

16

PETITE ENCYCLOPÉDIE  
PRATIQUE  
DE CHIMIE INDUSTRIELLE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE  
F. BILLON, INGÉNIEUR-CHIMISTE

ENGRAIS

16<sup>e</sup> Volume de la Collection

PARIS

E. BERNARD & C<sup>ie</sup>, IMPRIMEURS-ÉDITEURS  
29, Quai des Grands-Augustins  
1899

LIBRAIRIE E. BERNARD et C<sup>ie</sup>  
PARIS — 29, quai des Grands-Augustins, 29 — PARIS

**MEMENTO**

DE

**L'ARCHITECTE & DE L'ENTREPRENEUR**

PAR

**L.-A. BARRE, \* , O. I. \***

Ingénieur des Arts et Manufactures

Professeur de Mathématiques à l'Association polytechnique

Ancien Rédacteur à la *Revue d'Architecture*, à la *Semaine des Constructeurs*,

**Avec la collaboration d'Architectes, de Spécialistes**

**ET DE PAUL BARRÉ, FILS.**

**Théorie, Pratique et Législation du Bâtiment**  
**Recueil de Tables et Renseignements pratiques**  
**concernant la construction**

*Un vol. in-18, cartonné, comprenant 1040 pages avec 1070 figures intercalées dans le texte et 5 planches.*

**PRIX** — Paris : **10 fr.** ; Province et Etranger : **11 fr.**

Librairie E. BERNARD et C<sup>ie</sup>, 29, quai des Grands-Augustins

**PETITE ENCYCLOPÉDIE**

**ELECTRO-MECANIQUE**

par **M. Henri de GRAFFIGNY**, ingénieur civil

- N<sup>o</sup> 1. — Manuel élémentaire d'Electricité industrielle.
2. — Manuel du Conducteur de dynamos et moteurs électriques.
3. — Les Piles et les Accumulateurs.
4. — Les Canalisations électriques.
5. — Chauffeur-Conducteur de Machines à vapeur.
6. — Conducteur de Moteurs à gaz et à pétrole.
7. — Guide pratique d'Eclairage électrique.
8. — Le Monteur-Appareilleur électricien.
9. — Transport électrique des forces motrices.
10. — Les Réseaux téléphoniques et sonnettes.
11. — Guide pratique de l'électro-chimiste.
12. — L'Electricité pour tous. — Applications diverses.

Chaque volume comprend 160 pages avec de nombreuses figures dans le texte.

Prix de **IRIS**, **LILLIAD**, Université Lille La collection des 12 volumes.

~~1263~~  
00310



ENGRAIS



---

Courbevoie. — E. BERNARD et C<sup>ie</sup>, Imprimeurs-Editeurs.  
Buresux : 29, Quai des Grands-Augustins. — Paris.

---

PETITE ENCYCLOPÉDIE  
DE  
CHIMIE INDUSTRIELLE PRATIQUE

---

N° 16

MUSÉE  
COMMERCIAL  
LILLE

# ENGRAIS

N° B. B. 390 127 / - 26666



B.M. 68

PARIS

E. BERNARD ET C<sup>o</sup>, IMPRIMEURS-ÉDITEURS  
29, Quai des Grands-Augustins

1899



# ENGRAIS

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### Historique.

Pendant de longs siècles, la culture n'a consisté qu'en la mise en œuvre de procédés simples. On semait ou on plantait, et, après des soins plus ou moins complexes, suivant la plante envisagée, il n'y avait plus qu'à récolter : la température et l'humidité plus ou moins favorables étaient les grands facteurs du rendement, et ils suffisaient pour que celui-ci fut rémunérateur. C'était et c'est encore le propre des terres vierges, des terres dont le défrichement est récent, ou de celles qui jouissent d'un climat exceptionnel, pour lesquelles les lois économiques sont simples. Mais, peu à peu, ces terres s'usant, pour employer une expression simple, on fut amené à rechercher des conditions de culture propres à compenser la diminution du produit, et, pour cela, on reconnut comme efficaces les cultures alternantes, dont nous aurons à étudier la raison d'être. Les données acquises ne reposèrent d'abord que sur un ensemble de connaissances empiriques transmises de père en fils, variables, diverses d'un pays et d'une localité à l'autre, sans lien général. L'expérience séculaire avait montré que telle ou telle pratique était favorable ou défavorable, suivant les cas, mais on ne connaissait aucune relation entre ces observations éparses, dont l'intérêt demeurait restreint, et qu'aucune théorie scientifique ne permettait de prévoir ou d'expliquer.

