et Persog que revient l'honneur d'avoir préparé, en 1832, la première diastase. Ils l'ont obtenue en précipitant par l'alcool une macération faite à froid d'orge germé.

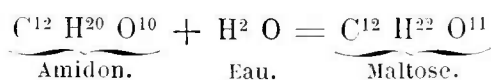
Depuis, M. Duclaux a proposé de conserver le mot diastase comme terme générique et d'appeler chaque ferment soluble par le nom du corps sur lequel on a observé pour la première fois son action, en ajoutant la désinence « *ase* ». Ainsi, le ferment soluble qui agit sur l'amidon (*amylum*) est appelé *amylase*, et celui qui dédouble le sucre de canne se nomme *sucrase*.

Nous n'étudierons pas toutes les diastases, et nous nous bornerons à passer rapidement en revue celles qui peuvent modifier les éléments du grain de blé pendant les opérations de la panification.

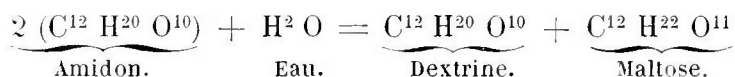
Amylase. — Nous avons déjà dit que cette diastase avait été isolée en 1832 par Payen et Persog qui l'ont extraite du liquide de macération du malt. Ils constatèrent également sa présence dans le blé, l'avoine, le maïs et le riz en germination, ainsi que dans les tubercules de pommes de terre en végétation.

C'est cette diastase que nous connaissons en meunerie sous le nom de céréaline.

L'*amylase* transforme l'amidon en maltose, et, si l'on n'envisage que le terme principal, le maltose, la réaction paraît très simple :



Mais le phénomène est plus complexe et, d'après M. Bourquelot, il y aurait d'abord formation de dextrine et de maltose (1).



Puis cette dextrine serait à son tour transformée en maltose.

D'après M. Duclaux, l'amidon serait d'abord transformé par l'amylase en dextrine puis cette dextrine serait transformée en maltose par une seconde diastase, la *dextrinase* (2).

En somme, le produit final est toujours du maltose.

L'action de l'amylase atteint son maximum vers 63° et devient nulle à 85°

Sa composition est la suivante :

Carbone.	45.57	45.68	46.80	44.33	40.24
Hydrogène.	6.49	6.90	7.44	6.38	6.78
Azote	5.14	4.57	9.98	8.92	4.70
Soufre	} 37.64	36.77	34.64	34.46	{ 0.70
Oxygène.						{ 41.53
Phosphore.	—	—	—	1.12	1.45
Cendres.	3.16	6.06	1.14	4.79	4.60
	Zulkowski.	Krauch.	Szilagyi.	Lintner.	Jegoroff.

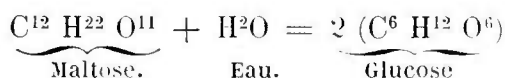
Maltase. — Nous avons vu que le résultat de l'action de l'amylase sur l'amidon est surtout du maltose. La *maltase* a pour fonction d'hydrater tout le maltose qui s'est formé; elle donne du glucose, qui est le pro-

(1) Bourquelot, *les Ferments solubles*, 1896.

(2) Duclaux, *Traité de microbiologie*, tome II, *Diastases*, 1899.

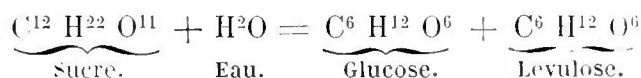
duit définitif et stable de la régression des grains d'amidon. C'est sous forme de glucose que la matière amylacée est directement assimilée.

La réaction est la suivante :



Son maximum d'action varie entre 40 et 50 degrés et sa température de destruction est de 75 degrés.

Sucrase. — La sucrase a pour effet de dédoubler, après hydratation, une molécule de sucre de canne ou saccharose, en deux molécules de glucose et de lévulose :



C'est ce mélange de glucose et de lévulose que l'on appelle sucre inverti. Nous savons que le sucre de canne n'est pas directement assimilable et qu'il doit être transformé en sucre inverti avant de fermenter. C'est le rôle de la sucrase.

On la rencontre dans les graines au moment de la germination et dans la levure pendant la fermentation.

Voici deux analyses de sucrase de levure.

Carbone.	43.90	40.50
Hydrogène.	8.40	6.90
Azote.	6.00	9.30
Soufre.	0.63	»
Oxygène	41.47	»
Cendres (environ 20 % formées surtout de phosphates).		
	Barth.	Donath.

Cytase. — Dans la germination du grain de blé, la cellulose qui constitue les parois cellulaires est attaquée par une diastase appelée *cytase* par Brown et Morris. Cette diastase accompagne toujours l'amylase et on n'a pas encore pu la séparer; cependant, on constate pourtant que ces deux diastases sont différentes en examinant comment elles se comportent sous l'action de la chaleur. La cytase perd un peu de son action après avoir été chauffée à 50° et est détruite au bout d'une demi-heure à 60°. L'amylase ne perd au contraire presque rien de sa puissance dissolvante sur l'amidon cru après avoir été chauffée à 70° et son action sur l'empois d'amidon n'est que légèrement modifiée à 60°.

Il est vraisemblable, que sous l'influence de la cytase, la cellulose est transformée en glucose, sucre utilisable par la plante, mais sur ce point tout est encore hypothèse. Il est même difficile de différencier les diastases dissolvant la cellulose de celles qui dissolvent l'amidon cru, parce qu'il y a cellulose et cellulose, comme il y a amidon et amidon. Si même on y regarde de près, dit M. Duclaux, on trouve qu'aucun caractère fondamental ne permet de séparer l'amidon de la cellulose (1). La cellulose est, comme nous l'avons dit, de l'amidon condensé. D'un autre côté, vis-à-vis d'un microbe, il y a des amidons plus résistants que des celluloses, et des celluloses plus résistants que certains amidons.

De la pepsine végétale. — La pepsine végétale

(1) Duclaux, *Traité de microbiologie*, tome II. *Diastases*, 1899.

exerce son action sur les matières protéiques en général. Elle n'agit que dans un milieu acide.

La *pepsine* transforme d'abord la substance azotée en un corps soluble dans l'eau appelé propeptone; puis cette propeptone est à son tour changée en peptone. On se demande s'il n'y a qu'une seule diastase dans la pepsine ou s'il y en a deux comme dans la diastase du malt. Le parallélisme entre la pepsine et la diastase du malt semble complet.

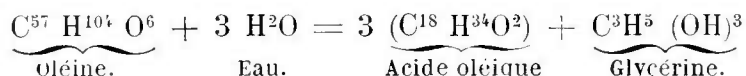
Les *peptones* sont des composés solubles dans l'eau. Ils sont dialysables et possèdent une composition centésimale très voisine de celle des matières albuminoïdes dont elles dérivent. Il paraît vraisemblable, comme nous l'avons dit, que les diverses variétés d'albuminoïdes doivent fournir des peptones différentes.

Il existe deux autres diastases qui agissent comme la pepsine sur les substances azotées : la *trypsine*, qui agit dans un milieu neutre ou alcalin, et la *papaïne*, qui agit dans un milieu neutre, acide ou alcalin.

Voici la composition de ces trois diastases :

	Pepsine.	Trypsine.	Papaïne.
Carbone.	50.37	52.75	52.36
Hydrogène	6.88	7.51	7.37
Chlore.	0.89	»	
Soufre.	1.35	} 23.19 }	} »
Oxygène			
Azote	14.55	16.55	16.94
Cendre	»	1.77	2.60

Saponase. — Les matières grasses sont saponifiées sous l'influence d'une diastase appelée *saponase*. Ce ferment a pour but de dédoubler, en les hydratant, les corps gras, et son action peut être exprimée par la formule suivante.



Ainsi, il y a formation d'un acide gras et de glycérine.

Céréaline. — Avant de terminer ce chapitre, nous tenons à faire disparaître les préjugés que l'on a sur la *céréaline*.

On comprend sous le nom de *céréaline* tantôt la matière grasse, tantôt la matière azotée, contenues dans la membrane embryonnaire et le germe.

C'est à la *céréaline* que les uns attribuent la coloration jaune de ces membranes; c'est à la *céréaline* que les autres attribuent la formation du pain bis.

Cette désignation est impropre dans les deux sens.

Mége-Mouriés a appelé *céréaline* le principe actif ou ferment qu'il a rencontré mélangé aux matières azotées contenues dans la membrane embryonnaire et dans le germe.

La *céréaline* est donc un ferment qui accompagne la matière azotée et n'est pas, par conséquent, cette substance azotée, et encore moins la matière grasse que l'on rencontre dans l'assise digestive et l'embryon.

Nous venons de voir que cette *céréaline* est une *diastase*, et que les multiples effets qu'on lui attribue, sont dus à l'action de plusieurs diastases.

CHAPITRE VIII

FERMENTATIONS DU GRAIN DE BLÉ.

On appelle **fermentation** le phénomène résultant de l'organisation, du développement et de la multiplication d'un *ferment organisé*.

La *fermentation* est un acte de *nutrition* et les composés qui fermentent sont des *aliments*.

Il s'ensuit forcément, que ce phénomène varie dans sa grandeur comme dans ses résultats, avec les organismes d'une part, et avec le milieu d'autre part.

On divise les *fermentations* ainsi qu'il suit :

1° Fermentation par dédoublement : *fermentation alcoolique et fermentation lactique*.

2° Fermentation par réduction : *fermentation butyrique*.

3° Fermentation par oxydation : *fermentation acétique*.

4° Fermentation par hydratation : *fermentation ammoniacale*.

Fermentation alcoolique. — Toute cellule végétale, ayant d'ordinaire besoin d'oxygène, peut, lorsqu'on lui supprime ce gaz, vivre encore aux dépens de la matière sucrée qu'elle a à sa disposition. Elle devient,

dans ce cas, un *ferment alcoolique*. Mais il y a une différence entre cette cellule et le globule de levure; c'est que celui-ci est infiniment plus apte que la cellule à faire fermenter la matière sucrée. La réaction est faible et lente avec les fruits et les végétaux; elle est rapide et considérable avec la levure. On sent que pour la levure, faire fermenter est un acte nutritif qui lui est habituel, tandis que pour les autres cellules, c'est l'exception. Aussi, on réserve le nom de *fermentation alcoolique* au dédoublement des sucres en alcool et acide carbonique produit par les *levures*.

Les *sucres* représentent la substance fermentescible et les levures en décomposent une quantité hors de proportion avec l'accroissement du végétal qui n'en utilise qu'une minime partie pour la formation de ses tissus. C'est justement cette disproportion énorme entre le poids de l'organisme ferment et celui de la substance sur laquelle il agit, qui constitue le caractère des **fermentations** (1).

La levure, comme tout être vivant, a besoin d'oxygène pour vivre. Lorsqu'elle est en contact avec l'air, c'est à cet air qu'elle emprunte l'oxygène dont elle a besoin. Dans ce cas, elle ne fait que se développer.

Tandis que, si au contraire, elle est privée d'air, son besoin d'oxygène la force à décomposer les matières sucrées avec lesquelles elle est en présence et à s'emparer de leur oxygène. C'est ce besoin d'oxygène qui détermine la fermentation.

(1) Bourquelot *les Fermentations*, 1893.

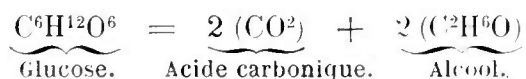
La levure est donc *aérobie* (croît dans l'air), en présence de l'air, et *anaérobie* étant privée d'air.

L'action des levures est à peu près nulle au voisinage de 0 degré. Elle ne commence guère que vers 2 ou 3 degrés. La température la plus favorable à son activité paraît être de 25 à 30°. A 50° elle ne provoque plus de fermentation.

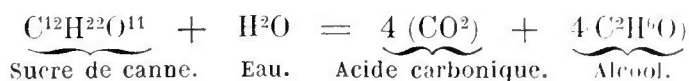
Les *sucres* susceptibles de subir la fermentation alcoolique sont les *glucoses* dont le type est le glucose, qui a pour formule $C^6H^{12}O^6$, et les *saccharoses* dont les représentants les plus connus sont le sucre de canne et le maltose. Ils ont pour formule $C^{12}H^{22}O^{11}$.

Mais tous ne fermentent pas directement en présence de la levure de bière. Le *glucose* et le *maltose* seuls fermentent directement; le *sucré de canne* doit être transformé, comme nous l'avons dit, en sucre interverti, avant de subir la fermentation alcoolique. C'est l'œuvre d'une diastase, *la sucrase*.

Les deux produits les plus importants de la fermentation alcoolique sont l'alcool et l'acide carbonique, et, si on ne tient pas compte des produits secondaires, la réaction, pour les glucoses, peut être formulée ainsi qu'il suit (1) :



Pour les saccharoses, on aurait, en tenant compte de l'hydratation préalable :



(1) Bourquelot, *les Fermentations*, 1893.

La fermentation alcoolique peut se développer dans un milieu neutre ou légèrement acide.

Fermentation lactique. — On entend par fermentation lactique la transformation de certains sucres : sucre de lait, glucose, maltose, sucre de canne, en un acide liquide et soluble dans l'eau, *l'acide lactique*.

Elle est le résultat d'un ferment organisé, le ferment lactique, qui transforme le sucre en acide lactique par l'effet de sa nutrition et de son développement.

Les liquides dans lesquels il se développe doivent contenir deux sortes de substances organiques, une substance azotée et une substance sucrée. La première est une matière alimentaire, le ferment n'en consomme qu'une petite quantité. La seconde est la matière fermentescible, le ferment peut en décomposer une quantité hors de proportion avec son propre poids.

Un liquide chargé en maltose et glucose est donc favorable à l'action du ferment lactique.

Tous les sucres sont capables de fournir la fermentation lactique. Le sucre de canne même, fermente directement en présence du ferment lactique sans transformation préalable, comme pour le ferment alcoolique.

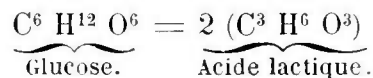
Le ferment lactique ne se développe pas aux températures voisines de 0° C'est seulement de 10° à 15° que la bactérie lactique commence à se multiplier. A 20° la fermentation lactique s'établit rapidement et son activité croît jusque 35° environ. De 35° à 42° elle reste à peu près constante et s'arrête vers 45° La bactérie n'est ce-

pendant pas tuée à cette température; ce n'est que vers 110° qu'elle est complètement détruite.

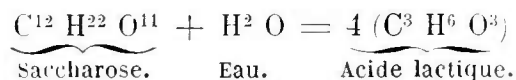
Le ferment lactique est aérobie; il a besoin d'air pour se développer et produire une fermentation. Il lui faut, en outre, un milieu neutre; si ce milieu est trop acide, la fermentation ne s'établit pas. D'où la présence nécessaire de carbonates alcalins pour neutraliser l'acide lactique au fur et à mesure qu'il se produit.

A défaut de ces carbonates, les matières protéiques, et en particulier les peptones, jouissent de la propriété de se combiner aux acides et de diminuer par là l'action nuisible que ces derniers peuvent exercer sur le ferment lactique.

Avec les glucoses, la réaction peut être représentée par l'équation suivante :



Avec les sucres du groupe des saccharoses, l'équation devient :



Il se forme en même temps un peu d'acide carbonique.

Fermentation butyrique. — La fermentation butyrique est produite par la décomposition du lactate de chaux à l'aide du *ferment butyrique*.

Ce ferment, dont les germes sont aussi répandus que ceux du ferment lactique, accompagne souvent ce dernier.

Lorsque dans une fermentation lactique ordinaire, les liquides ne sont pas suffisamment aérés, on obtient comme produit du lactate de chaux. C'est ce lactate de chaux que décompose le ferment butyrique.

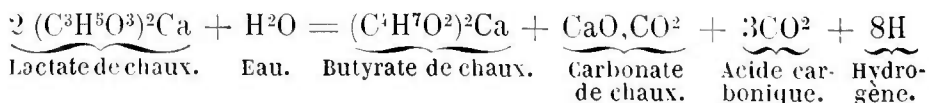
Le ferment butyrique est un ferment anaérobie et il ne peut se développer tant que les liquides renferment de l'oxygène; mais aussitôt que cet oxygène a été consommé par le ferment lactique, celui-ci cesse d'agir et le ferment butyrique se développe activement. Si par la suite on aère le liquide, le ferment butyrique reprend son action sur la matière sucrée.

Cette condition du ferment butyrique est en contradiction avec le besoin d'oxygène de tous les êtres vivants. En réalité, tous en ont besoin, mais en quantité variable et extrêmement minime, si bien que l'excès d'oxygène libre est mortel pour tous les microbes. Pour le ferment butyrique, on peut donc supposer que l'excès commence avec l'oxygène tel qu'il est dans l'air (1).

Le ferment butyrique se développe aux mêmes températures que le ferment lactique. Il meurt à 100°.

Comme le ferment lactique, il préfère les milieux neutres et un carbonate ou une matière protéique sont nécessaires pour neutraliser l'acide.

Dans la fermentation butyrique du lactate de chaux, il y a dégagement d'acide carbonique et d'hydrogène. Sa formule est la suivante :



(1) Bourquelot, *les Fermentations*, 1893.

Le ferment butyrique a en outre la propriété de faire fermenter les matières sucrées, la dextrine et la cellulose, et cela avec production d'acide butyrique.

La fermentation de la *cellulose* mérite de nous arrêter un instant, car elle présente une certaine importance au point de vue de la valeur alimentaire de l'enveloppe du grain de blé.

C'est, en effet, ce ferment butyrique qui, dans la nutrition des ruminants, concourt puissamment à transformer, dans l'estomac de ces animaux, la cellulose du fourrage en des composés solubles et assimilables.

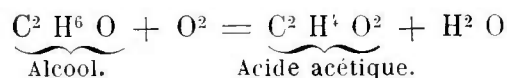
Tous les ferments butyriques n'attaquent pas indistinctement toutes les celluloses. « Il n'y a qu'un état, dit M. Van Tieghem, en parlant du ferment butyrique qu'il a rencontré dans les végétaux, l'amylobacter, où toutes les cellules de toutes les plantes aient toutes leurs membranes, si épaisses qu'elles soient, également dissoutes par l'amylobacter, c'est l'état d'embryon (1). » Dans les tissus de la plante, ce ferment n'a pas la même activité, et les parties qui résistent le plus à son action sont le liège et les fibres ligneuses.

Ceci nous montre que c'est le ferment butyrique qui, pendant la germination du grain de blé, dissout, à l'aide d'une diastase qu'il sécrète, la cellulose qui constitue les membranes des cellules de l'albumen. Par conséquent, ce ferment doit exister dans le grain de blé, et nous avons là une preuve que les fermentations résultent d'une action diastasique et ne sont pas l'effet de la vitalité du ferment.

(1) Van Tieghem, *Éléments de botanique*, 1898.

Fermentation acétique. — On entend par fermentation acétique, la transformation de l'alcool en *acide acétique* par le ferment acétique.

Sa formule est la suivante :



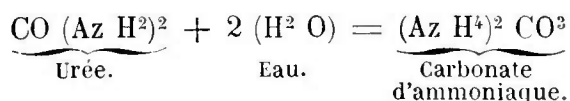
Cette fermentation ne se développe qu'au contact de l'air, et dans un milieu exclusivement alcoolique (1).

Le sucre de canne et l'amidon résistent à son action; le glucose est transformé en acide gluconique. Il ne se forme ni alcool ni acide volatil.

Le ferment acétique se développe de 10° à 30°. Il est tué à 50°

Fermentation ammoniacale. — L'urée abandonnée à elle-même, est transformée en carbonate d'ammoniaque par l'action d'un ferment soluble sécrété par un ferment organisé végétal.

La réaction peut s'établir ainsi :



Ce ferment organisé, appelé *micrococcus ureæ*, peut également se développer dans de l'eau de levure. Il ne se développe pas en l'absence de l'oxygène.

La température la plus favorable à son développement est entre 30° et 33°. Il est tué à 60°.

(1) C'est cette fermentation acétique qui s'établit dans les vieux levains, lorsque la fermentation alcoolique s'est développée normalement.

Fermentation panaire. — On sait que le pain avec les farines de première qualité est *blanc*, tandis que celui fait avec les farines inférieures est *bis*. Nous allons chercher à expliquer cette formation du *pain bis*.

La *fermentation panaire* est une fermentation alcoolique, produite par la levure ou le levain, aux dépens du sucre ou du glucose qui existent dans la farine, ou qui se produisent pendant le pétrissage de la pâte.

Pour faire le pain, on forme une pâte avec de la farine délayée avec 60 p. 100 d'eau, du sel et du levain ou de la levure de bière. Cette pâte est soumise au pétrissage qui la rend homogène et y fait pénétrer de l'air ; elle est ensuite divisée en pains et abandonnée à la fermentation dans le voisinage du four.

Le glucose qui existe dans la farine est celui qui se forme aux dépens de l'amidon pendant l'opération, se transforme en alcool et en acide carbonique qui soulève la pâte, la rend légère et spongieuse. Les globules d'amidon éclatent sous l'influence de la chaleur et de l'humidité ; ils deviennent ainsi plus facilement assimilables. La pâte levée est soumise à la cuisson dans des fours dont on a chauffé les parois.

Sous l'influence de la chaleur, la pâte augmente de volume grâce à la dilatation de l'acide carbonique. La surface du pain se caramélise en même temps qu'elle s'enrichit en principes solubles.

Au bout d'une demi-heure environ, le pain peut être retiré. 100 kilos de farine donnent environ 135 kilos de pain.

Ainsi, la fermentation panaire est une *fermentation*

alcoolique, et cette fermentation est produite par la levure ou le levain et non par le gluten, comme on l'a cru longtemps.

D'après des recherches de M. Boutroux, le gluten n'est même pas attaqué pendant cette fermentation alcoolique; c'est aux dépens du sucre et du glucose que se fait la fermentation panaire.

Lorsque l'on emploie une farine première, c'est-à-dire exempte des produits de l'assise digestive et de l'embryon, la fermentation panaire se développe normalement. Mais si l'on emploie une farine contenant des parties de la membrane embryonnaire ou du germe, ou mieux si l'on fait du pain avec des farines dites « *bises* » il n'en est pas de même; la pâte lève mal, elle se fluidifie, le pain prend une coloration grise, il est lourd et indigeste.

Ne pouvons-nous pas déterminer maintenant ce qui s'est passé dans cette pâte?

Nous savons que le grain de blé renferme, dans l'assise digestive et l'embryon, plusieurs espèces de ferments, telles que la *bactérie lactique*, la *bactérie butyrique*, la *bactérie acétique*, et peut-être aussi la *bactérie ammoniacale*.

Nous avons vu aussi que ces deux membranes contenaient également des *diastases* et que les ferments organisés avaient le pouvoir de sécréter ces diastases.

Donc, en même temps que l'on incorpore dans la farine les produits de l'assise digestive et de l'embryon, on y mélange les *ferments* et les *diastases* du grain de blé.

Nous savons maintenant que les ferments organisés

peuvent produire des *fermentations* et que le rôle des diastases est surtout de décomposer les substances organiques; l'*amylase* transforme l'amidon en maltose, la *maltase* change ce maltose en glucose, et la *pepsine* ou la *trypsine* transforment les substances azotées en peptones solubles.

Examinons donc ce qui se produit. La levure (ou le levain) une fois introduite dans la pâte, cherche à développer la fermentation alcoolique au détriment du sucre ou du glucose qui existent dans la pâte. Mais nous savons que la levure ne fermente qu'à l'abri de l'air, et que lorsqu'elle se trouve en contact avec cet élément, elle ne fait que se développer, sans produire de fermentation.

La levure, avant d'attaquer le sucre ou le glucose, doit donc absorber tout l'oxygène apporté dans la pâte par le pétrissage. De plus, le sucre ne fermente pas directement, et lorsque la levure voudra l'attaquer elle devra sécréter une diastase pour le transformer.

D'où deux causes qui retardent le départ de la *fermentation alcoolique*.