On avait, sur le développement et la croissance des plantes, les idées les plus vagues. Dans un traité de botanique forestière

paru en 1837, on lit, par exemple, que la germination, la croissance, la floraison des végétaux résultaient d'une propriété spécifique du sol ; que la fructification était le résultat d'une action électro-tellurique à chaîne ouverte, et d'autres assertions analogues, dont le peu de portée n'apprend qu'une chose ; l'ignorance absolue dans laquelle on était à cette époque des véritables principes de la physiologie végétale.

Cependant, un petit nombre de savants s'étaient occupés déjà de cette étude. Le plus illustre d'entre eux, Alexandre de Humboldt, avait émis sur le sujet, dans une préface dont il faisait précéder l'ouvrage connu de J. Ingenhouse : *Sur la croissance des plantes*, ouvrage édité à la fin du siècle dernier, plusieurs idées vraiment géniales et qui témoignent de la grande pénétration de son esprit. Ces vues, purement intuitives, se vérifièrent en grande partie par la suite, de telle sorte que Liebig, en dédiant sa *Chimie agricole* au grand philosophe, put dire :

« Tout ce que vous trouverez dans ce livre ne m'apparaît, en réalité, que comme le simple développement et la preuve de ce que vous avez avancé, il y a un demi-siècle, dans la préface de l'ouvrage d'Ingenhouse ».

Pourtant, l'on avait depuis longtemps incinéré des végétaux et constaté, dans leurs cendres, la présence d'éléments minéraux. Sprengel, entr'autres, croyait pouvoir affirmer que les substances inorganiques que l'on trouve dans les cendres végétales, devaient avoir été empruntées au sol. Cependant, l'on est si peu fixé à cet égard, qu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'Académie de Berlin mettait encore au concours la question suivante : « Les parties minérales que l'on trouve dans les cendres des diverses céréales sont-elles engendrées par la force vitale ou par l'action des organes des plantes ? »

On était donc bien loin, à cette époque, d'une conception réellement scientifique sur les causes de la végétation.

En 1840, parut l'œuvre mémorable de J. Liebig : « *Des applications de la chimie à l'agriculture et à la physiologie* », qui éclaira subitement ce domaine obscur.

Liebig, en groupant les faits isolés, restés jusqu'alors sans signification, vérifia les observations de ses devanciers, et, en y joignant le résultat de ses propres expériences, il put formuler

un ensemble de conclusions que les travaux ultérieurs n'ont fait que confirmer.

La doctrine de Liebig est simple et s'énonce en peu de mots ; les plantes, dit-il, ont besoin, pour leur nourriture, d'éléments déterminés ; elles trouvent les uns dans le sol, où leurs racines vont les puiser ; les autres existent dans l'air et sont fixés par les parties vertes du végétal. Les provisions de nourriture aérienne sont inépuisables ; celles du sol sont limitées. Lorsque nous récoltons une plante, nous enlevons avec elle une proportion déterminée des composants utiles du sol, si bien qu'à la fin nous épuisons celui-ci, et qu'aucune plante ne saurait plus s'y développer. Liebig montra, de plus, que le fumier d'étable renferme la plus grande partie des substances minérales contenues dans les plantes qui nourrissent les bestiaux, en sorte que la fumure restitue au sol ces éléments indispensables à la végétation que la culture enlève constamment.

Les jeunes animaux ne retiennent qu'une fraction très faible des composants minéraux de leur alimentation, laquelle suffit au développement de leurs organes. L'animal adulte rend intégralement ces éléments superflus.

Là est la cause des propriétés fécondes du fumier de ferme, propriétés connues et appliquées depuis des siècles, mais dont la raison était demeurée mystérieuse.

Liebig fit remarquer qu'une exploitation agricole se trouve rarement en mesure de restituer à une pièce de terre, à l'aide d'un seul fumier, exactement les mêmes proportions d'éléments minéraux que les récoltes ont enlevés. Car, si l'on plante aujourd'hui des herbages, demain l'on plantera des pommes de terre ou des céréales qui seront vendues. En un mot, le sol s'appauvrit continuellement en composés minéraux utiles, enlevés, en partie par les récoltes, en partie par les bestiaux pour la formation des os et de la viande et pour la production du lait et de la laine. Le cycle se continuant ininterrompu, il arrivera forcément un temps, où le sol, épuisé de sels minéraux, ne donnera plus de récoltes.

Et Liebig trouve, dans l'histoire des générations passées, la confirmation de ces vues ; si nous ne voyons où étaient autrefois les greniers de l'Italie, qu'un sol stérile et infécond, cela tient à ce que ces lois naturelles étaient inconnues aux anciens,

et que l'expérience et la tradition avaient appris à leur obéir qu'en partie.

Nous ne pouvons nous étendre davantage sur ces questions, malgré leur intérêt, ni rappeler les discussions qu'elles ont soulevées. Il nous importe seulement de retenir que les points de la doctrine de Liebig, que nous avons énoncés plus haut, sont demeurés debout et ont reçu la confirmation de l'expérience.

Les plantes ont besoin, pour se développer, d'un nombre assez restreint d'éléments qu'elles rencontrent dans le sol sous différentes formes : la chaux, la potasse, l'acide sulfurique, l'acide phosphorique, l'hydrogène, l'azote, le premier à l'état d'eau, le second en combinaison avec l'hydrogène, sous forme d'ammoniaque, ou avec l'oxygène, sous forme de nitrates. Ce sont là les principales substances nourricières de l'organisme végétal.

Lorsque l'on sut que le cycle ancien des pratiques agricoles ne rend pas à la terre tout ce que la végétation lui enlève de substances minérales utiles ; lorsqu'il fut établi que le rendement des récoltes croît avec la proportion de ces substances existant dans le sol sous une forme assimilable, on fut conduit à fertiliser artificiellement la terre appauvrie, manquant de l'une ou de l'autre de ces substances, existant dans le sol sous une forme assimilable, ou n'en contenant que des quantités insuffisantes, en y apportant ces éléments nourriciers sous une forme très concentrée, sous forme de composés chimiques. De cette idée, scientifiquement établie et admise vers 1840, est née l'industrie des engrais artificiels.

Disons tout de suite que l'analyse a fait connaître qu'une grande partie des éléments nécessaires au développement des végétaux existent normalement en quantités plus que suffisantes dans la plupart des sols, et y sont rendues assimilables par les méthodes agricoles (la charrue, l'assolement, etc.), en sorte qu'il n'est réellement que trois éléments qui diminuent constamment dans les terres cultivées et dont la restitution artificielle exerce une influence favorable sur les récoltes ; ce sont : la potasse, l'acide phosphorique et l'azote.

L'étude des engrais ne consiste donc pas qu'en celle des matières naturelles, fumier de ferme, guano, poudrette, etc., mais une très grande part doit être faite à l'industrie des engrais chimiques, qui s'occupe spécialement de préparer des produits contenant soit l'un ou l'autre, soit des mélanges de ces éléments.

Au point de vue historique, il est à remarquer que, bien avant que la science ait démontré l'utilité de semblables compositions, l'agriculture faisait usage, concurremment avec le fumier de ferme, de produits et de résidus divers dont l'expérience avait établi l'action fertilisante. En 1809, de Humboldt avait rapporté du Pérou des échantillons de guano et appelé l'attention sur la grande proportion d'urate d'ammoniaque qui y est contenue. En recommandant ce produit à nos agriculteurs, de Humboldt rapportait que, sous le gouvernement des Incas, il avait toujours été interdit de tuer l'oiseau dont les excréments et les dépouilles cadavériques engendraient ce précieux engrais. Dans nos contrées, on amendait les terres avec de la cendre de bois et d'autres résidus encombrants. Il est probable, soit dit en passant, que c'est aussi pour s'en débarrasser, que les premiers agriculteurs ont répandu sur le sol le fumier des bestiaux, l'observation de résultats favorables a conduit ensuite à la pratique régulière de la fumure.