Mais pendant ce temps, les *ferments naturels* du grain de blé ne sont pas restés inactifs. La *bactérie lactique*, qui, à l'opposé de la levure, a besoin d'air pour fermenter et qui décompose directement le sucre de canne, se met de suite en œuvre. Les *diastases* qui existaient dans la farine et celles qui sont produites par la bactérie lactique décomposent les éléments de la farine; l'*amylase* fait du maltose avec l'amidon et la *pepsine* transforme les substances azotées en peptones solubles.

La pâte devient donc de suite un milieu favorable à la

fermentation lactique : présence de l'air, production de maltose et de glucose, formation de peptones solubles et température propice à son maximum d'activité.

C'est donc la *fermentation lactique* qui s'établit au lieu de la fermentation alcoolique, la seule favorable à une bonne panification. Le maltose et le glucose sont transformés en acide lactique (probablement par une diastase que sécrète ce ferment), et les peptones s'unissent à l'acide lactique pour produire du lactate de chaux qui neutralise l'acidité de la pâte.

Mais ce n'est pas tout ; lorsque la bactérie lactique a épuisé tout l'air contenu dans la pâte, elle ne peut plus fermenter ; mais le *ferment butyrique*, qui l'accompagne, et qui est un être anaérobie, se trouve en présence du lactate de chaux qu'il décompose activement pour donner naissance à de l'acide butyrique. Les substances azotées continuent à être transformées en peptones qui s'unissent à l'acide butyrique, et le résultat final est du *butyrate de chaux*, un peu d'*acide carbonique* et de l'*hydrogène*.

Disons enfin que les matières grasses de la pâte ont été transformées par la saponase du grain de blé en *acide gras* et *glycérine*.

Telles sont les fermentations et transformations qui se produisent dans la pâte, lorsqu'on y introduit les ferments naturels du grain de blé (1).

(1) C'est pour éviter ces fermentations que Mége-Mouriés conseillait de n'incorporer la farine bise à la pâte qu'à la fin du pétrissage et que les boulangers ont soin de rafraîchir souvent leur pâte, lorsqu'ils travaillent des farines bises.

Ainsi, non seulement la fermentation alcoolique ne s'est pas développée, mais les éléments de la farine ont été altérés ; le gluten, liquéfié par la pepsine, est devenu du butyrate de chaux ; l'amidon, saccharifié par les diastases, a été transformé en maltose et glucose ; les matières grasses, en acide gras et glycérine.

C'est la dissolution du gluten et le manque d'acide carbonique qui empêchent la pâte de lever.

C'est la présence du butyrate de chaux qui la rend acide et lui fait prendre cette odeur butyrique qui caractérise le *pain bis*.

C'est la liquéfaction du gluten et de l'amidon, et la transformation des substances grasses, qui rendent la pâte molle et collante, et font obtenir, après la cuisson, un pain gras, lourd et indigeste (1).

On attribue généralement la *coloration* du *pain bis* à l'altération du gluten par la *céréaline*. Selon Mége-Mouriés, cette céréaline, douée, comme on le voit, de propriétés multiples, décomposerait le gluten en même temps qu'elle saccharifierait l'amidon et produirait de l'ammoniaque et une matière brune analogue à l'acide ulmique. — Nous savons maintenant que la céréaline est une amylase qui n'attaque que l'amidon et que la liquéfaction du gluten est due à une autre diastase, la pepsine. Nous avons vu aussi que la production du pain bis n'est pas seulement due à l'action des diastases,

(1) Une telle pâte ne peut servir de levain ; quand on l'incorpore à une pâte neuve, même exempte de bactéries, elle empêche la fermentation alcoolique de se développer par l'acidité qu'elle y apporte. — C'est aussi pourquoi les boulangers emploient un levain blanc pour fabriquer leur pain bis.

mais aussi au développement de fermentations autres que la fermentation alcoolique.

Quant à la coloration du pain bis, M. Boutroux a démontré, par des expériences concluantes, que le gluten ne changeait pas de couleur pendant la panification et que cette coloration était due à l'action d'une *diastase oxydante* sur l'un des éléments solubles de la pâte, le *glucose* (1).

M. Boutroux a d'abord constaté que du gluten baigné dans une solution sucrée nutritive incolore,ensemencé, après stérilisation par la chaleur, soit avec de la levure, soit avec un peu de pâte de farine et d'eau en fermentation spontanée, ne changeait pas de couleur pendant la fermentation.

Mais ce gluten avait été cuit par la stérilisation, et par suite dénaturé. Il importait de faire la même étude sur du gluten cru, en renonçant à la stérilisation.

M. Boutroux introduisit dans trois tubes contenant chacun 10 centimètres cubes d'eau et 0 gr. 75 de saccharose, le gluten de 20 grammes de farine dans chacun des tubes. C'est à peu près la composition d'une pâte de pain dont on aurait supprimé l'amidon. Aucune opération de stérilisation n'est pratiquée. Le premier tube estensemencé avec une levure bien blanche, qui a été cultivée en moût incolore; le deuxième estensemencé avec un peu de pâte spontanément fermentée; le troisième n'est pasensemencé du tout.

Les trois tubes sont d'abord conservés à l'étuve vers

(1) Boutroux, *Le pain et la panification*, 1897.

33°, puis le gluten est pulvérisé avec une baguette en verre et les trois tubes sont mis au bain-marie pendant 20 minutes.

Après refroidissement, les trois masses ont la même couleur, d'un blanc un peu sale. — Par conséquent, les fermentations qui se produisent pendant la panification n'altèrent pas la couleur du gluten.

Mais en est-il de même des autres éléments de la pâte en présence des ferments et des diastases du grain de blé?

Nous savons que l'amylase liquéfie une partie de l'amidon pendant la panification. Cette liquéfaction, dit M. Boutroux, ne peut manquer d'avoir une influence sur la couleur du pain. La couleur d'une matière mixte contenant un liquide et de fines particules solides en suspension, peut être presque indépendante de la couleur du liquide : le lait est blanc, bien que le petit lait soit jaune verdâtre; on peut faire une pâte blanche en délayant du carbonate de chaux en fines particules dans de l'eau colorée par du caramel. — Mais si la matière solide se dissout, la couleur du liquide devient visible. En ajoutant, par exemple, un peu d'acide chlorhydrique concentré à la pâte blanche de carbonate de chaux et de caramel, on obtient un liquide brun. C'est ainsi que du glucose cristallisé humide et incomplètement purifié est en masses solides blanches, mais si l'on vient à le dissoudre dans l'eau, on obtient une solution brune. De la même manière une pâte contenant du son, presque blanche lorsque l'amidon y est à l'état solide, brunira quand, sous l'influence de la température et de l'amylase, l'amidon se liquéfiera partiellement.

C'est donc l'amidon liquéfié, c'est-à-dire le *glucose* qui se produit dans la pâte pendant la panification, qui donne au pain bis sa coloration *brune*.

Mais l'exemple que nous venons de donner s'appuie sur la présence dans la pâte de fines parcelles de l'enveloppe; en est-il de même avec une farine bien blutée et cette coloration du pain bis n'est-elle pas due, plutôt, à l'action d'une *diastase oxydante* existant dans le grain de blé?

Si l'on met à macérer du son contenant des parcelles de l'assise digestive avec deux fois son poids d'eau pendant une demi-heure, et qu'on soumette rapidement ce mélange à l'action de la presse, on obtient un liquide blond trouble. Pour le soustraire à l'action des bactéries, on le filtre au moyen du filtre Chamberland et on le transvase dans des flacons de miquel stérilisés.

Le liquide, d'abord blond et limpide, abandonne peu à peu un précipité blanchâtre; en même temps il brunit de jour en jour, et au bout de plusieurs semaines, il est devenu presque noir, sans avoir d'ailleurs subi aucune fermentation bactérienne. Ce changement de couleur est donc dû à une *action diastasique*.

D'après M. Boutroux, cette *diastase oxydante* est semblable à celle que M. G. Bertrand a découverte dans l'arbre à laque du Tonkin, et qui jouit de la propriété de déterminer le transport de l'oxygène sur un principe oxydable, le *laccol*, et de le transformer en un vernis noir.

Ainsi, pendant la panification, c'est une diastase oxydante, que l'on pourrait appeler *glucose*, d'après la

nomenclature de M. Duclaux, qui oxyde le *glucose* produit par l'amylase et qui donne au *pain bis* sa coloration brune.

Cette diastase existe donc naturellement dans le grain de blé, ou est produite par un ferment organisé au moment du pétrissage de la pâte.

En résumé, tous les ferments organisés et toutes les diastases que l'on trouve dans le grain de blé sont nuisibles à une bonne panification, et, par conséquent, ils sont inutiles dans la farine.

CHAPITRE IX

FORMATION DU GLUTEN DANS LE GRAIN DE BLÉ.

On appelle **gluten** la substance grise et élastique qui reste dans la main, lorsqu'on a éliminé l'amidon sous un mince filet d'eau, par le procédé classique employé pour l'analyse des farines.

Mis à bouillir avec de l'alcool, ce gluten laisse un résidu grisâtre que M. Dumas a appelé *fibrine végétale*; l'alcool a dissous plusieurs substances dont l'une se dépose par refroidissement, c'est la *caséine végétale*. En évaporant l'alcool, on obtient un composé analogue à l'albumine, c'est la *gliadine*, et une matière grasse semblable au beurre.

Le liquide laiteux qui laisse déposer l'amidon retient en dissolution de l'*albumine*, du sucre et des sels minéraux.

Toutes les matières azotées du grain de blé n'entrent donc pas dans la composition du gluten, et ses trois principaux éléments sont les substances azotées insolubles du grain de blé, c'est-à-dire la fibrine, la caséine et la gliadine.

M. Fleurent a réuni la fibrine à la caséine et il a donné à ce composé le nom de *gluténine*. Il a trouvé qu'un bon

gluten devait être composé de 75 parties de gluténine pour 25 parties de gliadine (1).

M. Fleurent a trouvé dans le gluten une autre substance azotée, se rapprochant de la caséine, et qu'il a appelée *conglutine*. Mais cette substance n'existe qu'en quantité négligeable dans le gluten du blé.

On a aussi signalé dans le grain de blé deux substances azotées, l'une soluble dans les solutions de sel marin de 6 à 10 p. 100, coagulant vers 100°; l'autre coagulant vers 62° et précipitée par le chlorure de sodium.

Ces substances azotées sont des *globulines végétales*. Elles sont encore peu connues. On les signale également dans le seigle, l'orge et le maïs (2).

La légumine des légumineuses semble se confondre avec ces substances.

Pour le moment, nous considérerons le gluten comme composé des trois substances azotées insolubles dans l'eau que nous avons rencontrées dans le protoplasme, c'est-à-dire la *fibrine*, la *caséine*, la *gliadine*.

Mais dans le gluten ces trois substances ne se trouvent pas seulement mélangées; elles y sont intimement liées ensemble, et forment un tout homogène, ayant une consistance solide: en un mot, elles y sont *coagulées*.

Le gluten est donc le résultat de la coagulation des trois substances azotées insolubles du grain de blé.

Le gluten existe-t-il tout formé dans le grain de blé,

(1) Fleurent, *Étude sur le gluten*. — Communication faite à l'Académie des sciences en 1898.

(2) A. Gautier. *Leçons de chimie biologique*, 1897.

ou bien la coagulation de ses éléments n'a-t-elle lieu qu'au moment du mouillage de la farine, telle est la question que nous nous sommes proposé d'étudier.

Nous avons vu que les substances azotées de l'albumen se formaient dans l'assise digestive, et nous avons dit qu'une fois arrivées dans l'albumen, elles se trouvaient entraînées, par l'évaporation de l'eau, vers la périphérie de cet albumen, au détriment du centre du grain.

De plus, M. Fleurent nous apprend que les proportions de gluténine et de gliadine ne sont pas les mêmes, suivant qu'on examine le gluten du centre ou de la périphérie de l'albumen, et il a trouvé que la quantité de gluténine augmentait en allant du centre à la périphérie.

Pour cela M. Fleurent a extrait lui-même du grain de blé trois sortes de farine, provenant de trois zones distinctes. Il a tiré une farine du centre de l'albumen, une de la partie périphérique et une troisième de la couche intermédiaire.

Voici les résultats obtenus par M. Fleurent sur du blé gris de Saint-Laud (1).

	Rendement à la mouture.	Gluten p. 100 de farine.	COMPOSITION DU GLUTEN.	
			Gluténine.	Gliadine.
Centre de l'amande.	19.0	7.37	22.94	77.06
Couche médiane	27.07	7.71	29.80	70.20
Partie périphérique.	24.51	9.51	31.55	68.45

Extraction 71.48 du poids du blé.

(1) Fleurent, *Étude sur le gluten*, 1898.

C'est donc que les substances azotées de l'albumen se trouvent indépendantes l'une de l'autre pendant la maturation du grain, et que la gluténine est plus facilement entraînée par l'eau que la gliadine.

C'est donc aussi que le gluten n'existe pas tout formé dans le grain de blé, ou, s'il s'y forme, cela ne peut être qu'à la maturité du grain, par suite de l'état du repos qui succède à l'agitation régnant pendant l'évaporation de l'eau.

Toutefois, il est difficile de se rendre compte du fait, et quelques observateurs prétendent même que le gluten ne préexiste pas dans les farines. Il serait dû à l'action d'un ferment, qui transformerait, au moment du mouillage, les substances azotées de la farine en gluten. (*Martin, Johannsen*) (1).

Cette théorie n'a rien qui puisse nous surprendre si l'on examine ce qui se passe dans la coagulation du sang.

Le sang est liquide dans les vaisseaux et ce n'est qu'après son extraction qu'il se prend en une masse gélatineuse essentiellement constituée par une trame fibrillaire englobant les éléments figurés et le liquide. La substance fibrillaire constitue la fibrine et les phénomènes de coagulation et de formation de la fibrine sont deux phénomènes corrélatifs.

On sait que si le sang se coagule hors des vaisseaux, ce n'est ni parce qu'il est exposé au refroidissement, ni parce qu'il reste en repos, ni parce qu'il a le contact de

(1) A. Gautier, *Leçons de chimie biologique*, 1897.

l'air. On sait aussi depuis longtemps qu'on peut conserver quelque temps hors des vaisseaux, du sang non coagulé, pourvu qu'on le reçoive au moyen d'appareils parfaitement vaselinés, dans des vases vaselinés et sous une couche d'huile, en un mot, si l'on empêche ses éléments d'être mécaniquement ou chimiquement blessés.

La fibrine, qui apparaît au moment de la coagulation, ne préexiste pas dans le plasma sanguin. Ce plasma contient bien une substance qui, par ses propriétés, se rapproche de la fibrine, mais ce n'est pas de la fibrine, c'est du *fibrinogène* (1).

Dans le plasma, le fibrinogène est la substance mère de la fibrine, et celle-ci résulte d'un dédoublement de ce fibrinogène.

La transformation du fibrinogène en fibrine n'est pas spontanée. Il existe, en effet, de nombreux liquides contenant du fibrinogène et n'ayant aucune tendance à se coaguler spontanément. Cette coagulation est provoquée par un ferment soluble, le ferment de la fibrine ou *fibrine ferment*, la thrombine de Al. Schmidt.

Cette diastase, la *plasmase*, pour nous conformer à la nomenclature de M. Duclaux, ne préexiste pas dans le plasma sanguin, et elle semble n'apparaître que dans le sang extrait des vaisseaux. Elle paraît sortir des globules blancs du sang.

D'après Sekelharing, la thrombine serait une nucléo-albumine.

Dans ce phénomène complexe de la formation de la

(1) A. Gautier, *Leçons de chimie biologique*, 1897.

fibrine, outre le fibrinogène et le ferment, les sels solubles de chaux sont encore des agents nécessaires. Les analyses de MM. A. Gautier, Arthus et Pagès ont montré que la fibrine contient toujours et nécessairement des matières minérales calciques. D'autre part, M. Arthus a démontré qu'il est possible de déterminer la formation de quantités croissantes de fibrine au moyen d'un plasma oxalaté donné, en additionnant, dans des conditions expérimentales convenables, ce plasma de quantités croissantes de sels calciques (1).

La fibrine est donc un composé albuminoïdo-calcique. Elle résulte essentiellement d'un dédoublement du fibrinogène, probablement avec substitution des sels de chaux à une partie des sels alcalins de la molécule, et la coagulation du sang est produite par une diastase, la plasmase.

N'en serait-il pas de même dans la farine, pour le gluten; et la coagulation de ses éléments: fibrine, gliadine et caséine, ne serait-elle pas due également à une *diastase* semblable à la plasmase du sang, et que nous appellerons *glutenase*?

Pour vérifier cette supposition, et sachant que le ferment qui serait cause de la formation du gluten n'agit qu'au-dessous de 0°, nous avons pensé qu'en cherchant à extraire le gluten d'une même farine, sous un mince filet d'eau à la température ordinaire d'une part, et avec une eau à une température voisine de 0° d'autre part, nous obtiendrions une solution; c'est-à-dire que

(1) Maurice Arthur, *Éléments de chimie physiologique*, 1897.

si, dans la seconde expérience, il n'y avait pas formation de gluten, celui-ci ne préexisterait pas dans la farine, et la coagulation de ses éléments se produirait seulement après le mouillage de la farine et serait due à une diastase coagulante, à notre glutenase.

Pour cela, nous avons pesé quatre lots de chacun 100 grammes de la même farine. Nous avons fait des pâtons avec chaque lot, en employant de l'eau ordinaire pour les deux premiers et de l'eau glacée pour les deux autres. Nous avons extrait immédiatement le gluten des pâtons 1 et 3 et celui des pâtons 2 et 4 après une heure de repos. De plus, le pâton n° 4 a été maintenu, à l'aide d'un mélange réfrigérant de glace et de sel marin, à une température au-dessous de 0° pendant l'heure de repos que nous lui avons fait subir.

Voici les résultats que nous avons obtenus :

EAU ORDINAIRE Température 10°		EAU GLACÉE Température 0°	
Pâton N° 1. Farine 100 gr. Eau 50 gr.	Pâton N° 2. Farine 100 gr. Eau 50 gr.	Pâton N° 3. Farine 100 gr. Eau 50 gr.	Pâton N° 4. Farine 100 gr. Eau 50 gr.
Gluten extrait de suite.	Gluten extrait après 1 h. de repos.	Gluten extrait de suite.	Gluten extrait après 1 h. de repos.
Gluten obtenu 26 grammes.	Gluten obtenu 29 grammes.	Gluten obtenu	Gluten obtenu
Gluten court au début.	Gluten élas- tique.	Impossibilité d'extraire le Gluten.	Aucune trace de Gluten.

Nous constatons donc que l'emploi de l'eau ordinaire nous a donné du gluten, tandis qu'avec de l'eau glacée, nous n'avons pas obtenu de gluten.

Nous pouvons déjà en déduire que le gluten n'existe pas tout formé dans la farine, et qu'il ne se forme qu'après le mouillage et avec l'aide d'une température supérieure à 0°

C'est donc qu'il dépend d'une fermentation qui se produit dans le pâton de la farine. Avec le pâton n° 1, en le malaxant immédiatement, nous avons obtenu un gluten court au début, mais qui s'est un peu raffermi vers la fin. C'est qu'en opérant de suite, on ne donne pas à la fermentation assez de temps pour se développer. La coagulation se continue pendant l'expérience sous l'effet du malaxage de la farine. Aussi, trouve-t-on une quantité moindre de gluten qu'avec le pâton n° 2; quelques substances azotées non coagulées ont été entraînées par l'eau.

Avec le pâton n° 2, nous avons une pâte dure et résistante dès le début, le gluten a été facile à extraire et nous avons obtenu un gluten élastique et résistant.

Avec le pâton n° 3, en employant de l'eau glacée, il nous a été impossible d'en extraire le gluten. Nous y avons remarqué, cependant, quelques traces de gluten, dues, selon nous, à l'eau qui, dans certains endroits, aura pris, pendant le pétrissage, une température supérieure à 0°.

Mais en laissant reposer le pâton n° 4 pendant une heure dans un mélange réfrigérant, les résultats ont été concluants. Aucune trace de gluten, une pâte courte et fi-

lant entre les doigts. La coagulation des éléments du gluten n'a pas pu se produire et il n'y a pas eu formation de gluten.

Pour nous assurer encore que nous avons bien affaire à un ferment, nous avons pétri deux nouveaux pâtons en employant de l'eau oxygénée. Nous savons que l'eau oxygénée a la propriété de détruire les ferments et d'empêcher toute fermentation. Nous avons malaxé un pâton immédiatement, et l'autre après une heure de repos. Dans les deux cas, il nous a été impossible d'extraire le gluten.

Nous sommes donc bien en présence d'un ferment. Mais une autre question se pose : la *fibrine* elle-même existe-t-elle dans la farine et n'avons-nous pas affaire à une substance se rapprochant de la fibrine, mais n'étant pas de la fibrine, laquelle substance, semblable au fibrinogène du sang (peut-être les globulines dont nous avons parlé), se transformerait en fibrine sous l'action de la *glutenase* (1)?

Lorsqu'on traite un gluten coagulé par l'eau oxygénée, on voit aussitôt le gluten perdre sa cohésion, se désagréger, et former une masse floconneuse ressemblant à de la gélatine : c'est la gliadine qui s'est boursouflée. L'eau oxygénée, en détruisant le ferment coagulant, à détruit également la force de résistance de la fibrine. Or, si en détruisant le ferment de la fibrine, on détruit la fibrine, c'est donc que celle-ci n'existe pas avant que le ferment ait manifesté son activité.

(1) D'après M. A. Gautier, la fibrine dissoute et le fibrinogène sont des globulines.

Quel est ce ferment, quelle est sa composition, d'où provient-il? Existe-il également dans l'assise digestive et l'embryon, et la difficulté que l'on éprouve quelquefois à extraire le gluten des farines bises ne dépendrait-elle pas de la faible proportion de ce ferment dans ces deux membranes?

Quelle part prend ce ferment dans la constitution du gluten, dans la valeur boulangère des farines et leur rendement à la panification?

On sait que des blés très riches en substances azotées ne donnent pas de gluten au lavage et que leur farine est d'un mauvais rendement à la panification. Et, cependant, les éléments du gluten existent dans ces blés comme dans d'autres, seulement ils n'ont pas formé, par la trituration dans la main, de pâton collant et élastique; ils ont été entraînés par l'eau en même temps que l'amidon, et on les retrouve facilement sur le tamis et autour de la cuvette.

Est-ce l'absence de ce ferment qui en est cause, et dans ce cas, l'addition d'un ferment coagulant pourrait-elle le remplacer? Peut-on modifier l'activité de ce ferment?

Enfin, quelle est cette substance qui donne la fibrine, et l'addition de sels de chaux peut-elle en augmenter la production? Dans quelle proportion doit-elle entrer dans un bon gluten?

Voilà autant de questions qu'il serait intéressant d'étudier, mais qu'il nous est impossible de résoudre nous-même, et dont nous laissons le soin à des personnes plus autorisées et plus compétentes.

CHAPITRE X

VALEUR ALIMENTAIRE DES DIFFÉRENTES PARTIES DU GRAIN DE BLÉ.

Maintenant que nous connaissons exactement la composition physique et chimique du grain de blé, il va nous être facile d'examiner la valeur nutritive de ses différentes parties et de déterminer les éléments du grain de blé qui sont vraiment assimilables par l'homme.

De l'enveloppe. — Nous savons que l'enveloppe ou péricarpe provient d'une feuille, et comme toute feuille desséchée, elle est entièrement composée de cellulose transformée : tantôt c'est de la cellulose cutinisée, tantôt c'est du ligneux.

Bien entendu, par enveloppe, nous avons en vue le péricarpe seul, tel que nous l'avons déterminé et qui représente environ 15 p. 100 du poids total du grain de blé. « Par enveloppe, comme a dit Payen, il faut entendre ce parenchyme ligneux, ce parchemin fibreux qui sert de couverture et d'enveloppe à la matière farineuse (1), » et non l'enveloppe à laquelle adhère encore une partie

(1) Parmentier, *Expériences et réflexions sur les blés et les farines*, 1776.

de la membrane embryonnaire, comme on la rencontre trop souvent dans les moulins.