Nous terminerons ce court historique en définissant comme engrais toute substance, de quelque nature qu'elle soit, que le cultivateur ajoute au sol pour en conserver ou en augmenter la fertilité.

---

## CHAPITRE II

---

### Quelques notions sur la nutrition des végétaux.

---

Pour arriver à satisfaire les exigences des végétaux que nous cultivons, il est nécessaire de savoir comment la plante naît, comment elle se développe et comment elle vit.

Toute plante naît d'une graine, c'est-à-dire d'un organe analogue à l'œuf, contenant, d'une part, l'ovule, c'est-à-dire le rudiment essentiel de la plante, d'autre part, des réserves d'aliments destinées à être consommées dans la première phase du développement. Celui-ci peut en effet s'effectuer dans un milieu absolument aride, tel que du sable lavé et calciné, mais auquel on fournit la quantité d'humidité nécessaire ; dans ces conditions, la germination se fait : de la graine sortent de petites tiges minces, de petites feuilles vertes : on a, en un mot, une petite plante en miniature. La plantule a utilisé, pour se développer, les matériaux nutritifs accumulés dans la graine, qu'elle a transformés, solubilisés et brûlés. C'est une opération analogue qu'on fait subir à l'orge au germe pour la transformer en malt, destiné lui-même à la fabrication de la bière : on dispose l'orge en tas, après l'avoir convenablement humectée, et, peu à peu, la germination a lieu, produisant dans la graine des modifications profondes qui lui font acquérir des propriétés nouvelles, fondamentales pour l'industrie brassicole.

Mais nous voyons que, pour cette première phase de développement de la plante, si les aliments proprement dits sont inutiles, l'eau est un élément indispensable.

En son absence, aucune germination ne peut avoir lieu ; c'est pourquoi il est si utile au cultivateur que la pluie se montre au moment des semailles la sécheresse à cette saison faisant avorter les semis ou retardant l'apparition des plantes.

Même avec une quantité d'eau suffisante, il arrive un moment où la plante cesse de croître ; elle fait plus, elle jaunit, elle s'étiolé au bout d'un temps variable suivant l'espèce de graine, plus ou moins chargée en réserve nutritive. Mais si, avant ce moment, nous arrosions le support siliceux avec ce qu'on appelle dans les laboratoires un liquide nutritif, et nous verrons plus loin ce qu'on entend par ce mot, notre plante ne cesse pas de s'accroître, de donner de nouvelles feuilles, et présente bientôt un aspect analogue à celui d'une plante germée en pleine terre. Nous pouvons donc admettre que nous avons fourni au végétal les aliments qu'il aurait puisés de lui-même dans la terre : c'est là un mode d'expérimentation facile à employer, et apte à renseigner sur l'influence de telle ou telle substance.

Si nous voulons connaître les corps nécessaires à la croissance du végétal, nous pouvons encore employer l'analyse chimique, en déterminant les corps simples qui entrent dans la constitution des plantes arrivées à un certain état de développement. Ces corps simples sont à peu près les mêmes que ceux qui composent les organismes animaux, c'est-à-dire :

Oxygène	Chlore
Hydrogène	Silice
Carbone	Soude
Azote	Magnésie
Acide phosphorique	Fer
Potasse	Manganèse
Acide sulfurique	Chaux

Tous ces corps existent dans le sol naturel, en proportions variables ; lorsque le végétal en croissance ne les rencontre pas dans la proportion qui lui est nécessaire, il faut qu'il les puise ailleurs, ou qu'on les lui fournisse par les engrais. Nous avons donc à nous demander qu'elle est la source naturelle principale de chacun de ces corps, avant d'étudier comment on peut suppléer à leur insuffisance ou à leur absence.

#### *Oxygène, hydrogène.*

Ces deux gaz proviennent de l'eau qui, nous l'avons vu, est

indispensable à la croissance des plantes, la plus grande partie de cette eau est puisée dans le sol, mais une petite quantité provient de l'atmosphère, toujours plus ou moins chargée de vapeur d'eau.

Il y a en outre, pour l'oxygène, une source importante : c'est l'air, et le mode de fixation de ce corps est absolument analogue à celui des animaux : comme ceux-ci, les plantes respirent, pour fixer l'oxygène de l'air ; comme eux, le résidu de cette respiration est l'acide carbonique. Cette respiration est constante, c'est-à-dire qu'elle se produit aussi bien le jour que la nuit ; elle est surtout facile à observer la nuit, car, le jour, elle est marquée par un phénomène inverse que nous étudierons bientôt.

La respiration, enfin, est indépendante des conditions atmosphériques, température, état hygrométrique, éclaircissement, etc.

### *Carbone.*

Le carbone nécessaire aux plantes leur vient de l'air. Il est facile de le démontrer ; pour cela, reprenons notre expérience de germination dans du sable calciné, fournissons à la graine comme liquide nutritif un milieu dépourvu de carbone, et dessous au bout d'un certain temps le carbone de la plante développée. Si celui-ci est en quantité plus élevée que celle qui existait dans la graine primitive, il est évident que notre jeune plante aura puisé le complément dans l'atmosphère.

Or, dans l'air, le carbone n'existe que sous forme d'acide carbonique, et à l'état de traces ; c'est donc cet acide carbonique qui sert aux végétaux, et ceux-ci constituent précisément le régulateur de la quantité d'acide carbonique de l'air, acide carbonique déversé en grandes quantités dans l'atmosphère par les animaux, par toutes les combustions, vives et lentes, par les plantes elles-mêmes qui, nous le savons, respirent.

L'organe destiné à cette absorption est la feuille : c'est elle qui, par sa large surface, plongée dans l'atmosphère, s'empare de son acide carbonique et le fixe au moyen de la substance qui lui donne sa coloration verte bien connue. Cette substance, la chlorophylle, existe en petites granulations dans les cellules de toutes les plantes vertes ; il lui faut, pour remplir sa fonction,

l'aide de la lumière. Ce n'est donc que pendant le jour que les plantes s'alimentent en carbone ; en même temps qu'il y a fixation de ce dernier, il y a dégagement d'oxygène. Si nous nous rappelons ce qui se passe dans la respiration, nous voyons que ce phénomène est inverse de la fonction chlorophyllienne : dans celle-ci, fixation de carbone et dégagement d'oxygène, dans la première, absorption d'oxygène et exhalaison d'acide carbonique ; mais l'une se produit durant toute la vie de la plante, la nuit comme le jour, tandis que l'autre, la fonction chlorophyllienne, n'a lieu que le jour, et dans une proportion telle qu'elle masque la respiration.

La destinée de ce carbone est complexe, et loin d'être encore élucidée ; ce corps se combine aux éléments de l'eau, hydrogène et oxygène, dont nous connaissons la genèse, pour donner lieu à des corps ternaires ; le premier est l'aldéhyde formique ou méthylique, laquelle se polymérise à son tour pour donner naissance aux nombreux corps connus sous le nom d'hydrates de carbone, les sucres d'abord, puis l'amidon, les dextrines, les gommés, les celluloses, etc.

#### *Azote.*

L'azote étant le gaz le plus répandu dans l'atmosphère, il semblerait que celle-ci fût la source unique où la plante le puise. Il n'en est rien cependant, et il est encore douteux que l'azote pur puisse être assimilé par elle ; M. Georges Ville, à peu près seul, soutient que cette fixation ait lieu, Boussingault, Laves, Gilbert et Pugh ont prouvé au contraire qu'il n'en était rien.