Nous avons vu qu'au moment de la maturation du grain de blé, le péricarpe abandonnait toutes les substances plastiques qu'il renfermait dans ses cellules, à l'exception de quelques matières minérales, principalement de la silice, qui restaient dans la couche périphérique de l'enveloppe. Ces substances minérales constituent donc toute la valeur nutritive du péricarpe. Mais nous savons aussi qu'elles sont situées dans l'épicarpe et que cette membrane, mince et friable, est et doit être éliminée par le nettoyage, à cause de la grande quantité de poussières qu'elle retient, et parce que, si elle n'a pas été complètement enlevée avant la mouture du grain de blé, elle se pulvérise pendant les opérations du broyage, et ses produits viennent ternir les produits de l'amande farineuse.

De sorte qu'après un nettoyage énergique et rationnel, le grain de blé, tel qu'on doit le livrer à la mouture, se trouve dépourvu de son épicarpe. Par conséquent, ce qui reste du péricarpe n'a plus aucune valeur nutritive pour l'homme.

Et étant donnée la faible proportion de matières minérales que renferme l'épicarpe, environ 0.10 p. 100, il n'y a pas lieu de chercher à le conserver dans le compost alimentaire; l'avantage qu'apporterait l'introduction de ces matières minérales dans les produits de la mouture, ne compenserait pas, à beaucoup près, les inconvénients qui résulteraient de la présence de poussières et de parcelles de l'épicarpe dans la farine.

D'un autre côté, si nous considérons que les autres membranes du péricarpe, le mésocarpe et l'endocarpe, sont en grande partie formées de ligneux, c'est-à-dire qu'elles sont de même nature que le bois, il est évident que le péricarpe en entier doit être éliminé par la mouture et qu'il ne doit jamais entrer dans la composition des farines.

Pour Parmentier déjà, l'enveloppe du grain de blé était sans valeur et ne pouvait être que nuisible dans la composition des farines. « L'art du meunier, disait-il, consiste à dérober au grain de blé cette écorce sans la réduire en poudre (1). »

M. A. Girard, dans ses recherches sur la valeur alimentaire du grain de froment, a démontré aussi que ce que nous appelons péricarpe, c'est-à-dire péricarpe et testa d'après M. A. Girard, n'a aucune valeur nutritive pour l'homme, et que les substances minérales et azotées qu'il trouvait dans l'enveloppe provenaient, pour la majeure partie, de l'assise digestive qu'il considérait comme faisant partie de l'enveloppe et que nous rattachons à l'amande farineuse (2).

Enfin, le péricarpe n'est pas assimilable par l'homme.

Nous savons que la transformation des substances alimentaires en matières absorbables ou assimilables s'opère dans la bouche, dans l'estomac et dans l'intestin, sous l'action de diastases qui saccharifient l'amidon et transforment les substances azotées et les matières

(1) Parmentier, *Traité sur la fabrication et le commerce du pain*, 1778.

(2) A. Girard, *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment*, 1884.

grasses, de la même manière que les ferments solubles des végétaux.

Mais toutes les matières alimentaires ne sont pas également assimilables, et nous avons dit, en parlant des fermentations du grain de blé, que la cellulose, pour être transformée, nécessitait la présence d'un ferment organisé, le ferment butyrique.

Or, ce ferment, qui concourt puissamment à transformer, dans l'estomac des ruminants et probablement de tous les herbivores, la cellulose du foin en des composés solubles et assimilables, n'existe pas dans l'estomac de l'homme. C'est pourquoi les enveloppes des légumineuses que nous absorbons, haricots, pois, fèves, lentilles, ne sont pas digérées.

Nous devons donc rejeter de notre alimentation l'enveloppe entière du grain de blé et la laisser aux animaux qui, comme l'a dit M. A. Girard, nous rendront sous forme de viande ce que nous aurons perdu sous forme de pain (1).

Les tentatives faites en ces temps derniers pour faire entrer dans notre compost alimentaire la totalité ou au moins une partie de l'enveloppe du grain de blé, sont donc contraires à une alimentation saine, normale et rationnelle.

Elles proviennent d'une idée fautive sur la structure, la composition chimique et la valeur alimentaire des différentes parties du grain de blé. Elles ont été suggérées par ce raisonnement que les parties du grain de blé que

(1) A. Girard, *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment*, 1881.

M. A. Girard a conseillé de rejeter de l'alimentation humaine (environ 30 p. 100 du poids total du grain de blé) (1), ont pour l'homme une certaine valeur nutritive : donc il faut les admettre dans le compost alimentaire.

Nous ne contestons pas cette valeur nutritive, puisque, au contraire, nous cherchons à l'établir; mais nous ne voulons pas être aussi rationnel sur ce point, et nous prétendons que l'on doit seulement faire entrer dans notre alimentation les parties qui sont réellement nutritives et assimilables par l'homme, et rejeter du compost alimentaire celles qui, comme les membranes du péricarpe, ne peuvent lui être d'aucune utilité.

Ce qui était vrai du temps de Parmentier, l'est encore de nos jours. « Loin de changer, dit-il, comme les autres parties du grain, de forme et de nature, dans toutes les opérations qu'il subit avant de servir d'aliment, le son demeure constamment le même. C'est du son dans le blé et dans la farine, c'est du son dans le levain et dans la pâte, c'est du son dans le pain et dans l'estomac, c'est du son dans les entrailles et dans les déjections : partout il jouit de ses propriétés.... il fait du poids et non du pain (2). »

De l'assise digestive. — Si le péricarpe doit être rejeté de notre alimentation, il n'en est pas de même de l'assise digestive.

Nous avons vu que cette membrane était composée de

(1) A. Girard, *Communication faite à l'Académie des sciences en 1897.*

(2) Parmentier, *Rapport sur le pain de troupe*, lu à l'Institut le 21 brumaire an V.

grandes cellules carrées, remplies d'une substance granuleuse et fortement colorée en jaune.

Nous savons maintenant que ces granulations sont formées par des matières albuminoïdes, des noyaux ou ferments organisés, des diastases généralement unies à des sels minéraux, et des matières minérales. La coloration de cette assise est due, comme nous l'avons dit, à la teinte safranée des noyaux et à la matière grasse qui est disséminée dans l'intérieur des cellules sous forme de gouttelettes huileuses d'une petitesse infinie.

Nous savons aussi que ces substances albuminoïdes, ces ferments et ces diastases, sont particulièrement riches en éléments azotés et que les noyaux et les diastases renferment également une substance contenant du phosphore : la *nucléine*.

Enfin, c'est dans l'assise digestive et l'embryon que se trouve la presque totalité des matières grasses, phosphatées et minérales, que renferme le grain de blé.

Cette membrane doit donc avoir pour l'homme une très grande valeur nutritive.

En parlant des substances azotées qu'elle contient, M. A. Girard a dit, en 1884 (1) : « Riche à près de 4 p. 100 d'azote, ce tégument, si l'azote qu'il contient était assimilable, posséderait une valeur double de celle des farines les meilleures, et son introduction, par suite, dans le compost alimentaire, correspondrait à une économie qui ne serait pas moindre de 17 à 18 p. 100 sur la dépense en farine de chacun de nous. Mais cette

(1) A. Girard, *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment*, 1884.

économie si désirable, nous ne saurions malheureusement la réaliser, car, d'une part, ainsi que l'a établi Mége-Mouriés, le tégument séminal, par la *céréaline* qu'il contient, exerce sur les farines panifiées un effet fâcheux; d'autre part, les matières azotées que le tégument séminal renferme ne sont *digestives* et *assimilables* par l'homme que dans une mesure insignifiante. »

Nous allons examiner si ces deux points ont encore aujourd'hui la même valeur.

Voici ce que disait M. A. Girard au sujet de la *céréaline* : « Aisément soluble dans l'eau, cette *céréaline*, au cours du pétrissage, est enlevée au tégument séminal et mélangée à l'état de solution, par ce pétrissage même, à la pâte glutineuse et amylacée que le boulanger abandonne à la fermentation.

« Sous l'influence de la chaleur dont cette fermentation s'accompagne, on voit alors la *céréaline* exercer sur l'amidon et sur le gluten une action caractéristique. Elle saccharifie le premier comme ferait la diastase elle-même; et, modifiant le second dans sa plasticité, elle lui impose en outre une coloration brune.

« C'est de cette double action de la *céréaline* que résulte la production du pain bis. La pâte chargée en dextrine et en sucre devient grasse; la levée, par suite de la diminution de l'élasticité du gluten, perd sa vivacité habituelle, et la masse enfin prend toute entière la teinte grise caractéristique des farines mal blutées.

« C'est à la présence matérielle des débris de l'enveloppe, à leur dissémination à travers la masse panaire, qu'on attribuait autrefois cet état particulier du pain.

Par des expériences nombreuses, Mége-Mouriés a démontré qu'il en était autrement et qu'en enlevant au son la céréaline qu'y apporte le tégument séminal, et faisant intervenir cette céréaline au pétrissage, on peut d'une farine d'une pureté absolue obtenir cependant du pain bis. »

Nous savons aujourd'hui que cette céréaline est une diastase et qu'elle comprend même plusieurs diastases : une amylase et une maltase qui saccharifient l'amidon, une pepsine qui liquéfie le gluten, une saponase qui transforme les matières grasses et une diastase oxydante qui donne au pain sa couleur grise. Nous avons vu aussi que la production du pain bis est due également à l'action de ferments organisés qui déterminent des fermentations nuisibles à une bonne panification.

Or, si nous arrivons, comme nous le verrons tout à l'heure, à empêcher ces ferments d'être nuisibles, et même à les détruire pour éviter toute altération des farines, nous enlèverons l'un des motifs qui empêchent d'incorporer dans le compost alimentaire les produits de l'assise digestive.

Nous allons examiner maintenant la digestibilité des substances azotées contenues dans la membrane embryonnaire.

Pour démontrer que l'azote de ces substances n'était pas assimilable, M. A. Girard a absorbé, sans les soumettre à la mastication et après leur avoir fait subir un lavage à l'eau tiède, un certain nombre d'enveloppes entières de grains de blé, auxquelles la membrane em-

bryonnaire était restée attachée. Recueillies et lavées, ces enveloppes ont été ensuite examinées une à une dans la crainte que quelque corps étranger n'y fût resté attaché; elles n'en contenaient aucun; un grand nombre d'entre elles portées sous le microscope n'ont laissé

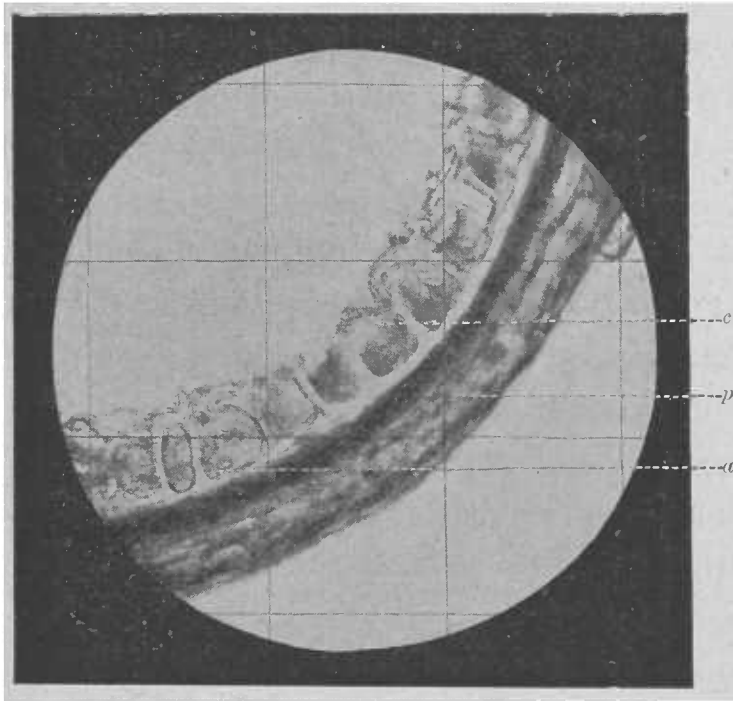


Fig. 25. — Enveloppe ayant traversé l'appareil digestif de l'homme
(agr^t = 180 diam.).

a, assise digestive; *p*, péricarpe; *c*, cellule déchirée.

apercevoir dans la constitution et la proportion des divers téguments, aucune modification appréciable; elles ne se distinguaient des enveloppes normales que par la coloration brune prononcée qu'au cours de l'expérience elles avaient acquises.

La photographie ci-contre nous montre une enveloppe après son passage dans l'appareil digestif.

Après avoir séché et analysé ces enveloppes, et tout en

tenant compte des substances azotées solubles enlevées par le lavage des enveloppes avant l'expérience, substances azotées qui, comme l'a dit M. A. Girard lui-même, se seraient solubilisées dans l'appareil digestif, M. A. Girard a trouvé que la quantité de matières azotées solubilisées par l'acte de la digestion atteignait tout au plus 1 p. 100 du poids de l'enveloppe entière prise en son état naturel (1).

Nous ferons remarquer de suite que cette expérience a été faite sur des produits qui n'avaient pas subi, comme les parties du grain qui servent à faire le pain, ni l'opération de la mouture qui les réduit en poudre fine, ni le pétrissage et la cuisson au four qui rend soluble et plus facilement assimilable la majeure partie des éléments du pain, ni enfin la mastication qui broye les aliments et met toutes leurs substances en contact avec la salive et les autres ferments de l'estomac et de l'intestin.

Nous savons tous que la plupart des aliments absorbés sans mastication sont d'une digestion difficile. Quand la mastication est incomplète, toute la digestion s'en ressent; les opérations subséquentes se font avec lenteur et deviennent pénibles. De là l'inconvénient de manger trop vite et d'avaler les morceaux sans les mâcher suffisamment.

Nos aliments ont besoin d'être rendus liquides avant d'être attaqués par les sucs digestifs; c'est le rôle de la *mastication* et de l'*insalivation*. Lorsque cette liquéfaction n'a pas lieu dans la bouche, elle doit se faire dans

(1) A. Girard, *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment*, 1884.

l'estomac; mais nos organes digestifs ne sont pas assez puissants pour opérer complètement cette transformation, et les aliments solides absorbés sans réduction préalable en fragments fins, sont en partie rejetés sans avoir subi de modification appréciable.

C'est ainsi qu'un cheval qui broye mal son avoine rejette cette céréale en grains presque entiers; et cependant, cet animal a des organes digestifs beaucoup plus puissants que les nôtres.

Nous savons aussi que la *cuisson* influe sur la valeur nutritive de nos aliments. En effet, la plupart des végétaux que nous consommons : choux, carottes, navets, pommes de terre, etc., ne sont bien assimilables qu'après avoir été cuits. Il en est de même des légumineux : haricots, pois, lentilles, qui, à cause de leur enveloppe de cellulose réfractaire à la digestion, ne peuvent être bien assimilés qu'autant qu'ils sont réduits en purée.

L'amidon lui-même, à l'état cru, est difficilement assimilé, et absorbé dans cet état, on le retrouve dans le contenu du gros intestin, sans avoir été transformé ni par le suc gastrique, ni par le suc pancréatique (1).

Enfin, si nous faisons remarquer, comme nous l'a montré la photographie d'une enveloppe après son passage dans l'appareil digestif, que quelques cellules ont été déchirées pendant l'expérience et qu'il est probable que la matière azotée qui a été assimilée provenait de l'intérieur de ces cellules, on voit qu'il est difficile d'en

(1) A. Gautier, *Leçons de chimie biologique*, 1897.

conclure que les substances azotées de l'assise digestive ne sont pas assimilables par l'homme.

Et même, il est à peu près certain que si toutes les cellules de la membrane embryonnaire avaient été ouvertes pendant l'expérience, la presque totalité des matières azotées qu'elles contenaient aurait été assimilée.

En résumé, nous pouvons dire que si M. A. Girard avait réduit en poudre les enveloppes qu'il a absorbées et leur avait fait subir les opérations du pétrissage et de la cuisson, comme cela se fait pour les autres parties du grain de blé, que l'on transforme en farine puis en pain, ou tout au moins les avait soumises dans la bouche à la mastication et à l'action de la salive, toutes les substances azotées contenues dans les cellules de l'assise digestive auraient été assimilées.

Du reste, aujourd'hui, la valeur alimentaire de ces substances n'est plus contestée. Le docteur Bovet de Pougues conseille pour l'alimentation des diabétiques un pain fabriqué avec la *légumine* des haricots (1).

« La légumine, dit M. le docteur Bovet, est un principe azoté découvert dans la farine des légumineuses par Einhof, étudié par Proust, Liebig, Dumas et Cahours, et offrant les plus grandes analogies de composition avec la *caséine* du lait, l'*albumine* de l'œuf, la *fibrine* du sang.

« Répandue particulièrement dans les graines de haricots, lentilles, pois, fèves, etc., c'est surtout dans l'*embryon* et dans sa partie enveloppante, l'*endos-*

(1) Galippe et Barré, *le Pain*, 1895.

perme, que l'on rencontre la légumine en plus grandes proportions. Elle contient 16 à 18 p. 100 d'azote, ce qui lui donne une valeur nutritive considérable. Dumas et Cahours en font un principe albuminoïde spécial, ayant ses caractères propres et, pour cette raison, appelé *végéto-animal* par Einhof (1).

« Sa composition chimique est représentée, d'après Liberkun, par la formule $(Az^9C^{36}H^{57}O^{11}) + S$. C'est donc une matière albuminoïde très riche en principes azotés, susceptible de rendre les plus grands services dans l'alimentation générale et principalement dans le régime des malades atteints d'affections digestives. »

Nous avons dit aussi que les substances albuminoïdes de l'assise digestive et de l'embryon, une fois desséchées, s'appelaient, après la maturité du grain de blé, des grains d'*aleurone*. D'après les recherches de Kornault et d'autres physiologistes, l'aleurone est une substance très digestive et très assimilable. M. A. Étienne rejetant le pain de gluten comme désagréable au goût, recommande pour les diabétiques le pain d'aleurone (2) « Une des meilleures substances, dit-il, semble être l'*aleurone*. L'aleurone est d'un goût agréable, elle est facilement *assimilable* (3). Le pain d'aleurone a en

(1) D'après M. le docteur Bovet, la légumine présenterait sur le gluten l'avantage d'être rendue parfaitement et très rapidement soluble.

(2) Galippe et Barré, *le Pain*, 1895.

(3) L'aleurone, disent MM. Galippe et Barré, rentre dans la catégorie des aliments plastiques de Liebig, substances albuminoïdes ou protéiques représentées par la formule générale, $C^{11}H^{14}Az^2O^3 + S + CaO, PhO^4$. L'aleurone est analogue à la fibrine du sang, à la musculine des muscles, à l'albumine de l'œuf, à la caséine du lait, à la légumine des haricots, à la glutine du pain, etc.

outre le grand avantage de donner aux diabétiques une somme d'albumine plus considérable qu'aucune autre substance végétale et même animale. L'aleurone a une composition inverse de celle du gruau. Tandis que ce dernier contient approximativement 9 p. 100 d'albumine et 74 p. 100 d'hydrates de carbone, l'aleurone renferme 80 p. 100 d'albumine et 7 p. 100 d'hydrates de carbone. »

On voit ainsi toute la valeur nutritive des substances azotées contenues dans les cellules de l'assise digestive.

De plus, ces substances azotées sont facilement assimilables. Les matières albuminoïdes sont transformées en peptones assimilables par la pepsine que renferme le suc gastrique et par la trypsine et la bile que contient le suc pancréatique. Quant aux nucléines qui ne sont décomposées ni par le suc gastrique ni par le suc pancréatique, elles sont dissoutes par les humeurs alcalines de l'intestin grêle.

Donc, toutes les substances azotées contenues dans les cellules de l'assise digestive sont *assimilables* par l'homme et ont pour lui une grande valeur alimentaire.

Nous ne nous arrêterons pas longtemps sur les matières minérales que renferment les cellules de l'assise digestive, car il est incontestable qu'elles sont toutes assimilables.

« Si les matières azotées contenues dans l'enveloppe, dit M. A. Girard, résistent pour la presque totalité à l'action des sucs digestifs, les matières minérales sont,

au contraire, et pour les trois quarts, solubilisées sous leur influence (1). »

Dans l'expérience de M. A. Girard, les matières minérales ont été presque toutes enlevées par le lavage des enveloppes à l'eau tiède, et M. A. Girard considère les matières minérales retrouvées dans les enveloppes après l'expérience comme non assimilables par l'homme. Mais il est probable aussi que si ces matières minérales avaient été mises en présence des sucs digestifs par la panification et la mastication, elles auraient été également assimilées.

Nous savons, en effet, que ces substances minérales se composent principalement de potasse sous forme de sulfates et de carbonates, et surtout de phosphates. phosphates de fer, phosphates de chaux, phosphates de soude, etc., lesquels sont tous assimilables.

Nous avons vu que l'assise digestive était très riche en phosphates et matières minérales (elle en contient environ 10 p. 100 de son poids), et qu'elle renfermait, avec le germe, la presque totalité des éléments minéraux du grain de blé.

Cette richesse en principes phosphatés et minéraux augmente donc encore la valeur nutritive de l'assise digestive, car les matières phosphatées et minérales sont indispensables à la constitution du cerveau, des os et des muscles, et cette richesse en éléments minéraux serait seule suffisante pour faire entrer dans le compost alimentaire la totalité des produits de l'assise digestive.

(1) A. Girard, *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment*, 1884.

si les ferments et les diastases que renferme cette membrane n'étaient pas nuisibles à une bonne panification.

M. A. Girard lui-même aurait conclu dans ce sens, si la présence de la céréaline dans la membrane embryonnaire n'était pas venue contrebalancer, pendant la panification, en abaissant la qualité du pain, les avantages apportés par la présence des matières minérales dans la pâte.

Donc, si nous parvenons à détruire ces ferments et ces diastases, qui, comme on le voit, forment le principal obstacle à l'introduction des produits de l'assise digestive dans le compost alimentaire, nous enrichirons ce compost en substances riches en éléments azotés, phosphatés et minéraux.

L'assise digestive contient aussi des matières grasses sous forme de gouttelettes huileuses. Nous savons que les substances grasses sont transformées dans l'estomac par le suc pancréatique, qui agit sur elles, physiquement en les émulsionnant et chimiquement en les saponifiant. Ces substances grasses sont des hydrates de carbone qui ont forcément une valeur nutritive réelle. Comme les matières minérales, elles sont indispensables à l'entretien de la vie et à l'accroissement des organes; il y aurait donc intérêt à les conserver dans l'alimentation de l'homme. Ce sont elles qui donnent au pain sa souplesse et le conservent frais plus longtemps; ce sont les substances aromatiques qu'elles renferment qui donnent au grain de blé et par suite au pain leur arôme spécial, leur bon goût de noisette. Mais l'altérabilité de

ces matières grasses en fait un produit gênant pour la conservation et la qualité des farines.

Aussi, leur présence dans l'assise digestive a-t-elle pesé lourdement dans la balance pour décider la meunerie à rejeter les produits de cette membrane de ceux destinés à la fabrication des farines premières.

Nous verrons plus loin que notre procédé de blanchiment et de stérilisation enlève à ces substances grasses leur couleur jaunâtre et les empêche de s'altérer à l'air, ce qui, joint aux avantages apportés par la suppression des ferments et des diastases, nous décidera à conclure à l'adoption des produits de l'assise digestive dans l'alimentation de l'homme.

Il nous reste enfin à parler de la cellulose qui constitue les parois des cellules de l'assise digestive.

Nous savons que ces cellules sont de forme carrée, à angles arrondis et à parois épaisses. Ces parois forment la majeure partie de ce qu'en meunerie on appelle remoulages blancs. Elles représentent environ 3 à 4 p. 100 du poids total du grain de blé. En admettant que le contenu des cellules de l'assise digestive soit admis dans le compost alimentaire, devons-nous également y faire entrer les parois de ces cellules, en un mot, ces parois ont-elles pour l'homme une valeur nutritive réelle?

Nous avons dit que la cellulose n'était pas assimilable par l'homme; mais nous avons surtout voulu parler de la cellulose transformée, telle que nous l'avons rencontrée dans l'enveloppe du grain de blé et telle qu'elle existe

dans le péricarpe des fruits et des légumineux, dans l'épiderme des végétaux, dans l'écorce du bois.

Il en est certainement autrement de la *cellulose pure*, de celle qui constitue les parois des cellules de l'albumen, de l'assise digestive et de l'embryon. Cette cellulose est de l'amidon condensé et nous avons dit que, comme il y a amidon et amidon, il y avait aussi cellulose et cellulose. Nous avons même ajouté que si on y regardait de près, on trouvait qu'aucune différence fondamentale ne permettait de séparer l'amidon de la cellulose pure. « Il y a, dit M. Duclaux, des amidons plus résistants que des celluloses et des celluloses plus résistantes que certains amidons. » Il est donc possible que la cellulose pure ne soit pas absolument réfractaire aux sucs digestifs de l'homme, et même, si nous considérons que nos aliments : viandes, végétaux, légumes et fruits, contiennent de grandes quantités de cellulose pure, il est probable que cette cellulose n'est pas rejetée sans avoir subi aucune transformation.

Toutefois, comme nous ne connaissons pas d'expériences concluantes à ce sujet, et que le doute subsiste dans notre esprit, nous concluons, pour le moment, à la non assimilabilité par l'homme de la cellulose pure (1).

Mais est-ce une raison absolue pour l'éliminer du

(1) Dans l'expérience de M. A. Girard, la cellulose qui constituait les parois des cellules de la membrane embryonnaire n'a pas été attaquée par les sucs digestifs; mais si elle avait été soumise à la mastication et à l'insalivation, il en aurait peut-être été autrement. Cette expérience ne permet donc pas de conclure que la cellulose pure résiste à l'action de nos organes digestifs.

compost alimentaire? Nous avons vu que l'enveloppe des cellules provenait du protoplasme, et nous savons qu'elle est formée de deux membranes, l'une, intérieure, très mince et azotée; l'autre, plus épaisse et composée de cellulose pure (1). Cette membrane azotée donne donc aux parois des cellules une valeur nutritive réelle. Nous avons dit aussi que, parmi les matières minérales, quelques-unes, comme la chaux et la magnésie, étaient nécessaires à la vitalité des tissus, et qu'on les rencontrait de préférence dans les membranes des cellules. Les parois des cellules de l'assise digestive renferment donc aussi des matières minérales, ce qui en augmente la valeur alimentaire.

Cette teneur en substances azotées et minérales de la cellulose qui constitue les parois des cellules de l'amande du grain de blé nous est démontrée par la composition des remoulages blancs.

Voici, d'après M. Balland, les résultats fournis par une analyse de remoulages provenant d'une mouture faite en 1884 avec 1/3 de blé de Californie, 1/3 de blé des Indes et 1/3 de blé du Nord de la France (2).

Matières azotées.	18.50 p. 100
(gluten à l'état normal)	
Matières minérales.....	4.83 p. 100
(principalement des phosphates)	
Total des substances nutritives..	<hr/> 23.33 p. 100

(1) C'est non pas de cellulose pure, a dit M. A. Girard, que sont faites les parois des cellules de l'assise digestive et de l'albumen, mais de cellulose pénétrée de matière azotée.

A. Girard, *Composition chimique du grain de blé*, 1884.

(2) Balland, *Recherches sur les blés et les farines*, 1884-1885.

Ces substances azotées et minérales sont-elles assimilables par l'homme? Étant donnée leur provenance, nous ne voyons aucune raison pour qu'elles ne le soient pas, et nous pensons que lorsque la cellulose qui les renferme est réduite en poudre, comme la farine, et que, comme elle, elle a subi les opérations du pétrissage, de la cuisson, de la mastication et de l'insalivation, elle doit abandonner aux sucs digestifs de l'estomac les matières azotées et minérales qu'elle contient.

Il reste donc les 2 ou 3 p. 100 de cellulose qui ne seraient pas assimilables. Mais si l'on considère que c'est de la cellulose pure, de l'amidon condensé, et que probablement cet amidon condensé est digestif, sa présence dans le compost alimentaire ne peut être nuisible. Au contraire, elle est même nécessaire parce que des substances un peu résistantes à l'action de nos organes sont indispensables à une bonne alimentation. On sait depuis longtemps que des mets trop mous et trop facilement assimilables ne sont point favorables à la santé. Nos organes digestifs, l'estomac, les muscles abdominaux ne conservent leur possibilité de fonctionnement journalier que par un travail continu et une nourriture consistante, de même que les muscles des bras et des jambes se fortifient par la gymnastique et le travail.

Une petite quantité de cellulose dans les farines est donc utile, et étant donnée la teneur en substances azotées et minérales de la cellulose qui constitue les parois des cellules de l'amande du grain de blé, nous concluons à l'adoption de ces parois dans le compost alimentaire.

Bien entendu, nous n'avons l'intention de faire entrer dans la composition des farines que la cellulose pure, celle qui constitue les membranes des cellules de l'amarande proprement dite, qui est aussi blanche que l'amidon lui-même, et nous comptons bien rejeter toutes les parcelles d'enveloppes qui sont déchirées pendant la mouture et que l'on retrouve dans les remoulages, mélangées à la cellulose pure. Ces parcelles de son n'ont aucune valeur nutritive, ne sont pas digestives et ne peuvent que ternir la pureté des farines.

De l'embryon. — Nous savons que les cellules de l'embryon sont, comme celles de l'assise digestive, remplies de substances azotées, phosphatées et minérales, de même provenance, mais plus condensées dans les cellules de l'embryon.

Celui-ci doit donc avoir une plus grande valeur alimentaire que l'assise digestive. De plus, les parois des cellules de l'embryon étant très minces, il contient relativement moins de cellulose que l'assise digestive, ce qui augmente encore sa teneur en substances azotées et minérales.

Sa grande valeur nutritive nous est fournie par sa composition chimique :

Matières azotées.	44.37
— non azotées.. ..	24.45
— grasses ..	13.80
— minérales.	6.77
— cellulosiques...	10.61

On a également rejeté l'embryon des produits destinés

à fabriquer les farines premières à cause des *matières grasses* et de la *céréaline* qu'il renferme en grande quantité.

Voici comment s'exprimait M. A. Girard en 1884 au sujet du germe (1) :

« L'analyse a établi que le germe renferme en moyenne 42.75 p. 100 de son poids de matière azotée dont la plus grande partie est soluble, et dont la partie insoluble paraît d'une solubilisation facile. Elle a établi d'autre part, que parmi les produits solubles que le germe contient, figurent 22.75 p. 100 de matière non azotée, établi enfin que la richesse de cette partie du grain en matière grasse s'élève à 12.50 p. 100; sa richesse en matières minérales, à 5.3 p. 100 (2).

« D'où résulte que, au compost alimentaire, le germe, dont le poids moyen représente 1,13 du poids du grain, apporterait en centièmes, s'il y était admis :

Matières azotées..	...	0.611
— solubles non azotées.		0.318
— grasses..	...	0.171
— minérales..	...	0.075

« A l'influence que peuvent exercer ces diverses matières, au point de vue de l'enrichissement du produit à panifier, comme aussi des qualités du pain à obtenir, il convient de donner attention.

« Les matières azotées solubles que le germe ren-

(1) A. Girard, *Composition chimique et valeur alimentaire des différentes parties du grain de froment*, 1884.

(2) Les chiffres donnés par M. A. Girard indiquent le poids des substances dépourvues d'eau, tandis que les nôtres représentent ces substances à leur état normal d'hydratation.

ferme sont de nature très variée. Il en est qui, en quelques heures, se coagulent à froid, d'autres qui se coagulent à 10°; quelques-unes enfin qui résistent à 100°. Ce sont évidemment des matières en cours de transformation progressive, et dont il serait impossible, en l'état actuel de la science, de préciser la nature. Plusieurs parmi elles, cependant, il est permis de le supposer, doivent avoir une valeur nutritive réelle.

« Mais, et c'est là un point capital, parmi ces matières azotées solubles figure, pour une proportion notable, un ferment non figuré, susceptible d'exercer sur la matière amylacée et la matière glutineuse de la farine une action considérable.

« Cette influence et l'énergie avec laquelle elle se manifeste permettent, dès à présent, je crois, de conclure que, au point de vue de la qualité du pain que la farine fournira, l'exclusion des germes du produit de la mouture est chose nécessaire.

« Cette conclusion, on peut cependant la retarder encore. L'étude de la matière grasse que le germe contient à la proportion de 12.50 p. 100 va permettre, en effet, de lui donner plus de force. Cette matière grasse, identique à celle que l'on extrait des cellules du tégument séminal, est une des plus oxydables que la nature végétale nous offre. Sirupeuse au moment où elle vient d'être extraite, elle ne tarde pas à se modifier au contact de l'air; en deux ou trois jours, elle devient visqueuse, épaisse, et bientôt se montre remplie de matière résineuse solidifiée et insoluble dans la benzine. En même temps, le parfum agréable qui la caractérisait à l'ori-

gine disparaît, pour faire place à l'odeur connue des graisses rancies.

« C'est, il n'en faut pas douter, à l'influence de l'huile abandonnée par les germes broyés qu'est dû principalement le rancissement des farines.

« La conclusion à tirer des observations qui précèdent s'indique d'elle-même.

« Sans doute, le germe du grain de froment est riche en matières azotées; mais parmi ces matières figure, et certainement en abondance, la *céréaline* qui détermine la formation du pain bis.

« Sans doute, ce germe est riche en matière grasse, mais cette *matière grasse*, aussitôt hors des cellules qui dans le tissu végétal la retiennent, s'altère rapidement.

« D'où il résulte qu'à chaque avantage apporté par le germe, correspond un désavantage plus grand encore. »

Et M. A. Girard conclut que le germe, comme la membrane embryonnaire, doit être rejeté du produit de la mouture.

Mais ce que l'état de la science ne permettait pas d'étudier en 1884, nous en connaissons aujourd'hui la provenance et la composition.

Nous savons que le germe contient les mêmes substances que l'assise digestive et nous avons vu, en parlant de cette membrane, que les matières azotées, phosphatées et minérales qu'elle contient, sont assimilables par l'homme.

Le germe a donc une valeur nutritive réelle, et d'autant plus grande qu'il est très riche en éléments azotés,

phosphatés et minéraux. Du reste, il y a quelques années, le docteur Dujardin-Beaumetz en a fait un aliment nouveau, appelé « *la fromentine* », qu'il recommande aux diabétiques et aux dyspeptiques. Cet aliment contiendrait 87.37 pour 100 de substances alimentaires, et serait plus riche que le pain desséché en substances albuminoïdes.

On fabrique aussi depuis quelque temps, en Angleterre, avec le germe du blé, des pains fort estimés. Citons, par exemple, le pain « *Hovis* ». Les embryons du blé sont isolés par un procédé de mouture spécial, puis ils subissent un traitement resté secret. On mélange ensuite les germes avec trois parties de farine fine, et c'est ce mélange qu'on soumet aux procédés de panification. Le pain obtenu a une richesse exceptionnelle en matière azotée ainsi qu'en phosphates.

Nous pouvons donc en conclure que les substances azotées, les matières grasses et les éléments phosphatés et minéraux de l'assise digestive et de l'embryon sont assimilables par l'homme et que si nous parvenons à empêcher de s'altérer les *matières grasses* que ces deux membranes renferment, et les *diastases* qu'elles contiennent d'être nuisibles à une bonne panification, rien ne s'opposera plus désormais à leur introduction dans les produits destinés à la fabrication du pain blanc.

Nous regrettons d'être arrivés, dans cette étude, à des résultats opposés à ceux obtenus par M. A. Girard, qui fait autorité lorsque l'on parle du grain de blé. Mais nous ne connaissons en meunerie que ses travaux sur la composition chimique et la valeur alimentaire des diffé-

rentes parties du grain de froment, publiés en 1884, et nous ne les croyons plus en rapport avec les découvertes récentes de nos savants et de nos chimistes. Comme l'a dit lui-même M. A. Girard, l'état de la science à cette époque ne lui permettait pas de pousser plus loin ses recherches. C'est que la science de la nutrition des êtres organisés est en effet toute moderne; elle a suivi pas à pas le progrès des sciences physico-chimiques, et particulièrement de la chimie. Ce qu'il était impossible d'étudier hier, nous connaissons aujourd'hui sa nature et sa provenance.

C'est pour mieux faire connaître à la meunerie la composition de la matière première qu'elle emploie; c'est pour lui permettre de tirer un meilleur parti des divers éléments du grain de blé; c'est enfin pour appliquer à son industrie les dernières découvertes de la science, que nous nous sommes permis de publier le résultat de nos études et de nos recherches.

De l'albumen. — L'étude de la valeur alimentaire de l'albumen ne saurait nous retenir longtemps. Nous connaissons exactement sa composition chimique et c'est un fait admis par tous, et que de nombreux travaux ont permis de vérifier, que, pour la presque totalité on pourrait même dire, à la rigueur, pour la totalité de sa masse, l'albumen du grain de blé est digestible et assimilable par l'homme.

Nous savons, en effet, que l'albumen est un organe de réserve, et qu'il est formé de grandes cellules allongées dans lesquelles se trouvent logés les grains d'amidon em-

pâtés dans le gluten. Le contenu de ces cellules est donc entièrement assimilable.

Quant aux parois des cellules, nous savons aussi qu'elles sont minces, molles et transparentes, et présentent quant à leur composition une analogie remarquable avec les parois des cellules de l'assise digestive. Nous avons vu que comme celles-ci, c'est non pas de cellulose pure, mais de cellulose pénétrée de substance azotée et de matières minérales que sont faites les parois des cellules de l'albumen.

Nous concluons donc, comme pour l'assise digestive et l'embryon, à l'introduction de cette cellulose dans le compost alimentaire. Du reste, la quantité de cellulose que contient l'albumen ne dépasse pas 2 p. 100 du poids total du grain de blé.

En résumé, nous déduirons de cette étude, que si le grain de blé ne contenait pas de ferments et de diastases, et si la matière grasse qu'on rencontre dans l'assise digestive et l'embryon ne s'altérerait pas à l'air, l'**amande entière** du grain de blé pourrait faire partie de l'alimentation de l'homme.

CHAPITRE XI

LE GRAIN DE BLÉ EST-IL UN ALIMENT COMPLET?

Pris dans son ensemble, le **Grain de blé**, de même que tout corps organisé, est composé de substances *quaternaires* et *ternaires*, mélangées avec une plus ou moins grande quantité d'eau et d'une petite quantité de sels minéraux tels que sels de fer, phosphates, carbonates, chlorures, etc...

On appelle *quaternaires* ou azotées, les substances composées de quatre éléments, le carbone, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote; tandis que les substances dites *ternaires* ou hydrates de carbone ne sont composées que de carbone, oxygène et hydrogène; elles ne contiennent pas d'azote.

Les substances azotées, que l'on appelle aussi *albuminoïdes*, sont réellement des substances actives. Ce sont les seules qui soient propres à la sanguination et qui donnent naissance aux principes des organes. On les appelle pour cela aliments de nutrition ou aliments *plastiques*.

Soumises dans l'organisme à l'action des diastases de l'économie (salive, suc gastrique, suc pancréatique, bile, suc intestinal), les *substances azotées* se transfor-

ment d'abord en syntonines, puis en *peptones*. Traversant ensuite les membranes, elles vont s'assimiler aux différents organes de l'être vivant : au contact des muscles, elles forment la *myosine*, et au contact des os, elles forment l'*osséine*.

Les *hydrates de carbone*, ou aliments non azotés, tels que l'amidon, la dextrine, le glucose, le sucre, les matières grasses, ne servent, au contraire, dans l'état de santé, qu'à l'entretien de l'acte respiratoire et au développement de la chaleur animale qui en est la conséquence. D'où leur nom d'aliments de combustion ou de respiration.

Ils sont aussi des aliments de *réserve*, c'est-à-dire des aliments que l'organisme a toujours à sa disposition pour le cas où sa nourriture ordinaire viendrait à lui faire défaut.

Ainsi, l'homme empêché de manger pendant quelque temps par une maladie ou par toute autre cause, se nourrit aux dépens des graisses emmagasinées dans son corps, sous la peau et entre les muscles. Il vit sur ses réserves tant qu'il en a. Un poulet naissant dans l'œuf s'accroît aux dépens de l'albumine contenue dans l'œuf; une jeune plante, tant qu'elle n'a pas les organes nécessaires pour puiser ses aliments dans le sol et dans l'air, se nourrit aux dépens de l'amidon contenu dans le grain.

La subsistance d'un organisme aux dépens de lui-même ne peut pourtant pas durer longtemps et il lui faut, pour vivre, le concours des deux sortes d'aliments, azotés et non azotés.

Les aliments respiratoires ne pourraient seuls suffire

et amèneraient bientôt la débilité et la mort si une matière assimilable ne venait accroître et renouveler les organes essentiels.

Une substance organique ne peut donc être considérée comme un aliment complet qu'autant qu'elle offre réunis :

1° Des *principes azotés* ayant la même composition que les principes essentiels du sang (fibrine, albumine, caséine);

2° Des *matières grasses* ;

3° Des *principes amylacés* ou *sucrés* ;

4° De *l'eau* ;

5° Enfin, *des matières salines et minérales*, notamment des sels de potasse, de soude, de chaux, de magnésie; des phosphates, du fer, qui sont nécessaires à la formation de tous les tissus, à la vitalité du sang.

Ces différents éléments se trouvent dans le grain de blé dans les proportions suivantes (1) :

	Blé de Bordeaux (S.-et-O.)	Blé de Flandre (Nord)	Blé de Saint-Laud (E.-et-L.)	MOYENNE.
Eau.....	14.97	15.12	14.94	15.00
Substances azotées.....	8.25	8.50	8.81	8.53
Substances non azotées..	61.25	60.69	61.99	61.31
Cellulose et ligneuse.....	12.23	12.61	11.08	11.98
Matières grasses.....	1.81	1.58	1.61	1.67
Sels minéraux.....	1.49	1.50	1.54	1.51
	100.00	100.00	100.00	100.00

(1) Analyses obtenues par M. A. Girard avec sa nouvelle méthode.

Le grain de blé contient donc environ 73 p. 100 d'éléments *nutritifs*, dont 10 p. 100 d'aliments *plastiques* (substances azotées et minérales) et 63 p. 100 d'aliments de *réserve* (hydrates de carbone et matières grasses).

Nous allons examiner si le grain de blé peut à lui seul être considéré, pour l'homme, comme un *aliment complet*.

L'homme adulte moyen a besoin chaque jour, pour entretenir son organisme, et sans augmenter ni diminuer de poids, d'une certaine quantité d'*aliments*.

Les observations les plus autorisées fournissent pour l'alimentation de l'homme adulte les nombres suivants (1) :

Alimentation de l'homme au repos.

	Albuminoïdes	Graisses.	Hydrates de carbone.	AUTEURS.
Bourgeois français ne faisant qu'un exercice modéré.....	120.0	70	330	A. Gautier
Moyenne de la population de Paris.....	115.0	48	333	—
Bourgeois anglais ne faisant qu'un exercice modéré.....	92.0	72	352	Foster
Ouvrier allemand (au repos).....	137.0	72	352	{ Pettenkoffer { et Voit
Soldat suédois (en temps de paix).....	130.0	40	530	Almen
Prisonniers (ne travaillant pas).....	87.0	22	305	Schüter
Paysan silésien.....	80.0	16	552	Meinert
	180.0	49	403	

(1) A. Gautier, *Leçons de chimie biologique*, 1897.

L'alimentation de l'homme au repos fournit donc les rapports suivants :

<i>Albuminoïdes</i>	<i>Graisses</i>	<i>Hydrates de carbone</i>
100	45,4	373

Dans le cas de l'homme qui fait un travail un peu fatigant, les nombres donnés par l'observation directe, sont les suivants (1) :

Alimentation dans le cas de travail.

	Albuminoïdes	Graisses.	Hydrates de carbone.	AUTEURS.
Ouvrier français travaillant beaucoup .	190	90	600	A. Gautier
Forgeron anglais soumis à un travail fatigant.....	176	71	666	Playfer
Ouvrier suédois.....	146	44	504	Hildesheim
Soldat français (temps de guerre).....	192	40	651	A. Gautier.
Soldat suédois en campagne.....	146	59	557	Almen
Ouvrier bavarois....	118	56	500	Voit
Ouvrier allemand...	130	40	550	Moleschott.
	150	60	563	

Dans ce cas, les rapports moyens deviennent :

<i>Albuminoïdes</i>	<i>Graisses</i>	<i>Hydrates de carbone</i>
100	40	375

Il suit de ces chiffres, pris tels que les donne l'observation pure et simple des faits, que dans l'alimentation

(1) A. Gautier, *Leçons de chimie biologique*, 1897.

de l'ouvrier qui travaille, les rapports entre les matières albuminoïdes, grasses et amylacées ne changent pas sensiblement et que pour celui-ci l'alimentation journalière doit être la même que celle de l'ouvrier au repos, augmentée de moitié environ.

Pour simplifier nos calculs, nous réunirons les graisses aux hydrates de carbone, et nous dirons qu'un aliment, pour être un aliment complet, doit se composer d'environ 10 parties de *substances plastiques* (azotées et minérales), contre 40 parties de *substances de réserve* (hydrates de carbone et graisses), soit le rapport de $\frac{1}{4}$.

Or, les variétés de blé que nous avons examinées plus haut ne contiennent que 10 parties de substances plastiques contre 63 parties de substances de réserve, c'est-à-dire le rapport de $\frac{1}{6}$ environ.

Ces blés ne peuvent donc pas être considérés comme un aliment complet.

Mais ces blés sont d'essence tendre et il peut se faire que les blés demi-durs ou les blés durs, qui sont plus riches en éléments azotés et minéraux, contiennent la proportion des substances nécessaires pour l'entretien de notre organisme.

Malheureusement, nous ne connaissons, comme analyses exactes, que les analyses des trois variétés de blé que nous venons d'étudier. Toutes les analyses que nous possédons ont été obtenues avec l'aide de procédés chimiques, et nous avons déjà dit que l'emploi de produits chimiques dans l'analyse des blés avait l'inconvénient de détruire la presque totalité de la cellulose du grain et que la disparition de cette cellulose venait augmen-

ter le poids de l'amidon qui était dosé par différence.

Nous ferons remarquer qu'en effet, toutes les analyses de blés ne mentionnent que 2 p. 100 au maximum de cellulose, celle qui a résisté aux produits chimiques (1). Le poids de l'amidon qui est en général de 60 à 70 p. 100 n'est donc pas exact et se trouve fortement exagéré.

Nous ne saurions donc trop insister pour que la nouvelle méthode d'analyse des blés, proposée par M. A. Girard, soit rendue pratique et appliquée dans les laboratoires. Il nous a été impossible d'obtenir une analyse d'après cette méthode.

Toutefois, nous allons essayer de déterminer approximativement les quantités de substances azotées et d'hydrates de carbone que doit contenir un grain de blé pour être un aliment complet.

Si nous admettons que tous les blés contiennent en moyenne 12 p. 100 de cellulose et ligneux provenant de l'enveloppe et des cellules de l'amande, quantité trouvée par M. A. Girard dans les trois variétés de blé dont nous venons de parler, et qu'à ces 12 p. 100 nous ajoutons le poids de l'eau qui est en moyenne de 14 p. 100, il nous reste 74 p. 100 pour le poids des substances nutritives que renferme un grain de blé.

Le grain de blé, pour être un aliment complet, doit donc se composer de $\frac{74}{5} = 14.8$ p. 100 de substances azotées et minérales et, partant, de 59.20 p. 100 d'amidon et de matières grasses, soit en chiffres ronds 15 p. 100 et 60 p. 100.