Il n'en est pas moins vrai que, par un moyen détourné, l'azote de l'air peut contribuer à la nutrition des végétaux. Cela résulte des expériences de MM. Berthelot, Dehérain et Maquenne. Pour M. Berthelot, c'est grâce à l'intervention de l'électricité atmosphérique, agissant d'une façon lente, mais continue, sous forme d'effluve ; il y aurait formation de composés azotés complexes, se fixant sur les hydrates de carbone du sol, par l'action de certains organismes vivants, surtout pendant la belle saison et plutôt dans l'obscurité. Pour MM. Dehérain et Maquenne, si l'effluve est plus énergique, il peut y avoir même formation

d'acide azotique ou d'ammoniaque, tout comme par les décharges violentes des orages.

Ces idées ont été corroborées par les recherches récentes, entreprises en Allemagne et en France, sur les nodosités des légumineuses. On a reconnu que lorsque ces sortes de tumeurs se développaient sur une racine, le développement de la plante était plus vigoureux ; bien plus, même dans du sable calciné, ces plantes peuvent, sous leur influence, fixer l'azote. Or, fait absolument curieux, ces nodosités sont l'œuvre de parasites, de microorganismes encore mal connus ; elles sont inoculables d'une plante à une autre, destructibles par la chaleur.

Il est facile d'expliquer maintenant l'action bienfaisante de ce que les agriculteurs appelaient les plantes améliorantes, luzerne, sainfoin, trèfle, etc., toutes de la famille des légumineuses, grâce auxquelles l'azote de l'air est fixé dans le sol.

L'azote existe encore dans l'air autrement qu'à l'état libre, mais seulement alors sous forme de traces. On y rencontre de l'ammoniaque, de l'acide nitrique, qui se trouvent entraînés par la pluie et absorbés libres ou combinés à l'état de nitrate d'ammoniaque, et dans le sol, mais pouvant aussi l'être directement.

Le grand support de l'azote est donc en réalité la terre, qui le fournit directement aux plantes. Cet azote y existe sous plusieurs formes ; l'azote nitrique, l'azote ammoniacal, et l'azote organique. Considérons successivement ces trois modalités.

#### *Azote nitrique.*

C'est la forme la plus propice à l'assimilation par les végétaux. L'acide nitrique entre en combinaison avec les alcalis du sol pour former des nitrates, surtout du nitrate de potasse et du nitrate d'ammoniaque, l'ammoniaque provenant, pour une petite part, de l'atmosphère et, pour la plus grande partie, de la décomposition des matières albuminoïdes.

Cette formation d'acide nitrique, cette nitrification, pour employer l'expression consacrée, est à rapprocher de la fixation d'azote par les nodosités des légumineuses ; il résulte en effet des recherches de MM. Schloesing et Müntz, de M. Winogradsky, qu'elle est sous la dépendance d'un ferment organisé. En

effet, la nitrification n'a plus lieu lorsqu'on a porté une terre à la température de 120°, qui tue tous les germes, et elle est seulement suspendue si on la soumet à l'action des vapeurs de chloroforme, douées de propriétés anesthésiques pour les organismes inférieurs comme pour l'homme.

Ce ferment exige, pour agir, différentes conditions, d'abord une aération et une humidité suffisantes, puis la présence d'une matière azotée et d'une base à laquelle l'acide nitrique formé puisse se combiner au fur et à mesure de sa naissance.

#### *Azote ammoniacal.*

L'azote ammoniacal s'assimile en grande partie sous forme de nitrates, ainsi que nous venons de le voir, mais, comme l'ont montré M. Müntz et Pagnoul, les sels ammoniacaux peuvent être absorbés sans aucune transformation.

#### *Azote organique.*

Cette forme constitue la plus grande partie, environ 98 % de l'azote du sol, mais cet azote a besoin d'être transformé pour être utilisé par la plante : il faut qu'il soit nitrifié, soit complètement par les microorganismes nitrifiants, soit en donnant d'abord de l'ammoniaque par putréfaction des corps qui le ferment. Cet azote n'est donc pas immédiatement assimilable ; voici, pour 1 kilogramme de deux terres très différentes, les chiffres trouvés par Boussingault pour les trois formes d'azote :

	Terre de jardin	Terre argileuse
Azote organique . . . . .	10,503	1,377
» ammoniacal . . . . .	0,148	0,009
» nitrique . . . . .	1,071	0,015

#### *Acide phosphorique.*

L'acide phosphorique existe dans toute terre cultivable ; il a une origine minérale, c'est-à-dire qu'il provient de la décompo-

sition de certaines roches. Il y existe, comme l'a montré Thénard, sous forme de phosphate de fer ou d'alumine, insoluble, et, par suite, non directement assimilable.