Et puisque les analyses des blés ne nous donnent pas

(1) Nous avons vu, en établissant la composition chimique du grain de blé, que celui-ci contenait environ 20 p. 100 de cellulose et ligneux.

exactement, pour le moment, le poids de l'amidon, mais que nous savons que ce poids est inversement proportionnel à celui des substances azotées, nous ne nous occuperons que de ces dernières et nous dirons qu'un grain de blé qui contient 15 p. 100 de substances azotées et minérales peut être considéré comme un aliment complet.

Voici, d'après Peligot, la composition de plusieurs espèces de blé :

VARIÉTÉS de blé.	Eau.	Matières carbonées.		Matières azotées.		Matières grasses.	Cellulose ligneux.	Sels minéraux.	TOTALX.
		Amidon.	Dextrine.	Gluten.	Albumine.				
Tendre.....	14.2	61.2	8.2	9.9	1.9	1.2	1.7	1.7	100.0
Mitadin ...	13.7	60.1	6.7	13.6	1.7	1.0	1.5	1.7	100.0
Dur.....	14.2	56.9	6.5	15.7	1.6	1.4	1.9	1.8	100.0
D'Espagne..	15.2	61.9	7.3	8.9	1.8	1.8	1.7	1.4	100.0
Moyenne ...	14.3	60.0	7.2	12.1	1.7	1.4	1.7	1.6	100.0

En additionnant ensemble les matières azotées et minérales de chaque espèce, nous obtenons les résultats suivants :

$$\begin{aligned} \text{Blé tendre.} & \dots 9.9 + 1.9 + 1.7 = 13.5 \\ \text{Blé demi-dur.} & \dots 13.6 + 1.7 + 1.7 = 17.0 \\ \text{Blé dur} & \dots 15.7 + 1.6 + 1.8 = 19.1 \end{aligned}$$

Nous constatons donc que les blés d'essence tendre ne sont pas assez riches en substances azotées et minérales pour entrer seuls dans notre alimentation, mais que les blés durs et les blés demi-durs contiennent la quantité de substances plastiques nécessaire à un *aliment complet*.

Les chiffres suivants, que nous empruntons à des ana-

lyses faites par M. Balland, nous montrent également que les blés français, qui sont en général des blés d'essence tendre, ne peuvent être considérés comme un aliment complet :

		Matières azotées p. 100 gr. à l'état sec.	Matières minérales p. 100 gr. à l'état sec.	TOTAL des substances plastiques à l'état sec.
Jura	(blé rouge).....	10.29	2.33	12.62
—	(blé de Bresse).....	10.22	2.33	12.55
—	(blé de Bordeaux).....	11.05	2.52	13.57
Oise	(blé de Crépy).....	11.37	2.27	13.64
Puy-de-Dôme	(Noé).....	11.61	2.41	14.05
—	(mitadin).....	11.78	2.08	13.86
—	(blé mélangé).....	11.28	1.77	13.05
—	(chiddam tendre).....	11.93	2.16	14.19
Seine-et-Oise	(blé Camus).....	11.44	2.73	14.17
—	(blé mélangé).....	9.10	1.92	11.02
—	(blé d'Armentières)....	11.15	2.11	13.26
—	(Nouvelle-Zélande).....	8.99	1.86	10.85
—	(Bordeaux).....	10.84	2.00	12.84
Yonne	(Bordeaux dur).....	11.31	1.80	13.14
—	(Victoria tendre).....	11.21	1.73	12.97
—	(Schiriff mitadin).....	10.58	1.72	12.30
—	(Noé tendre).....	11.49	1.76	13.25
—	(Rouge d'Écosse).....	10.68	1.80	12.48
Algérie	(blé de Colon).....	13.95	1.82	15.77
—	(Tuzelle bel Abbès)....	11.88	1.55	13.43
—	(Philippeville dur)....	14.83	2.12	17.05
—	(Sétif dur).....	14.53	2.21	16.74
Tunisie	(Sousse dur).....	14.63	2.86	17.49
—	(Tunis dur).....	15.99	2.06	18.05
Danube	(Bourgas).....	11.02	2.01	13.03
—	(Varna).....	12.31	2.07	14.38
—	(Roumanie).....	14.12	1.89	16.01
Turquie	(Dédé Agatch).....	11.46	2.28	13.74
Russie	Azima Sébastopol.....	13.51	2.40	15.91
—	— Odessa.....	14.38	2.20	16.58
—	— Novorossisk....	15.21	2.15	17.36
—	— Nicolaïef.....	14.22	2.39	16.61
—	— Bessarabie.....	11.93	1.78	13.71
—	— Azoff.....	16.32	2.18	18.50

Toutefois, on pourra facilement augmenter la quantité des substances azotées contenues dans les blés français, car nous avons signalé, à propos des blés d'Aubervilliers, l'influence des engrais azotés sur la richesse des blés en azote, et M. Schloesing a cité en janvier 1895, à la *Société nationale d'agriculture*, des expériences de culture qui prouvent que la proportion des matières azotées dans les blés dépend essentiellement des ressources du sol en engrais propres à fournir de l'azote. Il est logique d'admettre que la matière azotée doit aller en diminuant dans un sol qui s'appauvrit. Nous ne saurions donc trop engager les cultivateurs français à rechercher comme semences les blés fins, demi-durs, à écorce mince et riches en substances azotées, dont nous avons déjà parlé, et à forcer sur les engrais azotés et minéraux qu'ils ajoutent à leurs terres, de façon à obtenir, si possible, des blés ayant une teneur en substances plastiques se rapprochant de celle nécessaire pour faire du grain de blé un aliment complet.

Cette question présente forcément une grande importance, car la diminution des matières azotées dans les blés atteint directement l'**alimentation générale**.

CHAPITRE XII

RENDEMENT DU GRAIN DE BLÉ EN FARINES ET ISSUES.

Connaissant le poids des différentes parties du grain de blé,

Péricarpe . . . . .	..	15 %	<i>Enveloppe,</i>
Assise digestive et embryon..		10 %	} <i>Amande,</i>
Albumen..		75 %	

et tenant compte de 5 p. 100 de perte pour différence de rendement (variation dans la grosseur des grains, épaisseur du péricarpe, etc.), et déchet à la mouture, on se demande pourquoi la meunerie civile ne retire pas du grain de blé 80 p. 100 au minimum de farine, comme les moulins militaires, mais seulement 75 p. 100, et laisse aller 5 p. 100 de produits farineux dans les sons et les issues.

Cet écart provient souvent de ce qu'en France, sous prétexte de diminuer le prix de revient d'une installation par cylindres, ainsi que les frais généraux (assurances et contributions), on a réduit à cinq, quelquefois à quatre, le nombre des passages entre les cylindres pendant l'opération de la granulation, alors qu'il devrait être de six et même de sept, pour obtenir un grattage parfait de l'enveloppe.

Il en résulte qu'avec ce petit nombre de passages, et surtout si on ne veut pas diminuer le débit des appareils, on est obligé d'augmenter la pression des cylindres, ce qui a pour conséquence de briser davantage les sons; d'où, pour avoir des gros sons, qui sont d'une vente plus facile que les sons fins, la nécessité de laisser, dans ce cas, un peu de farine après les enveloppes.

Dans les moulins militaires, les meules en pierre, encore employées, ont une action plus intense sur l'enveloppe du grain de blé que les cylindres en fonte, ce qui permet de la mieux nettoyer.

Mais cette perte provient surtout de l'élimination, par la meunerie civile, du *germe* et de la *cellulose* qui constitue les parois des cellules de l'amande farineuse.

Les cylindres employés pour la réduction en farine des semoules et gruaux produits par la granulation du grain de blé, et qu'on appelle cylindres convertisseurs, sont en fonte lisse de façon à ne pas déchirer le germe qui est mélangé aux produits du broyage, ni pulvériser les membranes des cellules et les parcelles du péricarpe qui sont restées adhérentes aux semoules et gruaux.

Ces appareils manquant d'énergie, il en résulte que les germes se retrouvent en entier dans les sons et que les membranes des cellules, qui forment les remoulages, contiennent encore des produits farineux.

Dans les moutures militaires les germes et la cellulose provenant de l'amande farineuse entrent dans la composition des farines.

C'est ce qui fait que la meunerie civile n'obtient que 75 p. 100 de farine alors que la meunerie militaire retire

du grain de blé 80 p. 100, souvent même 82 p. 100 de farine.

Maintenant, en admettant que la meunerie civile puisse extraire du grain de blé tout ce qu'il renferme de produits farineux, ce qui n'a rien d'impossible, même avec les cylindres (1), c'est-à-dire au minimum 80 p. 100, pourquoi ne fabrique-t-elle pas qu'une seule qualité de farine?

Nous savons que c'est à cause de la *matière grasse* et des *ferments* situés dans l'assise digestive et l'embryon, ferments qui sont nuisibles à une bonne panification et matière grasse qui s'altère à l'air et qui donne un goût de rance à la farine et l'empêche de se conserver.

Alors, pour obtenir une farine de bonne conservation et donnant un pain blanc et de bonne levée, la meunerie a cherché à exclure de ses farines premières les produits de la *membrane embryonnaire* et du *germe*.

Mais dans l'impossibilité où elle s'est trouvée de pouvoir extraire du grain de blé l'*albumen seul* sans toucher à l'assise digestive, elle a préféré diminuer son extraction en farine première et laisser aller des produits de l'albumen avec ceux de la membrane embryonnaire.

Elle a d'abord mis de côté les produits du dernier passage de broyage, puis, ayant remarqué que, dès les deuxième ou troisième passages du broyage, des parcelles de l'assise digestive se détachaient de l'enveloppe et se mélangeaient aux produits de l'albumen, elle en est

(1) Nous ferons connaître dans un prochain travail sur la mouture le moyen d'extraire 80 p. 100 de farine avec les cylindres.

arrivée, pour diminuer le plus possible la quantité de produits de l'assise digestive dans ceux destinés à la fabrication des farines premières, à exclure la totalité ou la presque totalité de la farine de broyage, dans laquelle se trouvent plus spécialement les produits de l'assise digestive.

D'élimination en élimination, et la concurrence aidant, la meunerie a fini par n'extraire du grain de blé que 50 à 55 p. 100 de farine première et à ne tirer cette farine que du centre de l'albumen, c'est-à-dire de la partie du grain de blé la moins riche en substances azotées et ne contenant presque pas de matières phosphatées et minérales.

D'où ces plaintes justifiées de savants distingués et de docteurs éminents disant que le pain blanc de nos jours ne contient plus tous les éléments nutritifs du grain de blé et qu'il n'est plus un aliment complet.

Si, pour améliorer la qualité de sa farine première, la meunerie n'avait éliminé que l'assise digestive et l'embryon, c'est-à-dire si elle avait pu faire entrer la totalité de l'albumen (au minimum 70 p. 100) dans cette farine première, le mal eût été moins grand et la perte moins sensible pour elle; mais non seulement la meunerie, en éliminant l'assise digestive et l'embryon, a rejeté les parties du grain de blé les plus nutritives, mais elle a laissé aller en même temps dans ses produits secondaires environ 15 p. 100 des produits de l'albumen qui, eux, peuvent donner du pain blanc.

D'où double perte pour le consommateur et pour le meunier. Pour ce dernier, la perte est certainement plus importante qu'on le croit. Les farines secondaires étant vendues généralement cinq francs de moins par quintal que les farines premières, les 15 p. 100 des produits de l'albumen éliminés, qui constituent ces farines secondaires, font subir au meunier une perte de 0 fr. 75 environ par quintal de blé.

L'élimination des produits du germe et de la membrane embryonnaire, qui sont vendus comme farines bises (ou farines troisièmes) à environ 10 francs de moins par quintal que les farines premières, augmente cette perte de $0,10 \times 10 = 1$ franc par quintal de blé.

C'est donc en tout une perte d'environ 1 fr. 75 par quintal de blé nettoyé, que s'impose la meunerie pour obtenir des farines premières donnant un pain blanc.

Et si nous considérons que l'assise digestive et l'embryon valent environ 10 p. 100 du poids total du grain de blé, et que, par conséquent, le poids des substances grasses et des ferments, c'est-à-dire des *matières nuisibles* à la conservation des farines et à une bonne panification est certainement inférieur à 5 p. 100, nous arrivons à ce résultat que c'est au plus 5 p. 100 de produits nuisibles qui empêchent la meunerie de mettre en farine première 20 p. 100 au minimum de *bons produits* et lui font rejeter de cette farine les parties du grain de blé les plus riches en éléments azotés, phosphatés et minéraux.

Il nous a semblé beaucoup plus rationnel, pour conci-

lier les intérêts du meunier qui est obligé de produire une farine donnant du *pain blanc*, et ceux des médecins et des hygiénistes, qui demandent un pain plus *nutritif*. de chercher à empêcher ces 5 p. 100 de produits d'être nuisibles, que de rejeter 20 p. 100 de produits susceptibles de donner du pain blanc.

D'où notre procédé de *stérilisation* et de *désodorisation* des céréales et de leur farine, que nous examinerons dans un prochain chapitre.

Maintenant que nous entrevoyons la possibilité de ne fabriquer qu'une seule sorte de farine, nous allons examiner à quel taux d'extraction cette farine doit être obtenue.

Nous savons que le péricarpe en entier est formé de principes réfractaires aux actions digestives et qu'il doit être éliminé des produits destinés à l'alimentation humaine.

Il reste donc l'amande entière qui est susceptible de donner des produits farineux. Nous avons vu qu'on pouvait la décomposer ainsi :

Assise digestive.	8.5	} 85 p. 100.
Embryon	1.5	
Albumen.	75.0	

Nous avons établi la valeur nutritive de ces différentes parties du grain de blé, et nous avons dit que l'amande entière pouvait entrer dans le compost alimentaire.

Ce sont donc les produits de l'amande entière que nous proposons de faire entrer dans la composition des farines premières, et si nous tenons compte, comme

nous l'avons fait au commencement de ce chapitre, de 5 p. 100 de perte pour différence de rendement et déchets pendant la mouture, c'est au minimum à 80 p. 100 du poids total du grain de blé que l'on doit extraire la farine première.

En résumé, le grain de blé doit donner environ :

Son (péricarpe).....	..... ..	15 %
Recoupette (parcelles d'enveloppe) ..		5 %
Farine (amande entière).....	.....	80 %
		<hr/>
		100 %

lier les intérêts du meunier qui est obligé de produire une farine donnant du *pain blanc*, et ceux des médecins et des hygiénistes, qui demandent un pain plus *nutritif*, de chercher à empêcher ces 5 p. 100 de produits d'être nuisibles, que de rejeter 20 p. 100 de produits susceptibles de donner du pain blanc.

D'où notre procédé de *stérilisation* et de *désodorisation* des céréales et de leur farine, que nous examinerons dans un prochain chapitre.

Maintenant que nous entrevoyons la possibilité de ne fabriquer qu'une seule sorte de farine, nous allons examiner à quel taux d'extraction cette farine doit être obtenue.

Nous savons que le péricarpe en entier est formé de principes réfractaires aux actions digestives et qu'il doit être éliminé des produits destinés à l'alimentation humaine.

Il reste donc l'amande entière qui est susceptible de donner des produits farineux. Nous avons vu qu'on pouvait la décomposer ainsi :

Assise digestive	8.5	} 85 p. 100.
Embryon	.....	1.5
Albumen.	....	75.0

Nous avons établi la valeur nutritive de ces différentes parties du grain de blé, et nous avons dit que l'amande entière pouvait entrer dans le compost alimentaire.

Ce sont donc les produits de l'amande entière que nous proposons de faire entrer dans la composition des farines premières, et si nous tenons compte, comme

nous l'avons fait au commencement de ce chapitre, de 5 p. 100 de perte pour différence de rendement et déchets pendant la mouture, c'est au minimum à 80 p. 100 du poids total du grain de blé que l'on doit extraire la farine première.

En résumé, le grain de blé doit donner environ :

Son (péricarpe)..	.. ....	15 %
Recoupette (parcelles d'enveloppe).. ..		5 %
Farine (amande entière).		80 %
		<hr/>
		100 %

CHAPITRE XIII

VALEUR NUTRITIVE ET BOULANGÈRE DES FARINES.

Nous avons vu dans les chapitres précédents que le **grain de blé** pouvait donner 80 p. 100 de produits panifiables et d'une valeur nutritive réelle pour l'homme.

Nous allons examiner les différentes sortes de farine que la meunerie extrait actuellement du grain de blé et établir leur *valeur nutritive* et leur *valeur boulangère*.

Trois genres de mouture peuvent être considérés comme pratiqués en France :

1° La *mouture de la guerre*, pour la nourriture des soldats;

2° La *mouture à petits sacs*, pour la nourriture des ménages où l'on fait encore le pain chez soi;

3° La *mouture industrielle* à l'usage général du commerce et de la boulangerie de tout le pays.

Dans chacune de ces principales moutures, le travail diffère, ainsi que le classement de leurs produits; ceux-ci constituent des types particuliers qui sont imposés, tantôt par les exigences d'un grand rendement, tantôt par la demande d'une très grande beauté et propreté de leurs farines.

Dans la *mouture de la guerre*, on atteint, en mouture *basse*, et le plus possible, d'un premier passage avec les meules, le blé à moudre; la boulange est ainsi blutée dans des soies très ouvertes, qui ne laissent qu'un peu de grosses semoules à reprendre une ou deux fois à la meule, et à rebluter pour en extraire un peu de remoulages. L'ensemble est mélangé et ne forme qu'une seule farine réglementaire, qu'il est nécessaire et obligatoire, du reste, d'obtenir à 80 p. 100 de rendement, soit 20 p. 100 d'extraction.

Ces farines sont fortement piquées, parce que l'emploi des meules, principalement en mouture basse, a pour inconvénient de pulvériser une partie de l'enveloppe, surtout l'épicarpe qui est très friable et qui n'est généralement pas éliminé par le nettoyage des moulins militaires. Ces parcelles d'enveloppes se retrouvent dans la farine, et en quantité d'autant plus grande que le blutage est fait avec des soies très ouvertes de façon à n'avoir que peu ou pas de produits à reprendre.

Ce n'est pas cela que nous demandons en proposant une farine unique extraite à 80 p. 100. Nous voulons une farine obtenue par une mouture rationnelle comme cela se pratique dans les moulins à cylindres, et avec un outillage moderne et très perfectionné, de façon à avoir des farines aussi pures et aussi belles que les farines premières actuelles.

Les farines des manutentions militaires constituent donc un type grossier qu'il est nécessaire de modifier et de perfectionner dans l'intérêt de l'humanité et de la santé de nos jeunes troupiers. Ces farines, contenant

tous les produits de l'assise digestive et de l'embryon, sont naturellement d'une conservation difficile et donnent un pain terne, imparfaitement levé et à mie un peu grasse. Nous savons que ces inconvénients sont dus aux matières grasses et aux ferments situés dans l'assise digestive et l'embryon. Mais dans les moutures militaires on ne peut songer à éliminer ces deux parties du grain de blé.

« L'addition des remoutures de gruaux, a dit M. Balland, est une source d'altérations, mais on ne peut songer à les supprimer dans le service courant : il y aurait à la fois perte pour le trésor et perte pour le soldat, car ces farines sont extrêmement riches en principes nutritifs. Toutefois, on pourrait retarder ces altérations en ne mélangeant les remoutures à la farine fleur qu'au moment du besoin, au lieu de les mélanger, comme on le fait, à la sortie du moulin. Il y aurait même un intérêt réel à ne conserver que la farine de premier jet et à la mélanger au moment de la panification avec des gruaux récemment remoulus, car on sait, par les travaux de Parmentier sur le son, qu'une telle addition aurait pour effet de rajeunir la farine ancienne (1). »

C'est pour donner satisfaction aux justes observations de M. Balland, que l'administration de la guerre a d'abord adopté, pour la conservation des farines dans les places fortes, l'usage de caisses métalliques étanches. Puis, il y a quelques années, par une décision parue en septembre 1893, elle a prescrit la séparation des gruaux

(1) Balland, *Recherches sur les blés et les farines. Annales de chimie et de physique*, 1884.

bis de la farine proprement dite, tant pour la farine entretenue en sacs que pour celle logée en caisses étanches.

Mais cette séparation des farines de remouture n'empêche pas la présence de *matières grasses* ni de *ferments* dans la farine de premier jet; elle retarde simplement l'altération de cette farine par suite d'une moins grande quantité de substances nuisibles à sa conservation. Notre *procédé* de stérilisation et de désodorisation des farines permettra une bonne conservation des farines militaires. Il aura en outre l'avantage de supprimer cette division des produits, qui peut être ensuite une cause d'ennuis ou d'erreurs.

Souvent aussi, pour mieux conserver les farines, on les passe à l'étuve pour enlever l'eau qu'elles contiennent. Dans ce cas, l'action du ferment est ralentie par suite du manque d'eau, mais il n'est pas détruit; il reprend son rôle dès que l'eau et la chaleur reparaissent.

La *mouture à façon*, dite à petits sacs, qui se pratique encore dans quelques départements, mais qui tend à disparaître complètement devant les avantages obtenus avec les farines provenant des grandes minoteries, et l'habitude de faire soi-même son pain se perdant de plus en plus, consiste à moudre séparément le sac ou les sacs de grains appartenant à chaque particulier, et cela moyennant un paiement en nature ou en argent.

Comme dans la mouture militaire, le blutage y est fait avec des soies très ouvertes, laissant peu de gruaux à reprendre; ces gruaux sont remoulus une ou deux fois et donnent une farine aussi ronde que celle de la mouture

du blé avec laquelle on la mélange pour ne faire qu'un seul type comme dans les moutures militaires.

Aussi ces farines offrent-elles les mêmes inconvénients que les farines de la guerre; nous ne nous en occuperons pas spécialement. De plus, les produits de cette mouture sont forcément très variables; cette grande variation résulte surtout de l'importance plus ou moins forte de la mise en mouture, de la condition de qualité et de propreté du grain et du besoin des issues exprimé par le client: d'après ces raisons, le rendement est, en moyenne, de 70 à 80 p. 100, soit 30 à 20 p. 100 d'extraction.

Enfin, dans la *mouture industrielle*, c'est-à-dire de commerce et de boulangerie, les combinaisons sont maintenant fort diverses, suivant qu'elles appartiennent à la mouture basse ou à la mouture haute, et qu'elle est exécutée par des meules ou par tous autres appareils de broyage. Les meules, de même que la mouture basse, tendant à disparaître de plus en plus, pour être remplacées par les *cylindres* et la *mouture haute*, nous ne nous occuperons que des produits obtenus par ces derniers.

Dans la mouture *haute*, la granulation du blé est obtenue par des *cylindres* cannelés ou divers autres broyeurs. La *farine de broyage* c'est-à-dire de premier jet, n'est que de 15 à 20 p. 100 suivant la nature des blés, avec des appareils à cylindres correctement conduits. On met ordinairement à part la farine du *premier* et du *dernier* passage. Celle du premier passage est appelée *farine noire* à cause de la grande quantité de poussières qu'elle contient, poussières provenant de la fente du grain de

blé. La farine du dernier passage est appelée *farine de sons*; elle provient en grande partie de l'assise digestive.

On conserve le nom de *farine de broyage* à la farine fournie par les passages intermédiaires. Cette farine est généralement ternie par des poussières contenues dans la fente du grain et qui n'ont pas été totalement éliminées par le premier passage, et par des parcelles de l'épicarpe qui est pulvérisé par les cylindres pendant l'opération de la granulation (1). Elle provient surtout des derniers passages de broyage; elle est fournie, par conséquent, par les couches périphériques de l'albumen, ce qui la rend très riche en substances azotées. Par contre, elle contient, comme nous l'avons déjà dit, des parcelles de l'assise digestive qui se détachent de l'enveloppe dès le deuxième ou le troisième passage, et la rendent impropre à une longue conservation et à une bonne panification.

C'est pourquoi la meunerie l'a en partie rejetée de la composition de ses farines premières. On la mélange en totalité ou en partie, comme nous le verrons tout à l'heure, avec les farines de gruau pour obtenir les différents types de farine qu'on livre au commerce ou à la boulangerie.

On obtient environ 1 p. 100 de farine de premier passage, 10 à 15 p. 100 de farine de broyage et 4 à 5 p. 100 de farine de dernier passage ou de sons.

La *farine de gruau* qui, dans la mouture haute, est la

(1) Nous ferons connaître dans notre brochure sur la mouture les améliorations à apporter en meunerie pour nettoyer le grain de blé dans la fente et obtenir une farine de broyage très blanche et exempte de produits de l'épicarpe.

production la plus considérable, s'obtient par le convertissage des semoules et gruaux en un grand nombre de passages, dix à douze environ, entre des cylindres en fonte lisse. Si l'opération du convertissage est bien conduite, la farine du gruau est blanche et propre jusqu'à la fin. On en obtient généralement 45 à 50 p. 100.

Cette farine, provenant des produits du centre de l'albumen, est par conséquent la moins riche en substances azotées; c'est, par contre, la plus blanche.

C'est cette farine de gruau, additionnée d'environ 5 p. 100 de farine de broyage provenant des troisième et quatrième passages de broyage, de ceux qui ont le plus de chance de donner moins de produits de l'assise digestive, qui donne les *farines de choix*.

Mélangée de la totalité de la farine dite farine de broyage (environ 10 p. 100), elle constitue les « *Premières marques* » au taux d'extraction d'environ 60 p. 100.

Si à ce dernier mélange on ajoute environ 10 p. 100 de farine fournie par la reprise des gruaux provenant du dernier passage de broyage et du refus de la mouture des blancs, on arrive au taux d'extraction de 70 p. 100 qui forme les « *marques ordinaires* ».

Enfin, en y mélangeant les farines du dernier passage de broyage, ou farines de sons, on obtient la *farine entière* extraite à 71 ou 75 p. 100 (1).

Le tableau suivant fera mieux comprendre la diversité des qualités que peut obtenir la meunerie.

(1) Les farines restant dans les sons et les remoulages, et dans le germe, qui est éliminé de la mouture, compléteraient les 80 p. 100 de farine que peut donner l'amande du grain de blé.

Farine de gruau.....	50 %	
Farine de broyage {	3 ^e et 4 ^e pas....	5 % } 55 %
	2 ^e et 5 ^e pas... 5 %.....	} 60 %
Farine de reprises {	refus mout. bl. 5 %	} Petites 1 ^{res} } 65 %
	gruaux 6 ^e pas. 5 %	} } 70 %
Farine de 6 ^e passage de broyage ...	5 %	} Farines bises..... } 75 %
Farine de 1 ^{er} passage de broyage ..	1 %	Farine noire..... 1 %
	76 %	76 %

Ces différentes qualités varient, bien entendu, suivant la provenance et la nature des blés, l'outillage du fabricant et les soins apportés à la mouture.

Il existe aussi des farines petites premières, deuxièmes, troisièmes et quatrièmes, mais ces types sont absolument de convention et varient chez chaque fabricant suivant le type de farine première qu'il fabrique et suivant les besoins de sa clientèle.

Valeur nutritive des farines. — La valeur nutritive des farines dépend naturellement des quantités de substances azotées, phosphatées et minérales qu'elles contiennent. Les matières grasses qu'elles renferment ont aussi une valeur nutritive réelle, puisqu'elles sont nécessaires dans notre alimentation; elles ont en outre l'avantage de donner de la souplesse au pain et de le conserver frais plus longtemps.

Pour simplifier nos études, nous ne nous occuperons que des quatre qualités de farine suivantes :

- 1^o Marque de choix blutée à 50 %,
- 2^o Première marque — 60 %,
- 3^o Marque ordinaire — 70 %,
- 4^o Farine entière — 80 %,

et nous prendrons comme base les analyses obtenues par M. Balland dans une mouture faite en 1884 avec des blés mélangés ($\frac{1}{3}$ blé de Californie, $\frac{1}{3}$ blé des Indes, $\frac{1}{3}$ blé du nord de la France) (1).

Cette mouture a donné les résultats suivants :

	Rendement pour 100 part. de blé nettoyé	Pour 100 gr. de farine		
		Gluten	Cendres	Mat. gr.
Farine de 1 ^{er} broyage.....	1	26.5	0.97	0.80
Farine des 2 ^e , 3 ^e et 4 ^e broyages.	15	32.5	0.55	0.80
Farine du 5 ^e broyage.....	5	45.0	0.90	1.05
Farine des 1 ^{er} , 2 ^e , 3 ^e et 4 ^e passages de gruaux.....	50	28.5	0.50	0.55
Farine du 5 ^e passage de gruaux.	5	31.5	0.75	1.60
Farine comprenant les 2 ^e , 3 ^e et 4 ^e passages de broyage et les 1 ^{er} , 2 ^e , 3 ^e , 4 ^e et 5 ^e passages de gruaux.....	70	29.5	0.62	0.71

Farines à 50 p. 100. — Nous venons de voir que les farines blutées à 50 p. 100 proviennent des semoules et gruaux extraits du centre du grain de blé; ces farines sont donc fabriquées avec les parties les plus tendres et les plus blanches de l'albumen, mais aussi les moins riches en substances azotées.

Les matières grasses et minérales qu'elles renferment, proviennent des substances albuminoïdes de l'albumen. Nous avons vu, en effet, que les substances albuminoïdes étaient généralement unies à des matières minérales. D'autre part, M. Balland nous a appris que le gluten renfermait toujours une petite quantité de ma-

(1) Balland. *Recherches sur les blés et les farines*, 2^e mémoire sur les farines. publié par le *Journal de pharmacie et de chimie* en 1884-1885.

tières grasses et de sels, environ 3 p. 100 des premières et 1 p. 100 des secondes (1). Cela ne doit pas nous surprendre, du reste, si nous nous rappelons que les matières grasses et minérales s'accumulent dans le protoplasme pour concourir à la formation des substances albuminoïdes et au développement des ferments.

Néanmoins, ces substances grasses et minérales n'existent qu'en faible proportion dans l'albumen et on les retrouve dans les farines premières en quantité d'autant plus petite qu'elles renferment moins de substances azotées.

D'après le tableau ci-dessus, les proportions de matières azotées, grasses et minérales contenues dans une farine de choix sont les suivantes :

4 premiers passages	} <i>Gluten</i>	28.50	
des gruaux		<i>Matières grasses</i>	0.55
(Extraction 50 p. 100).		<i>Matières minérales</i>	0.50

Farines à 60 p. 100. — Les farines blutées à 60 p. 100 renferment, en plus des farines tirées à 50 p. 100, une assez forte proportion de farine provenant des couches périphériques de l'albumen et donnée par la farine de broyage. Elles doivent donc contenir plus de gluten et plus de matières grasses et minérales que les précédentes.

C'est ce que nous montre le petit calcul suivant :

	Gluten.	Cendres.	Mat. gr.
$\frac{5}{6}$ farine de gruau.	28.50	0.50	0.50
$\frac{1}{6}$ farine de broyage	31.50	0.55	0.80
Farine blutée à 60 %	29.17	0.51	0.60

(1) Balland, *Recherches sur les blés et les farines*, 1884.

Farines à 70 p. 100. — Dans le cas qui nous occupe, ces farines seront obtenues en ajoutant aux farines de gruau les farines provenant du dernier passage des gruaux et la totalité des farines de broyage. Ces farines sont nécessairement plus riches encore que les précédentes en éléments azotés, phosphatés et minéraux.

Voici les résultats obtenus par M. Balland.

	Gluten.	Cendres.	Mat. grasses.
Farine blutée à 70 %.	29.50	0.62	0.74

On voit cette fois que la différence est plus sensible; c'est qu'on arrive à faire entrer dans ces farines une petite partie des produits de l'assise digestive, ce qui augmente tout de suite leur teneur en substances nutritives.

Farines à 80 p. 100. — Avec les farines blutées à 80 p. 100 l'augmentation en substances nutritives sera encore plus grande; c'est que dans ces farines on fait entrer la totalité des produits de l'assise digestive et de l'embryon, c'est-à-dire l'amande entière.

Notre tableau ne nous permet pas d'aller plus loin que 75 p. 100 d'extraction, mais si nous admettons que les 5 p. 100 de farine manquant pour obtenir 80 p. 100 sont restés après les enveloppes et les germes, et que cette farine manquant doit avoir à peu près la composition des farines du cinquième passage de broyage, nous obtenons les chiffres suivants, pour une farine blutée à 80 p. 100 :

	Gluten.	Cendres.	Mat. grasses.
$\frac{7}{8}$ farine à 70 %	29.50	0.62	0.74
$\frac{1}{8}$ farine 5 ^e pas. de broyage..	45.»	0.90	1.05
Farines extraites à 80 %.	31.20	0.66	0.78

Toutefois, nous ferons remarquer que ces chiffres sont certainement au-dessous de la vérité pour les blés que nous avons pris comme exemple, parce que nous n'avons pas fait entrer dans nos calculs les produits du germe qui, comme nous le savons, sont très riches en substances azotées et en matières grasses, phosphatées et minérales.

Voici, du reste, la composition que doivent avoir les farines livrées par les entrepreneurs pour la fabrication du pain de troupe (1) :

Matières minérales.	{ Farines tendres.. ..	0.60 à 0.90
	{ Farines dures	1.10 à 1.30
Amidon et sucre .....	..... ..	66 à 72
Gluten humide.	{ Farines tendres.. ..	26
	{ Farines mitadines.. ..	29
	{ Farines dures.... ..	35
Matières grasses. ....	..... ..	1 à 1.40

Nous constatons de suite que les quantités de matières grasses et minérales que contient une farine tirée à 80 p. 100 sont supérieures à celles que nous avons indiquées.

En somme, nous pouvons admettre qu'une farine extraite à 80 p. 100 renferme environ 1 p. 100 de matières grasses et 1 p. 100 de matières minérales, soit le double des farines de choix.

Au sujet de la *valeur nutritive* de ces différents types

(1) Balland, *Recherches sur les blés et farines*, 1884. Les farines de blé tendre doivent être blutées à 80 p. 100 de rendement et les farines de blé dur à 88 p. 100.

de farine, nous ferons remarquer aussi que les écarts en matières azotées sont en réalité plus grands que ceux que nous avons indiqués, car M. Balland n'a tenu compte dans ces analyses que du gluten; or, comme nous l'avons vu en parlant de celui-ci, le *gluten*, dans une farine, ne constitue pas à lui seul la totalité des substances azotées; à côté de lui, il y a des matières azotées solubles, et en quantité d'autant plus forte qu'il y entre plus de produits de l'assise digestive et de l'embryon, ces deux parties du grain de blé étant très riches en substances azotées solubles.

Nous verrons aussi plus loin que le gluten des farines secondaires est plus difficilement extractible que celui des farines premières.

Donc, en réalité, les farines extraites de 70 à 80 p. 100 ont une *valeur nutritive* plus grande que celle que nous leur avons donnée.

Nous pouvons donc en conclure que les farines les mieux blutées sont les plus pauvres en substances azotées, en matières grasses et en matières minérales (phosphates).

Elles sont, par conséquent, les moins *nutritives*.

Il résulte aussi de ces recherches que les farines en cours de mouture présentent, suivant les passages, une composition chimique différente, et que c'est surtout dans les produits de l'*assise digestive* et de l'*embryon* que l'on doit aller chercher les plus fortes proportions de substances azotées, phosphatées et minérales.

C'est donc que les farines rejetées de l'alimentation humaine et vendues comme farines *bises*, ont une grande valeur nutritive. Les tableaux suivants, bien qu'au-dessous de la vérité, nous donnent leur composition :

	Gluten.	Cendres.	Mat. gr.	
Farine extraite à 50 %.....	28.50	0.50	0.55	
Farine bise. {	15 % farine de broyage....	32.50	0.55	0.80
	5 % farine 5 ^e pas. de broy.	15.„	0.90	1.05
	5 % farine 5 ^e pas. de gr...	31.50	0.75	1.60
Composition de la farine bise.....	34.80	0.66	0.92	
	Gluten.	Cendres.	Mat. gr.	
Farine extraite à 60 %.....	29.17	0.51	0.60	
Farine bise. {	5 % farine de broyage....	32.50	0.55	0.80
	5 % farine 5 ^e pas. de broy	45.„	0.90	1.05
	5 % farine 5 ^e pas. de gr ...	31.50	0.75	1.60
Composition de la farine bise.....	36.35	0.75	1.15	

Malheureusement, la valeur nutritive de ces farines secondaires n'est pas utilisée. Les ferments et les diastases qu'elles renferment fluidifient les substances azotées et leur enlèvent leur valeur nutritive. De plus, ces farines donnant un pain bis sont peu employées dans les boulangeries civiles; elles sont, pour la plupart, utilisées dans les prisons ou dans les boulangeries militaires, pour le pain de troupe.

Il y aurait donc un réel avantage à détruire les ferments de ces farines, et notre procédé de stérilisation et de désodorisation leur donnera une *plus value* incontestable, en même temps qu'il leur redonnera leur *véritable valeur nutritive*.

Blancheur des farines. — Que doit-on entendre par *blancheur* des farines?

Si l'on s'attache seulement à la teinte, une farine paraîtra d'autant plus blanche qu'elle contiendra plus d'amidon, le gluten donnant à la farine une teinte grisâtre. De sorte que les farines les plus blanches seront les moins nutritives, et celles provenant des *blés durs* ou

demi-durs seront nécessairement moins blanches que les farines extraites des *blés tendres*.

L'*extraction* de la farine influe aussi sur sa teinte, car nous savons que le grain de blé contient plus de gluten à la périphérie qu'au centre, de sorte que plus on augmente l'extraction en farine, plus on fait entrer dans sa composition de produits de la partie périphérique de l'albumen. Ainsi une farine extraite à 50 p. 100 sera plus blanche qu'une autre extraite à 60 p. 100 et celle-ci plus blanche également qu'une farine tirée à 70 p. 100.

Les farines secondaires paraîtront à plus forte raison moins blanches que les farines premières.

Il faut aussi tenir compte du perfectionnement de l'outillage et des soins apportés à la mouture. Une farine ronde ou qui contiendra des parcelles d'enveloppes, paraîtra forcément moins blanche qu'une farine plus pure ou plus finement blutée.

Pour déterminer la qualité d'une farine, il ne faut donc pas seulement s'en tenir à sa *blancheur*, mais tenir compte également de son taux d'extraction, de sa provenance, et de sa teneur en principes nutritifs. Nous verrons tout à l'heure qu'il y a lieu aussi de se rendre compte de la *qualité* de son gluten.

Du gluten dans les farines. — Nous avons fait remarquer que malgré la grande richesse en substances azotées des couches périphériques de l'albumen et principalement de l'assise digestive et de l'embryon, que leur apport dans une farine n'augmentait que d'une faible quantité la teneur en gluten de cette farine.

Cela provient, d'une part, et comme nous l'avons dit, de ce que l'assise digestive et l'embryon renferment une grande proportion de substances azotées solubles, lesquelles ne donnent pas de gluten. D'autre part, les expériences de M. Fleurent, dont nous parlerons tout à l'heure, nous montrent que le gluten est d'autant plus élastique et partant plus facile à extraire, qu'il se rapproche le plus de sa composition normale en gluténine et gliadine et nous font voir que la proportion de gluténine augmente à mesure que l'on s'écarte du centre du grain de blé. « C'est pourquoi, dit M. Fleurent, dans les farines inférieures, farines bises et hautes, extraites des parties voisines du son, on est obligé, pour séparer le gluten, d'employer une eau portée à une température de 40 à 45°. C'est qu'en effet, ces farines contiennent un excès de *gluténine* et qu'il est nécessaire de fluidifier la *gliadine* pour en augmenter les propriétés agglutinatives; l'eau tiède, ainsi qu'on le voit, est tout indiquée dans ce cas (1). »

M. Balland ayant été chargé de l'analyse des produits fournis par divers systèmes de mouture mis en essai par l'administration de la guerre en 1894 et 1895, a constaté également que le poids du gluten, dans les farines de divers passages, n'était pas en rapport constant avec leur teneur en azote totale.

« Ce fait, qui est général, dit-il, ressort bien en particulier, de l'examen des produits énumérés plus loin. Il s'agit de farines obtenues, d'une part à l'aide de meules

(1) E. Fleurent, *Étude sur le gluten*. Mémoire présenté à l'Académie des sciences en 1898.

métalliques horizontales (*système Arveng-Dausset*), et d'autre part avec les meules ordinaires (*mouture militaire réglementaire*). Le même blé employé dans les deux cas, renfermait 11.76 p. 100 de matières azotées. Le gluten a été retiré par le même opérateur, suivant le procédé habituel, en se plaçant aussi exactement que possible dans les mêmes conditions d'expérience.

1° Mouture sur blé tendre avec un seul broyeur de 0^m 65 de diamètre.

	Rendement p. 100 de blé nettoyé	Mat. azotées totales p.100 de farine	Gluten humide			
			p. 100 de farine.	calculé p. 10 de mat. azot.		
1 ^{er} passage.	{	Farine fleur 1 ^{er} ..	19.5	11.07	32.00	28.00
		Farine fleur 2 ^e ..	17.3	11.87	33.70	28.38
Remoutures.	{	Farine des 1 ^{er} et 2 ^e gruaux.....	27.0	11.87	33.70	28.38
		Farine des 3 ^e et 4 ^e gruaux.....	11.2	11.96	15.40	12.87
			75.0			

2° Mouture militaire réglementaire sur le même blé.

	Rendement p. 100 de blé nettoyé	Mat. azotées totales p.100 de farine	Gluten humide			
			p. 100 de farine	calculé p. 10 de mat. azot.		
1 ^{er} passage.		Farine fleur...	70.0	11.80	30.00	27.34
Remoutures.	{	Farine de 1 ^{er} gr.	6.0	11.96	22.50	18.81
		Farine de 2 ^e gr.	4.0	13.43	non ex- tractible	
			80.0			

« Au cours d'une mouture, à mesure qu'on s'éloigne de la farine fleur, on voit les matières azotées totales aller en augmentant, tandis que la proportion du gluten va en

diminuant par rapport au poids de ces matières. Les particules de son retenues dans les basses farines provoquent la fuite du gluten pendant le lavage. Elles entravent même absolument son extraction dans les derniers produits panifiables qui en renferment beaucoup, comme on peut le constater en traitant ces produits par l'acide acétique dilué, en décantant le liquide et en saturant l'acide par le bicarbonate de soude de façon à mettre en liberté le gluten en solution.

Des farines ayant la même teneur en azote donnent donc, par les procédés ordinaires, des quantités de gluten différentes suivant leur taux de blutage et leur mode de mouture, c'est-à-dire suivant les débris de son qu'elles renferment (1). Le dosage du *gluten*, qui fournit de précieuses indications sur la qualité des farines, est dès lors insuffisant pour permettre d'apprécier comparativement les matières azotées contenues dans les farines et, par suite, *leur valeur nutritive* » (2).

Cette expérience nous montre que les farines blutées à 70 et 80 p. 100 que nous avons étudiées précédemment ont bien une valeur nutritive plus grande que celle que nous leur avons donnée.

Elle prouve aussi que pour déterminer exactement la valeur nutritive d'une farine, il est nécessaire d'exprimer, à côté de sa teneur en gluten, la quantité totale des substances azotées qu'elle contient.

Valeur boulangère des farines. — Si pour le

(1) Le son agit à la fois mécaniquement et physiologiquement par les ferments qu'il renferme.

(2) Balland, *Revue de l'Intendance*, 1895.

consommateur la qualité d'une farine dépend de sa **valeur nutritive**, pour le fabricant de pain elle dépend de sa **valeur boulangère**.

On entend par *valeur boulangère* d'une farine, son rendement à la panification. Autrefois, on s'en rapportait à sa teneur en gluten, et on en déduisait que plus une farine était riche en gluten, plus elle devait rendre de pain.

Mais on s'aperçut bien vite que des farines de composition identique ne donnaient pas les mêmes résultats à la panification et que des farines annonçant une grande teneur en gluten, donnaient moins de pain que d'autres farines moins riches en gluten.

M. Fleurent nous a récemment appris que le gluten peut, sans changer de composition chimique, n'avoir pas toujours les mêmes propriétés physiques. Sa plasticité peut diminuer, il peut devenir friable et ne pas donner de pâtes liées au pétrissage (1).

C'est qu'à la constitution du gluten, interviennent plusieurs produits dont les deux principaux possèdent des propriétés physiques opposées : la *gliadine*, visqueuse et fluente, la *gluténine*, pulvérulente et sèche. Mélangés dans la proportion de 25 parties de gluténine pour 75 parties de gliadine, ces deux produits constituent un gluten plastique qui communique aux farines la propriété de donner des pains de levée régulière et de bonne tenue.

Mais dès que le rapport $\frac{25}{75}$ se modifie, les propriétés

(1) E. Fleurent, *Études sur le gluten*. Communication faite à l'Académie des sciences en 1898.

du gluten se trouvent elles-mêmes modifiées, et la farine ne fournit plus que des pains mal levés et plats.

Le pain fait avec une farine dans laquelle la quantité de gluténine n'est que de 20 p. 100 tandis que la quantité de gliadine atteint 80 p. 100 du gluten total, se développe bien à la fermentation, mais s'aplatit et redevient compact pendant la cuisson, la gliadine se fluidifiant par l'action de la chaleur avant la *coagulation* (1).

La quantité d'eau qu'on emploie normalement pour le travail des farines est trop élevée pour cette farine et doit être diminuée si on ne veut pas avoir une pâte trop fluide, collant aux doigts et se travaillant avec difficulté.

Lorsque, au contraire, le gluten d'une farine atteint la composition centésimale : gluténine 34, gliadine 66, la farine s'hydrate plus facilement, la pâte obtenue est sèche, peu liée et ne se développe ni à la fermentation, ni à la cuisson, le pain reste compact et indigeste. Pour cette farine, la quantité d'eau qu'on emploie normalement doit être augmentée ou alors le travail de la pâte est très difficile.

Les travaux de M. Fleurent nous prouvent donc que pour déterminer la valeur boulangère d'une farine, il ne faut pas seulement se contenter de sa teneur en gluten, mais qu'il y a aussi intérêt pour le boulanger à connaître la composition de ce gluten en *gluténine* et *gliadine*,

(1) L'action de la diastase coagulante du grain de blé ne serait-elle pas pour quelque chose dans la qualité du gluten? Plus il y a de fibrine et plus la coagulation est facile. Il faudrait donc rechercher les quantités de fibrine existant dans les différentes qualités de gluten.

composition d'où dépendra le rendement de la farine et la qualité du pain.

Ces expériences nous montrent également que le travail que l'on donne aux farines et la quantité d'eau qu'on leur fait absorber, doivent nécessairement varier suivant la composition de leur gluten en gluténine et gliadine.

Ceci nous explique pourquoi l'examen des farines au marché de Paris donne souvent des résultats si différents. Là aussi, il y aurait lieu, pour déterminer la valeur boulangère réelle des farines examinées, de rechercher la composition de leur gluten et d'appliquer à chacune d'elles le travail et la quantité d'eau qui lui conviennent. Il serait bon aussi d'établir la valeur nutritive de ces farines.

Au point de vue pratique, et en particulier en ce qui concerne leur application au travail de la mouture, les analyses de M. Fleurent nous montrent que la quantité de gluten va bien en augmentant du centre à la périphérie du grain, et que la quantité de gluténine va également en augmentant dans le même sens, ce qui entraîne une diminution proportionnelle de la gliadine.

Voici les résultats obtenus par M. Fleurent sur un blé gris de St-Laud provenant de la maison Vilmorin-Andrieux (1) :

(1) E. Fleurent, *Études sur le gluten*, 1898.

	Rendement à la mouture.	Gluten p. 0/0 de farine.	COMPOSITION DU GLUTEN.	
			Gluténine.	Gliadine.
Farine de 2 ^e et 3 ^e broyages. .	19.90	7.37	22.94	77.06
Far. de 4 ^e broyage.	27.07	7.71	29.80	70.20
— 5 ^e broyage.	24.51	9.51	31.55	68.45

Cette augmentation de la gluténine dans les couches périphériques de l'amande influe, comme nous l'avons dit, sur l'extraction du gluten dans les farines inférieures ou blutées à un taux élevé. Elle est cause aussi qu'on ne trouve pas, entre deux farines blutées à un taux différent, 60 et 70 p. 100, 70 et 80 p. 100 par exemple, la différence qui existe réellement entre leur teneur en gluten.

Les analyses de M. Fleurent nous montrent également qu'il y a avantage, au point de vue de la qualité du gluten et, partant, de la valeur boulangère des farines, à ne fabriquer qu'une seule qualité de farine. Ainsi, les trois sortes de farine ci-dessus, prises séparément, ont, au moins pour les deux dernières, un gluten dont la composition s'éloigne assez de la composition normale, tandis que mélangées ensemble, la composition du gluten devient $\frac{27}{73}$ c'est-à-dire se rapproche de la composition normale.

Pour le meunier, le travail de M. Fleurent n'est pas moins intéressant. Il lui montre que tous les blés ne fournissent pas des farines de même qualité boulangère, mais qu'il lui est possible, néanmoins, de corriger ses produits par des mélanges de blé, afin d'offrir à la boulangerie les farines qui lui conviennent.

Voici quelques analyses de gluten obtenues par M. Fleurent :

	Pour 100 du poids du blé.		Rapport.
	Gluténine.	Gliadine.	
Blé goldendrop	1.37	4.80	22 78
Blé de Bordeaux	2.27	5.59	28 72
Blé Dattel.	2.17	5.36	28 72
Blé gris de Saint-Laud.	2.08	5.00	29 71
Blé choice White Bombay.	2.44	5.13	32 68
Blé Oulka de Bessarabie.	3.17	6.96	31 69

Enfin, les recherches de M. Fleurent montrent aussi que plus le grain de blé renferme de gluten, plus ce gluten est riche en azote. *L'agriculture* doit donc surtout s'attacher à cultiver des blés riches en *gluten*.

Malheureusement, comme nous l'avons déjà signalé, depuis une quinzaine d'années, la *culture intensive* a pris en France un grand développement, et aux blés fins, de grains moyens, demi-durs, et très riches en gluten, on a substitué des blés tendres à *grand rendement*, mais gros de grains, contenant peu de gluten et partant renfermant beaucoup d'amidon et de cellulose.

La meunerie doit donc réagir contre cette tendance et donner une plus-value sensible aux blés qui lui donneront non seulement la plus grande quantité de farine, mais aussi la plus forte somme de gluten et un gluten de bonne qualité.

Farines de meules et farines de cylindres.

— On dit souvent que le pain obtenu avec des *farines*

de cylindres sèche plus vite que le pain fabriqué avec des *farines de meules*, et l'on attribue généralement cet inconvénient à la substitution des *cylindres* aux *meules*.

Cette appréciation est inexacte et la cause de la sécheresse du pain ne provient pas du remplacement des meules par les cylindres, mais des changements apportés dans les opérations de la mouture en même temps que l'introduction en France des appareils à cylindres en fonte.

Lorsqu'on employait les meules, on ne fabriquait généralement qu'une seule qualité de farine, dans laquelle on faisait entrer la majeure partie des produits de l'assise digestive et de l'embryon.

Ces produits apportaient à la farine la matière grasse qu'ils contiennent et qui donne au pain sa souplesse et son arôme et le conserve frais plus longtemps.

Dans la mouture par cylindres, comme nous l'avons dit, et afin d'obtenir un pain plus blanc et mieux levé, on élimine des farines premières les produits de l'assise digestive et de l'embryon. Il en résulte que ces farines contiennent moins de substances grasses et minérales que les farines de meules blutées à un taux plus élevé.

Riche en amidon et pauvre en matières grasses, le pain obtenu avec les farines premières de cylindres sèche forcément plus vite que le pain provenant des farines de meules.

Il ne possède pas cette odeur agréable, ce bon goût de noisette, qu'apportent seules les substances aromatiques de l'assise digestive et de l'embryon.

Son goût fade et peu sapide provient de la faible quantité d'éléments minéraux qu'il contient. Ce sont

les matières minérales, et principalement les phosphates, qui donnent au pain sa saveur agréable.

Il est donc incontestable que les farines de meules contenaient des qualités nutritives que n'ont pas les farines de cylindres.

C'est pour remédier au manque de matières grasses dans les farines de cylindres que M. Charles Lucas, directeur du marché de Paris, a proposé, il y a quelques années, d'ajouter aux farines de cylindres, au moment du pétrissage, une petite quantité d'*huile d'amandes douces*, « afin de rendre leur panification plus facile et la consommation du pain plus agréable » (1). Bientôt sans doute, a dit M. Balland, on proposera d'y ajouter des *phosphates* (2). C'est ce qui est arrivé. M. Wedeli a inventé en 1896 un moyen de rendre la farine plus nourrissante. Cette invention a pour but de redonner à la farine blanche les matières nutritives contenues dans le germe, dans le son et les autres parties externes du grain de blé qui en sont éliminées dans le travail de la mouture, de telle sorte qu'on obtienne un pain d'une valeur nutritive égale à celle du pain fait avec tout le grain de blé. A cet effet, il prend 100 parties de phosphate de chaux, 34 parties de phosphate de magnésie, 20 parties de phosphate de soude, 10 parties de phosphate de potasse et 5 parties de fluorure de calcium; tous ces éléments étant préalablement réduits en poudre fine sont mélangés dans un mortier et fournissent une

(1) Ch. Lucas, *Des effets utiles et nuisibles de la matière grasse dans la farine* (*Journal de la meunerie*, 15 mai 1885).

(2) Balland, *Recherches sur les blés et les farines*, 1891.

composition homogène que l'on combine avec la farine dans la proportion de 2 pour 100 ou plus ou moins suivant la nature des farines.

Et tout cela pour avoir des farines plus blanches. La blancheur en meunerie semble être aujourd'hui le dernier mot du progrès : tout le monde la favorise. Si l'on prend, par exemple, les analyses publiées par la commission du marché de Paris, on voit que la blancheur fait souvent classer au premier rang des farines qui ne devraient point s'y trouver par leur teneur en eau et en gluten.

Sans doute les farines de cylindres sont plus pures et plus blanches que les farines de meules ; mais cela tient plutôt aux appareils perfectionnés de nettoyage et de blutage que l'on a introduits dans les moulins en même temps que les appareils à cylindres, et aux perfectionnements apportés dans les opérations de la mouture, qu'à la substitution des cylindres en fonte aux meules de pierre.

Nous savons que ce sont les ferments et les diastases situés dans l'assise digestive et l'embryon qui empêchent la meunerie d'introduire dans la composition de ses farines premières les produits de la membrane embryonnaire et du germe.

Donc, si nous parvenons à détruire ces ferments et ces diastases, elle pourra réintégrer dans ses farines premières les éléments qui leur manquent pour donner un pain plus nutritif, d'une saveur plus agréable et se conservant frais plus longtemps, tout en maintenant les perfectionnements apportés dans son outillage et dans sa fabrication.

CHAPITRE XIV

NUTRITION ET HYGIÈNE.

Nous avons vu que la composition du *grain de blé* se rapprochait beaucoup et même s'identifiait quelquefois avec celle de l'*aliment idéal* qui pourrait nourrir et entretenir seul notre organisme.

Le *pain*, constituant la base essentielle et le fond de la nourriture de la majorité des Français, devrait, par conséquent, contenir toutes les parties vraiment alimentaires du grain de blé.

Malheureusement, comme nous l'avons dit à plusieurs reprises dans le cours de ce volume, pour satisfaire la mode qui est au *pain blanc*, on a sacrifié à la blancheur les parties les plus nutritives du grain de blé.

Nous savons que cette élimination est due aussi à la présence de *ferments* et de *diastases* dans l'assise digestive et l'embryon.

La farine blanche avec laquelle on fait le pain de première qualité est blutée à 55 ou 60 p. 100; elle ne contient point ou presque pas, il est vrai, de diastases qui nuisent à la blancheur du pain, ni de ferments

qui empêchent la fermentation alcoolique, indispensable au lever de la pâte, de se développer. Mais par contre, elle ne contient qu'une partie des substances azotées, phosphatées et minérales que renferme le grain de blé.

Assurément, le pain fabriqué avec les farines premières de cylindres est très blanc et d'un aspect agréable et flatteur, d'un goût fin et délicat; c'est un régal quand il est fabriqué avec la perfection qu'y apportent les boulangers de Paris et de Vienne.

A vrai dire, c'est un pain de luxe, une friandise, surtout quand on y ajoute du lait, comme dans les pains dits : « *pains viennois* ».

Quand le pain blanc complète un régime où se succèdent les viandes, les œufs, le poisson, les champignons, les légumes frais, les primeurs et les fruits, il est assez indifférent que la fleur de farine contienne en moins quelques grammes de gluten ou de phosphates.

Il n'en est plus de même, quand il s'agit du régime du paysan, de l'ouvrier, du soldat, dont le pain constitue la partie essentielle; la question d'hygiène et d'économie reprend ici toute sa valeur et il importe beaucoup que le pain qu'ils consomment soit nourrissant et puisse réparer les pertes de l'organisme.

M. A. Girard a démontré en 1896 que le pain blanc avait une valeur nutritive réelle (1). Nous n'avons pas la prétention de faire croire que le pain blanc n'est pas

(1) A. GIRARD, *Communication faite à l'Académie des sciences en 1896.*

nutritif, comme on l'a dit quelquefois; nous avons vu, au contraire, que les farines premières qui servent à le fabriquer contiennent une certaine proportion de substances azotées et minérales. Mais ce que nous prétendons, c'est que, comme nous l'avons démontré, plus on fait entrer dans une farine de produits des couches périphériques de l'albumen, de l'assise digestive et de l'embryon, plus on augmente la valeur alimentaire de cette farine. Il est prouvé aujourd'hui que les substances contenues dans l'assise digestive et l'embryon sont assimilables par l'homme; et étant donnée leur grande richesse en principes azotés, phosphatés et minéraux, leur apport dans la farine augmente incontestablement sa valeur nutritive.

Si le pain blanc est *nutritif*, ce que nous ne contestons pas, un pain fabriqué avec une farine contenant tous les éléments assimilables du grain de blé, et à condition qu'il ne soit pas bis, lourd et indigeste, sera plus *nutritif* encore. Il constituera forcément un aliment plus *complet*.

C'est ce que nous avons démontré en parlant de la valeur nutritive des farines.

M. A. Girard n'a du reste pas contesté, en 1896, la valeur alimentaire des produits de l'assise digestive et de l'embryon, et il s'est contenté de prouver qu'entre une farine extraite à 60 p. 100 et une autre tirée à 70 p. 100 l'apport en éléments azotés et principalement phosphatés et minéraux était insignifiant.

Nous avons vu en effet que la différence de composition entre ces deux sortes de farine était très faible;

mais en outre que nous avons démontré que la teneur en substances azotées d'une farine blutée à 70 p. 100 est plus grande que celle que nous lui avons attribuée, nous savons que l'albumen vaut environ 75 p. 100 du poids total du grain de blé. Donc, une farine tirée à 70 p. 100 ne contient pas ou presque pas de produits de l'assise digestive et de l'embryon.

C'est pourquoi M. A. Girard n'a trouvé qu'une augmentation insignifiante en éléments phosphatés et minéraux entre une farine extraite à 60 p. 100 et une autre tirée à 70 p. 100.

Une farine blutée à 70 p. 100 n'est pas une farine entière, c'est l'*albumen* seulement réduit en farine. C'est entre une farine extraite à 70 p. 100 et une autre tirée à 80 p. 100, c'est-à-dire contenant tous les produits de l'*assise digestive* et de l'*embryon*, qu'il était intéressant de faire la comparaison.

Nous avons établi la valeur nutritive des farines blutées à 80 p. 100.

« C'est surtout aux *gruaux remoulus*, a dit M. Balland, en parlant des moutures militaires, que l'on doit les qualités nutritives exceptionnelles du *pain de munition* (1). »

C'est aussi en faisant entrer dans une farine les produits du *germe* qu'on augmente sa valeur nutritive. « On a vu, dit M. Balland, qu'il ne renferme pas moins de 11 gr. 20 p. 100 de matières grasses, et de 5 gr. 14 p. 100 de cendres.

(1) Balland, *Recherches sur les blés et farines*, 1894.

« En admettant, avec M. A. Girard, qu'il représente 1.43 p. 100 du poids du grain et qu'il contienne 42.50 p. 100 de matières azotées, la ration journalière du soldat se trouve augmentée, par l'apport seul de l'embryon, d'environ 3 gr. de matières azotées, 1 gr. de matières grasses et 0 gr. 40 de matières salines.

« Ce dernier chiffre, qui correspond à 12 gr. par mois, est particulièrement éloquent, si l'on songe que ces matières salines sont presque entièrement constituées par des phosphates très assimilables.

« L'élimination de l'embryon a pour effet non seulement de priver les farines de leurs phosphates, mais encore de leur enlever la souplesse et l'arome apportés par la matière grasse (1). »

Mais aujourd'hui, ce n'est même plus entre une farine blutée à 70 p. 100 et une autre tirée à 80 p. 100, qu'il faut chercher à établir la différence; c'est entre les farines premières de cylindres extraites à 55 ou 60 p. 100 et une farine contenant tous les principes nutritifs et assimilables du grain de blé.

Pour établir cette différence, nous n'avons qu'à comparer la composition du *pain blanc* de nos jours et du *pain de munition*.

Voici, d'après M. Balland, la composition d'un pain boulot provenant d'une boulangerie de Paris et d'un pain de munition. Ces analyses ont été faites en 1896 (2) :

(1) Balland, *Recherches sur les blés et les farines*, 1891.

(2) Balland, *Revue de l'Intendance militaire*, 1896.

1° Pain boulot.

Eau.		34.50
Matières azotées.		6.83
Matières grasses.		0.12
— sucrées et amylacées.		57.95
Cellulose.		0.11
Cendres		0.49
		<u>100.00</u>
Valeur alimentaire	{	
	matières plastiques.	7.32
	substances de réserve.	58.07
Rapport		$\frac{1}{8}$

2° Pain de munition.

Eau.		39.
Acidité		0.15
Matières azotées		9. »
— grasses.		0.65
— sucrées.		1.80
Cellulose		0.55
Cendres		0.90
Matière amylacée		47.95
		<u>100.00</u>
Valeur alimentaire	{	
	matières plastiques	9.90
	substances de réserve	50.40
Rapport		$\frac{1}{5}$

Nous constatons, comme nous l'avons admis, que les farines blutées à 80 p. 100 contiennent environ deux fois plus de substances grasses et minérales que les farines premières de cylindres. Dans cet exemple, le pain de munition renferme même cinq fois plus de matières grasses que le pain blanc, ce qui lui donne plus de souplesse et le conserve frais très longtemps.

Faisons remarquer aussi que le pain de munition

est un aliment plus complet que le pain blanc vendu par les boulangeries civiles.

Mais, nous dira-t-on, les boulangers ne fabriquent pas que du pain blanc; on trouve également chez eux du pain de farine entière appelé *pain de ménage* et du pain de seconde qualité dit *pain bis*, mais ils n'en vendent pas ou presque pas.

Le pain de ménage est en effet obtenu avec une farine blutée à un taux plus élevé que celle qui sert à la fabrication du pain blanc; mais outre que cette farine n'est généralement pas extraite à plus de 70 p. 100, ce qui ne donne pas au pain de ménage une valeur nutritive beaucoup plus grande qu'au pain blanc, elle provient souvent de moulins à meules ou de petits moulins employant des blés de seconde qualité et dont l'outillage est encore primitif ou imparfait. On croit que par pain de ménage, on doit entendre du pain de qualité inférieure au pain blanc, et que ce serait un sacrilège que de faire entrer dans sa composition des farines de bonne qualité.

Nous savons aussi que des farines blutées à 70 p. 100 contiennent une certaine proportion de produits de l'assise digestive.

Le pain de ménage est donc forcément un peu gris et a les inconvénients des pains fabriqués avec des farines mal blutées.

Ce n'est point le pain demandé, et le consommateur n'y trouvant pas cet arôme de fleur de froment, ce bon goût de noisette, cette souplesse et cette saveur agréable qu'apportent au pain les matières grasses et minérales

de l'assise digestive et de l'embryon, retourne au pain blanc qui, s'il est moins nutritif, a au moins l'avantage de le flatter par sa blancheur.

Le pain de *seconde qualité* est généralement fabriqué avec des farines de fins de mouture, provenant du dernier passage de broyage et de la remouture des gruaux rejetés par la mouture des blancs. Cette farine offre, comme nous l'avons montré, une valeur nutritive assez grande, mais par suite des ferments et des diastases qu'elle renferme, elle donne, comme nous l'avons expliqué, un pain bis, non levé, gras, lourd et indigeste.

Ce pain bis a perdu ses qualités nutritives et il est devenu moins nourrissant que le pain blanc. Moins agréable au goût et à l'œil que ce dernier, il peut même devenir nuisible à la santé puisqu'il contient des acides comme l'acide lactique et l'acide butyrique, des substances indigestes comme la glycérine, et que ses principes azotés peuvent donner de l'hydrogène, et même de l'ammoniaque.

On comprend alors toute la faveur dont jouit le pain blanc.

Nous ne parlerons que pour mémoire du pain dit « *pain complet* ». Ce pain est généralement fabriqué avec un mélange de farine blanche ou bise et une certaine quantité d'enveloppes de grains de blé, plus ou moins finement broyées. Il a tous les inconvénients, du *pain bis* puisqu'il renferme des parties de l'assise digestive et que de plus, comme lui il contient des *parcelles du péricarpe* qui n'ont aucune valeur nutritive

pour l'homme, et sont plutôt une gêne pour l'estomac.

Ce pain offre peut-être quelques avantages aux estomacs fatigués ou malades, mais alors, c'est un *médicament*, ce n'est plus un *aliment*.

Ce que nous voulons, c'est un **pain** contenant toutes les substances nutritives et assimilables que renferme le grain de blé; c'est un pain obtenu avec une farine extraite à 80 p. 100; c'est l'**amande entière** du grain de blé transformée en **pain**. Et par *amande* on sait que nous entendons l'albumen auquel sont réunis l'assise digestive et l'embryon.

C'est le *pain de munition*, nous dira-t-on.

Peut-être, mais un *pain de munition* fabriqué avec une farine obtenue à l'aide de l'outillage perfectionné que possèdent bientôt toutes nos minoteries, et dépourvue des *ferments* et *diastases* naturels du grain de blé, qui sont nuisibles à une bonne panification.

La substitution des cylindres aux meules est un progrès; on peut obtenir avec les appareils à cylindres une farine aussi complète qu'avec les meules, et cette farine sera toujours plus pure et plus blanche que les farines de meules.

Nous voulons aussi que ce pain de munition soit aussi *blanc* que le *pain blanc* actuel, car nous voulons que le paysan, comme l'ouvrier et le soldat, aussi bien que le bourgeois et le riche, mangent du *pain blanc*. Nous voulons même plus, car nous voulons qu'il soit le pain de *tous*. L'ouvrier le préférera parce qu'il sera nourrissant et que tout en ayant les avantages du pain blanc,

il n'aura pas les inconvénients du pain bis; le riche l'adoptera parce qu'il trouvera en lui la blancheur et la pureté du pain blanc, avec en plus l'arome et la saveur apportés par les produits de l'assise digestive et de l'embryon.

Nous savons que le pain bis et mal levé est dû à la présence dans les farines des ferments et des diastases naturels du grain de blé; donc, si nous détruisons ces ferments et ces diastases, nous obtiendrons un pain blanc, nutritif, d'un goût et d'une saveur agréables, et se conservant frais très longtemps.

Ce sera le *bon* pain demandé, ce sera le véritable pain *rationnel*.

« Le pain *normal*, le vrai *pain de l'avenir*, a dit Mége-Mouriés, sera celui qui contiendra tous les agents assimilables du grain de blé (1). »

Au point de vue hygiénique et humanitaire, l'apport des produits de l'assise digestive et de l'embryon dans le compost alimentaire n'est pas moins justifié.

Nous avons vu, en effet, que les éléments azotés et minéraux sont indispensables à l'entretien de notre organisme.

Le phosphore ou l'acide phosphorique combiné avec des substances azotées ou avec des substances minérales, n'est pas moins indispensable dans la composition de nos tissus, et plus particulièrement dans celle des os, du cerveau et des globules sanguins.

(1) Mége-Mouriés. *Du froment et du pain de froment au point de vue de la santé publique* (*Journal de pharmacie et de chimie*, 1860).

Les *phosphates* sont absolument nécessaires partout où la vie se manifeste avec énergie; de même qu'ils favorisent la germination des graines, ils favorisent aussi le travail musculaire ou intellectuel de l'homme; sans eux, l'enfant devient rachitique, les femmes enceintes et les nourrices s'étiolent. Tout ce qui grandit ou travaille a un besoin incessant de ces aliments minéralisateurs.

Les agronomes et les chimistes sont unanimes à reconnaître l'importance du rôle des phosphates dans le développement des plantes : ils ont montré qu'il existe un rapport nécessaire entre les quantités d'azote et de phosphates que doit contenir le sol ou l'engrais. Quand celui-ci renferme trop d'azote et pas assez de phosphates, la végétation est rapide, florissante, mais l'effort n'aboutit pas; la vigne coule, le blé verse, la maturation est retardée, les arbres fruitiers ont un feuillage luxuriant, mais la fleur noue mal; si le fruit se constitue, il reste petit et de médiocre qualité. Si, dans une parcelle de même champ, on ajoute au sol le phosphate qui lui faisait défaut, la maturation est rapide et la récolte de tous points abondante.

L'engrais n'est donc complet qu'à la condition de contenir à la fois des proportions fortes et déterminées d'azote et de phosphates.

De même en zootechnie; il est aujourd'hui reconnu que les végétaux et les graines riches en phosphates développent rapidement la charpente osseuses des animaux; le squelette et le système musculaire d'un cheval sont complètement formés, développés à l'âge de cinq

ans, quand l'animal se nourrit de végétaux provenant des terres riches en acide phosphorique; il est à peine achevé à sept ans sur des pâturages infertiles, ne fournissant que de maigres fourrages. L'addition directe au régime de phosphate de chaux finement pulvérisé améliore et active un peu le développement, mais infiniment moins qu'un surcroît d'acide phosphorique provenant du sol, assimilé par les jeunes pousses des graminées, par les semences de céréales légumineuses ou oléagineuses, ou par un lait de bonne qualité.

Ce qui est vrai des plantes et des animaux l'est aussi de l'homme.

Payen calculait jadis ses équivalents nutritifs exclusivement d'après les quantités d'azote, de carbone et de graisse que contenaient les aliments; il faut tenir compte également de leur richesse en phosphates.

Il n'est pas indifférent de savoir, par exemple, que sur 100 parties de cendres, on trouve les proportions suivantes d'acide phosphorique :

Froment 62 p. 100; jaune d'œuf 60; chair de veau 48; de bœuf 34; haricots 36; lait de vache 28; pommes de terre 12.

L'inanition minérale était autrefois combattue par les ferrugineux; le phosphore, sous forme d'acide phosphorique ou de phosphates, réclame aujourd'hui sa part dans la médication; l'expérience a en outre démontré que les phosphates sont bien plus assimilables quand ils font partie intégrante des substances alimentaires, que lorsqu'ils sont administrés sous forme de médicaments.

MM. Galippe et Barré rappellent que l'acide phosphorique disparaît des urines à partir de la conception et n'y reparaît que le sixième mois de la grossesse.

« Peu après la conception, disent-ils, en même temps que les os augmentent à la fois de volume et de densité, il se forme à la surface du bassin des concrétions ostéophytiques qui sont résorbées en totalité à la fin de la grossesse (1). »

La mère emprunte à son alimentation, et à défaut à ses propres organes, le phosphate nécessaire à la formation des os et du fœtus, et c'est à cette dénutrition maternelle que certains médecins ont attribué la fréquence de la carie dentaire chez les femmes enceintes.

Il y a lieu de rappeler que les poules qui pondent recherchent avec avidité la chaux des murailles et du sol, et qu'en l'absence de celle-ci, la coquille de leurs œufs est réduite à une membrane molle et non minéralisée.

On dit bien que l'homme ne se nourrit pas exclusivement de pain et M. A. Girard a prouvé, par des chiffres, que nous trouvons dans nos autres aliments les substances phosphatées et minérales nécessaires à notre alimentation et qui ne se rencontrent pas dans le *pain blanc* (2).

Mais M. A. Girard a surtout montré que leur introduction dans les farines ne compensait pas l'inconvénient de manger du *pain bis* et de mauvais goût.

Maintenant que nous pouvons obtenir du pain blanc

(1) Galippe et Barré, *le Pain*, 1895.

(2) A. Girard, *Rapport sur la valeur alimentaire des pains provenant de farines blutées à des taux d'extraction différents*, 1896.

tout en introduisant les produits de l'assise digestive et de l'embryon dans le compost alimentaire, nous n'avons plus de raison pour rejeter les substances phosphatées et minérales du grain de blé et nous devons les faire entrer dans l'alimentation humaine.

Procédé breveté S. G. D. G. en France et à l'étranger de stérilisation, de blanchiment et de désodorisation des céréales et de leurs farines.

Nous avons vu que les *ferments* et les *diastases* du grain de blé, localisés dans l'assise digestive et l'embryon, étaient nuisibles à une bonne *panification* et qu'ils empêchaient la meunerie de faire entrer dans la composition de ses farines premières environ 20 p. 100 des parties les plus nutritives du grain de blé, et nous avons montré qu'il y aurait avantage et économie pour tous à faire entrer ces produits dans l'alimentation de l'homme.

Nous avons dit qu'en détruisant ces ferments et ces diastases, rien n'empêcherait plus l'introduction des produits de l'*assise digestive* et de l'*embryon* dans le compost alimentaire, et qu'en même temps que nous ferions entrer l'*amande entière* du grain de blé dans notre alimentation, nous obtiendrions un *pain blanc* et de bonne levée.

Il nous reste à faire connaître notre procédé de *stérilisation*, de *blanchiment* et de *désodorisation* des céréales et de leurs farines.

L'idée d'empêcher les ferments naturels du grain de blé d'être nuisibles pendant la panification n'est pas nouvelle.

Mége-Mouriés lui-même, lorsqu'il découvrit la *céréaline*, à qui il attribua la saccharification de l'amidon et la décomposition du gluten au moment du pétrissage de la pâte, eut de suite l'idée d'éviter l'action de cette *céréaline*.

Pour cela, il proposa d'extraire du grain de blé les qualités de farine suivantes :

Farine fleur pour levain.	40	}	86
Gruaux blancs mêlés de farine et de différentes parcelles de son.	38		
Gruaux mélangés d'une plus grande quantité de son ou rougeurs	8		
Sons divers non employés .			13.500
Perte			» .500
			<u>100.00</u>

Pour panifier ces produits, on fait le levain avec les 40 parties de fleur de farine et 20 parties d'eau; ce levain étant prêt, on délaye les 8 parties de rougeurs dans 45 parties d'eau chargée de 600 grammes de sel marin et l'on passe au tamis qui retient les pellicules de son et laisse passer l'eau et la farine; cette eau est blanche, floconneuse et chargée de *céréaline*; elle n'a plus la propriété de liquéfier la gelée d'amidon et pèse 38 kilos (le reste de l'eau gonfle le son et reste sur le tamis); on délaye le levain avec cette eau et on fait la pâte en y ajoutant les 38 parties de gruaux blancs. — La pâte est divisée, et après une heure de repos, elle est mise au four; ce temps ne suffit pas, à la température de 25°, pour développer le ferment *céréaline* et on obtient du pain blanc; mais si la température est plus élevée ou si

l'on prolongeait le contact, on aurait du pain coloré, et ce pain serait d'autant plus bis que le retard aurait été plus long. Par ce moyen, 100 kilos de blé donneraient 136 kilos de pâte et 115 kilos de pain.

Ce procédé, comme on le voit, consistait à précipiter la *céréaline* par le sel marin et à ne pas lui laisser le temps nécessaire pour se constituer à l'état de ferment. Mais il obligeait le meunier à livrer au boulanger trois sortes de produits et nécessitait de la part de ce dernier un travail long et minutieux. De plus, il n'empêchait pas les farines de s'altérer et le son était en partie perdu.

Nous ne pensons pas qu'il ait reçu d'applications sérieuses.

Depuis Mége-Mouriés, de nouveaux procédés ont été indiqués, mais jusqu'à ce jour, aucun n'a été mis en pratique. Comme le procédé Mége-Mouriés, ils ne s'appliquent, en général, qu'au moment de la panification et nécessitent, pour la plupart, l'emploi de produits chimiques qui peuvent être une cause d'altérations de la pâte, s'ils sont mal employés.

Notre procédé est basé sur le pouvoir *blanchissant* et *stérilisant* de l'**oxygène naissant**, en employant l'*oxygène* ou l'*air ozoné* si on traite les farines, ou l'*eau oxygénée* ou *ozonée* si on veut stériliser les grains de blé dans leur entier.

L'**ozone** est de l'oxygène condensé. Il est, pour ainsi dire, l'oxyde d'oxygène, comme l'eau est l'oxyde d'hydrogène. De même que la vapeur d'eau est composée de

deux volumes d'hydrogène et de un volume d'oxygène, condensés de manière à former deux volumes de vapeur d'eau, de même, dans l'ozone, deux volumes d'oxygène sont combinés à un volume d'oxygène pour donner deux volumes d'ozone.

L'*ozone* est donc un oxydant très énergique; en réagissant sur un grand nombre de substances, il leur cède la partie d'oxygène par laquelle il se distingue de l'oxygène ordinaire, en sorte que, dans ces réactions, le volume de l'oxygène ozoné ne change pas. Il y a, avant la réaction, 2 volumes d'ozone : 1/3 de son poids s'en va et il reste, après la réaction, 2 volumes d'oxygène.

C'est cet atome d'*oxygène naissant* qui se combine, à la température ordinaire, à un grand nombre de substances pour les oxyder.

Nous avons vu que certains ferments se développaient à l'air, tandis que d'autres ne se multipliaient qu'à l'abri de l'air, avec même ce caractère pour ces derniers, que la présence de l'air suffisait pour les tuer. Nous avons dit aussi que tous les microbes avaient besoin d'air pour vivre, mais que ce besoin était extrêmement faible, si bien que l'excès d'oxygène libre était mortel pour tous.

L'oxygène à l'état *naissant*, qui est beaucoup plus énergique que l'oxygène ordinaire, doit donc avoir une action violente sur les ferments.

Les expériences de Nocard à Alfort et de Puech à Toulouse ont démontré que l'*oxygène naissant* avait sur les *ferments* une action destructive des plus nettes. Les anaérobies ne peuvent vivre dans ce milieu oxygéné et les aérobies sont attaqués dans leur constitution même

et détruits par l'oxygène d'une façon identique à celle de l'acide sulfurique sur le corps humain.

Les recherches d'Oppermann sur la destruction des microbes par l'électricité, nous apprennent également que l'électricité agit surtout en fournissant de l'ozone.

M. Ohlmuller, qui a le premier montré que la stérilisation par l'électricité pouvait être économique, est arrivé à purifier complètement un litre d'eau distillée contenant 3.717.000 bactéries charbonneuses par centimètre cube en faisant passer, pendant 10 minutes 5 litres d'air dosant 15 milligrammes d'ozone par litre.

Une eau qu'on avait chargée de 7.830.000 germes par centimètre cube a été stérilisée par M. Van Ermengen en 10 minutes.

Enfin, une eau de rivière, de l'eau de la Sprée, avait été additionnée de bacilles typhiques de telle manière qu'un centimètre cube de cette eau en contenait 9 millions; cette eau a été rendue stérile par M. Ohlmuller en 5 minutes par 40 milligrammes 6 d'ozone (1).

Ces expériences nous montrent le pouvoir énergique et destructeur de l'ozone sur les ferments.

En traitant les *farines* d'une céréale quelconque par l'ozone, nous détruirons donc tous les ferments qu'elle contient. C'est ce que nous prouve l'expérience suivante :

Nous avons pris un échantillon de farine secondaire que nous avons partagé en deux. L'une des parties a été traitée pendant quelques instants par de l'oxygène ozoné. Puis les deux échantillons ont été soumis à l'analyse biologique.

(1) Duclaux, *Traité de microbiologie*, 1898.

Voici les résultats que nous avons obtenus :

Échantillon témoin.	}	Présence du ferment lactique.
		Présence du ferment butyrique en assez forte quantité.
		Pas de ferment acétique.
Échantillon stérilisé.	|	Absence totale de ferments (1).

Ainsi, l'emploi de l'ozone nous permet de détruire tous les ferments que renferme une farine. Mais là ne se borne pas le rôle de l'ozone. L'ozone a également un pouvoir *blanchissant et désodorisant* très énergique.

Tout le monde sait qu'autrefois, pour blanchir des toiles neuves, on les étendait dans un pré, après les avoir lavées. C'était à l'oxygène de l'air, ou mieux à l'ozone contenu dans l'air, qu'était dû ce *blanchiment*. De nos jours on blanchit directement les tissus en les plongeant dans une atmosphère artificielle chargée d'ozone. Il est admis qu'avec 40 grammes d'ozone on peut blanchir 50 kilos de toile de lin.

On emploie également l'ozone pour blanchir les pâtes à papier, la cire, l'ivoire, les pailles, les plumes, les huiles, les corps gras quelconques, etc. (2).

La *décoloration* ou blanchiment a pour but la destruction des matières colorantes, soit naturelles, soit accidentelles, que peut contenir le produit à blanchir. L'oxygène naissant oxyde la matière colorante et la

(1) Ces analyses biologiques ont été faites en 1898 par M. A. Girard, chimiste, 61, rue de l'Arcade, Paris.

(2) On emploie également l'ozone pour le vieillissement des eaux-de-vie. Dans cette opération, c'est encore une oxydation de certains produits qui a lieu.

détruit, en la transformant en un corps soluble dans l'eau.

Donc, en traitant une farine par l'ozone, nous transformons les matières colorantes, voire même les poussières qu'elle renferme. Et quand bien même la cellulose qu'elle contient ne serait pas absolument pure, elle est rendue aussi blanche que l'amidon par notre procédé de blanchiment et de stérilisation. C'est ce qui nous a décidé à faire entrer dans le compost alimentaire la cellulose provenant de l'amande du grain de blé, et qui est très riche en substances azotées et minérales assimilables par l'homme.

Les *ferments* et les *diastases* de la farine étant détruits, les substances grasses qu'elle renferme ne pourront plus s'altérer et elle sera susceptible, par conséquent, d'une longue conservation.

En résumé, l'emploi de l'*ozone* nous permet de détruire tous les ferments contenus dans une farine, de lui donner une blancheur éclatante et de l'empêcher de s'altérer et de prendre mauvais goût.

A la panification, cette farine donnera un pain blanc et la *fermentation alcoolique* seule se développera.

On nous fera observer que tous les ferments de la farine étant détruits, la coagulation du gluten, qui est due à l'action d'une diastase, ne pourra pas se produire et le pain manquera de levée. Nous répondrons que c'est surtout au four, sous l'action de la chaleur, que se dilate l'acide carbonique cause de la levée de la pâte. Le gluten emmagasine ce gaz dans des cavités plus ou moins grandes, suivant sa force de résistance. Puis,

les substances albuminoïdes se coagulant par l'effet de la chaleur, le gluten d'une farine stérilisée acquerra donc quand même son élasticité au moment de la cuisson.

Dans les expériences que nous avons faites, nous n'avons pas trouvé de différence de levée entre un pain obtenu avec une farine stérilisée et un pain fabriqué avec une farine ordinaire.

Si on veut obtenir la coagulation du gluten au moment du pétrissage de la pâte, il n'y a qu'à ajouter une diastase coagulante à la levure ou au levain qui servent à produire la fermentation alcoolique.

Mais cela n'est pas nécessaire, et nous serions même partisan d'éviter totalement la coagulation du gluten si cela était possible. Nous avons vu que les substances azotées étaient transformées dans l'estomac par une diastase, la pepsine, puis dans l'intestin par une autre diastase, la trypsine, en substances diffusibles et non coagulables qu'on désigne sous le nom de peptones.

Lorsque les substances albuminoïdes sont coagulées, elles doivent être décoagulées avant d'être solubilisées. Cette transformation se ferait, d'après M. Duclaux, sous l'action d'une diastase décoagulante spéciale (1). C'est peut-être ce qui explique que les matières albuminoïdes sont en général plus difficilement assimilables que les substances amylacées.

Il est évident alors que si ces matières albuminoïdes arrivent dans l'estomac à leur état naturel, c'est-à-

(1) Duclaux, *Traité de microbiologie*, tome II. *Diastases*, 1899.

dire non coagulées, elles seront plus vite et plus facilement assimilées.

C'est ainsi que la fibrine est entièrement digestible dans l'estomac pourvu qu'elle n'ait pas été trop desséchée ou trop coagulée avant le traitement (1). Nous avons dit que M. le docteur Bovet proposait de remplacer, dans l'alimentation des diabétiques et des dyspeptiques, le pain de gluten par le pain de légumine parce que celle-ci présentait sur le gluten l'avantage d'être rendue plus rapidement soluble.

Donc, si on peut éviter dans le pain la coagulation des substances azotées, celui-ci sera plus digestif et plus vite assimilé.

Au sujet de la fabrication du pain, nous pensons qu'il y aurait peut-être avantage et économie pour la boulangerie à remplacer les levains et même la levure par la nouvelle diastase de M. Calmette, l'*amylomices Rouxii*, qui transforme directement l'amidon en alcool et acide carbonique. Son emploi supprimerait le travail des levains et abrégerait les opérations de la panification.

Notre procédé de stérilisation et de blanchiment a en outre l'avantage d'être *simple*, puisqu'il n'apporte en meunerie ni en boulangerie aucun changement dans la fabrication actuelle. On peut traiter indifféremment la totalité des farines ou seulement les farines secondaires. Il permet donc de faire entrer les farines secondaires

(1) A. Gautier, *Leçons de Chimie biologique*, 1897.

dans les farines premières ou de donner une plus value aux farines bisés pour les vendre directement ou les livrer à l'exportation.

Notre procédé est *pratique* puisqu'il ne demande qu'un peu de force motrice pour actionner la dynamo qui produit l'électricité nécessaire à la transformation de l'*oxygène* en *ozone*.

Nous pouvons également obtenir la *stérilisation* du grain de blé ou d'une céréale quelconque en les traitant par l'*eau oxygénée* ou l'*eau ozonée*. Dans ces deux cas, c'est encore l'oxygène naissant qui agit.

L'*eau oxygénée* ou peroxyde d'hydrogène est une combinaison d'oxygène avec l'oxygène de l'eau. Tout le monde sait que l'eau est formée de 2 volumes d'hydrogène et de 1 volume d'oxygène, et que sa formule est $H^2 O$. La formule de l'eau oxygénée devient par conséquent $H^2 O^2$.

Comme dans l'ozone ou O^3 , un atome d'oxygène possède un pouvoir oxydant énergique. C'est cet atome qui agit à l'état *naissant*.

L'eau oxygénée possède une grande partie des propriétés de l'ozone; elle est employée dans l'industrie pour les mêmes usages que l'ozone.

L'*eau ozonée* est simplement de l'eau dans laquelle on fait barboter de l'air chargé d'ozone ou de l'oxygène ozoné.

En résumé, les avantages de notre procédé de **stérilisation**, de **blanchiment** et de **désodorisation** du grain de blé ou de sa farine sont les suivants :

- 1° Suppression des farines inférieures et du pain bis.
 - 2° Diminution de la perte au moulin.
 - 3° Augmentation du rendement en farine et en pain.
 - 4° Élévation de la force nutritive du pain par la présence d'une plus grande quantité de matières azotées, phosphatées et minérales.
-

CONCLUSION

Notre tâche est terminée et nous avons atteint le but que nous nous étions proposé : concilier les exigences de l'hygiène et les intérêts de la meunerie.

De longues études et de minutieuses recherches, facilitées par les travaux de MM. Aimé Girard, Balland, Van Thièghem, Bourquelot, Armand Gautier et Duclaux, à qui nous adressons nos hommages les plus respectueux et les plus reconnaissants, nous ont permis d'établir exactement la nature, la formation et le développement, ainsi que la structure et la composition chimique du grain de blé.

Nous avons pu constater que le **grain de blé** n'était pas composé d'une enveloppe à cinq membranes et d'un albumen comme on le croyait généralement, mais qu'il comprend, comme tous les fruits, un *péricarpe* et une *amande*. Nous avons vu aussi que par enveloppe ou péricarpe il fallait entendre seulement la partie ligneuse et fibreuse du grain de blé dépourvue de toute parcelle farineuse, et que l'assise digestive et l'embryon réunis à l'albumen constituaient l'amande du grain.

veux. Notre race, si vigoureuse autrefois, serait-elle menacée de décadence ainsi que le disent quelques pessimistes? Je ne le pense pas et je crois que pour retrouver notre ancienne vigueur, il nous suffirait de revenir aux habitudes d'hygiène et d'alimentation qui ont fait la force de nos ancêtres. »

Enfin, en faisant entrer dans notre alimentation l'amande entière du grain de blé, la quantité de blé nécessaire à chacun de nous diminuera et la France, non seulement suffira à ses besoins, mais elle pourra chaque année mettre de côté d'importantes réserves en blé pour suppléer aux mauvaises récoltes et ne plus devenir tributaire de l'étranger.

On sait quelle émotion produisit le discours du grand chimiste Crookes, qui nous a menacés de la famine pour 1930. Tirer un meilleur parti du grain de blé c'est déjà retarder cette date si proche.

Il est vrai que, par une coïncidence singulière, au moment même où le professeur Crookes arrivait à cette constatation alarmante que la race humaine avait atteint son maximum numérique en raison de l'insuffisance alimentaire, un autre savant considérable trouvait le moyen de fabriquer directement les aliments avec des substances minérales. Le professeur Lilienfeld, de Vienne, annonçait au monde savant qu'il venait de découvrir le moyen de produire l'albumine dans son laboratoire.

Allons, l'humanité est encore loin de mourir de faim.

Toutefois, ce n'est pas une raison pour ne pas tirer le meilleur parti possible de nos ressources alimentaires.

« Les pertes résultant d'un blutage exagéré du blé, a dit M. Balland, sont désastreuses pour la France qui est le pays du monde où l'on consomme le plus de *pain* (1). »

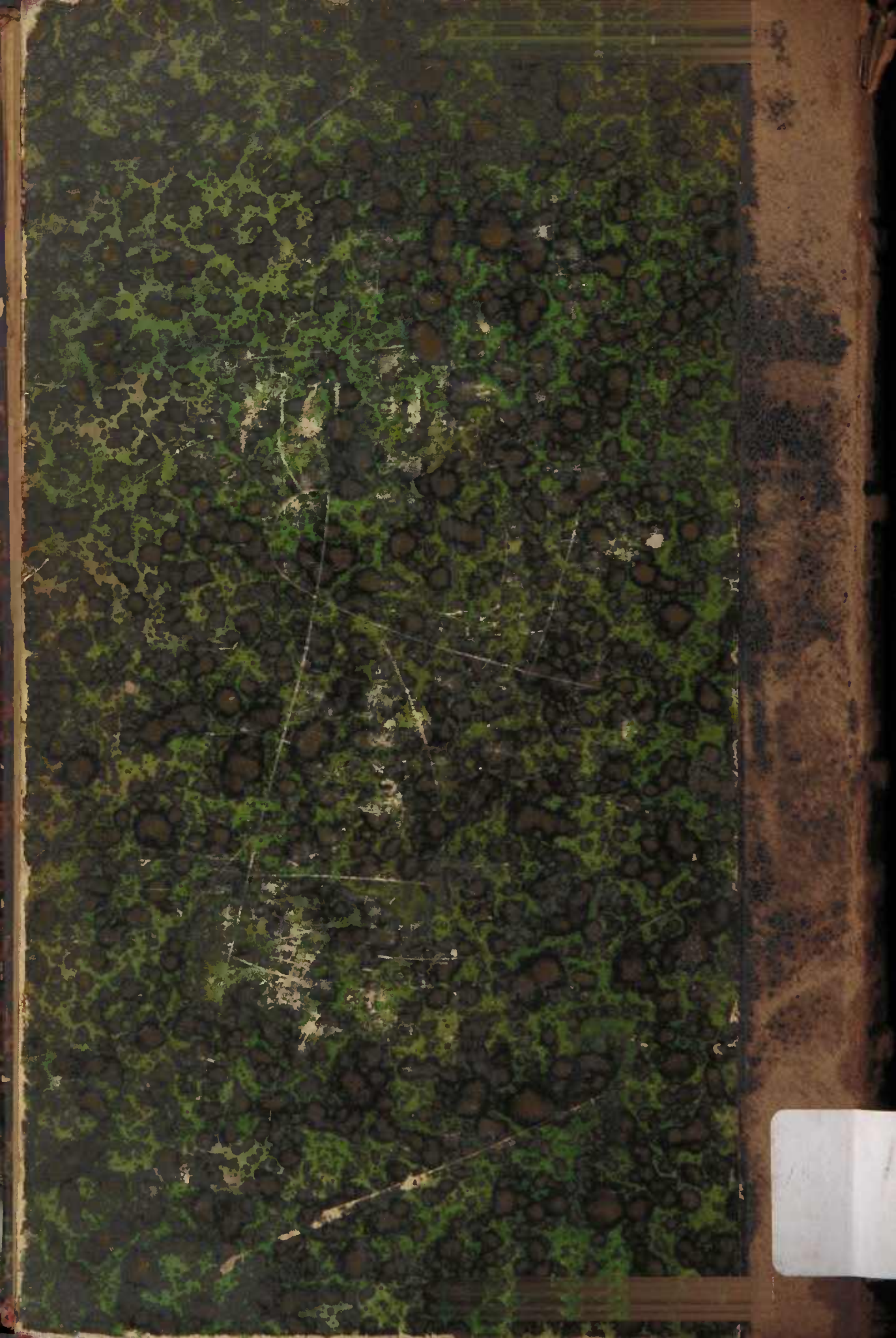
Nous terminerons en remerciant au nom de la meunerie tout entière les savants et les chimistes qui nous apportent chaque jour de nouvelles découvertes, car, comme l'a dit M. Fleurent, « c'est encore en introduisant le contrôle scientifique à la base de son industrie, que le meunier arrivera à tirer du grain de blé qu'il achète, le parti le plus avantageux pour lui, pour le boulanger et pour le consommateur (2) ».

(1) Balland, *Recherches sur les blés, les farines et le pain*, 1894.

(2) E. Fleurent, *Étude sur le gluten*. Communication faite à l'Académie des sciences en 1898.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
INTRODUCTION.	VII
Étude physiologique du grain de blé.	
I. Formation et développement du grain de blé.	1
II. Composition physique du grain de blé.	13
III. Composition en poids du grain de blé.	33
IV. Alimentation et nutrition du grain de blé.	41
V. Composition chimique du grain de blé.	51
Étude biologique du grain de blé.	
VI. Ferments du grain de blé.	81
VII. Diastases du grain de blé.	93
VIII. Fermentations du grain de blé.	105
IX. Formation du gluten dans le grain de blé.	123
Alimentation et hygiène.	
X. Valeur alimentaire des différentes parties du grain de blé.	133
XI. Le grain de blé est-il un aliment complet?.	161
XII. Rendement du grain de blé en farines et issues.	171
XIII. Valeur alimentaire et boulangère des farines.	180
XIV. Nutrition et hygiène.	205
PROCÉDÉ DE STÉRILISATION ET DE BLANCHIMENT DES CÉRÉALES ET DE LEURS FARINES.	219
CONCLUSION	231



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).