### *Autres éléments minéraux.*

Tous les autres éléments rencontrés dans la terre ont une origine minérale. Les plus importants sont les alcalis, comme la potasse et la chaux, existant sous deux formes, soluble et insoluble, la première facilement assimilable ; pour la potasse, ce sont les nitrates, carbonates, chlorures : pour la chaux, c'est le bicarbonate. Les autres, acides sulfurique, chlore, silice, soude, magnésie, fer, manganèse, ont une bien moindre importance ; ils n'entrent, en effet, que dans une petite proportion dans la composition de la plupart des plantes, quelquefois même, seulement à l'état de traces. Il ne faudrait pas croire cependant, que la plante peut se passer, pour croître, de leur présence ; il est facile de démontrer le contraire.

On peut le faire très simplement en reprenant l'expérience qui nous a servi à montrer le développement primitif de la plante sans autre aliment que l'eau. Nous avons vu, en effet, qu'à un certain moment, il fallait ajouter au sable calciné un liquide nutritif, ce liquide nutritif, pour être suffisant, devra contenir de l'azotate d'ammoniaque, de l'acide phosphorique, de la potasse, de la magnésie, de la chaux, de la silice, de l'oxyde de fer, et, si nous supprimons un de ces éléments, le développement de la jeune plante est moindre que si nous le fournissons.

Raulin a, dans une expérience devenue classique, magistralement fait cette démonstration pour un végétal qui, pour n'avoir pas l'importance des céréales n'en est pas moins intéressant, car il a servi de base à nombre d'expériences de laboratoire, c'est une moisissure, l'*Aspergillus niger*, qui pousse très facilement sur du pain mouillé de vinaigre, sur les tranches de citron, en général sur les fruits et les liqueurs acides, même spontanément, lorsqu'on abandonne ces milieux à l'air libre, comme chacun a pu l'observer dans la vie courante. Raulin est arrivé à obtenir, dans un milieu artificiel ne renfermant que du sucre et des sels minéraux parfaitement purs, des récoltes plus abondantes que

celles que fournirait, dans les mêmes conditions, le milieu organique le mieux approprié.

Le liquide artificiel de Raulin doit avoir la composition suivante :

Eau. . . . .	1500 grammes
Sucre candi . . . . .	70 —
Acide tartrique . . . . .	4 —
Nitrate d'ammoniaque . . . . .	4 —
Phosphate . . . . .	0,60
Carbonate de potasse . . . . .	0,60
— de magnésie . . . . .	0,40
Sulfate d'ammoniaque . . . . .	0,25
— de zinc . . . . .	0,07
— de fer. . . . .	0,07
Silicate de potasse . . . . .	0,07

Ce qui correspond aux quantités suivantes des corps nutritifs dont nous avons fait l'étude :

Eau. . . . .	1500 grammes
Sucre candi . . . . .	70 —
Acide tartrique . . . . .	10 —
Ammoniaque . . . . .	2 —
Acide phosphorique . . . . .	0,40
— sulfurique . . . . .	0,25
— silicique . . . . .	0,03
Potasse . . . . .	0,40
Magnésie . . . . .	0,20
Oxyde de zinc . . . . .	0,04
— de fer . . . . .	0,03

ce qui donne, avec l'oxygène de l'air mis en œuvre pendant toute l'activité végétative, un total de 12 éléments chimiques, nécessaires, comme nous allons le voir, à la nutrition complète de la plante.

Si on sème sur ce liquide, distribué dans des ballons à fond plat, des spores d'aspergillus, et qu'on les mette dans une enceinte ayant une température voisine de 36°, elles ne tardent pas à se développer ; au bout de 24 à 48 heures, on voit à la surface du liquide une membrane continue, d'aspect blanchâtre, qui s'épaissit peu à peu, devient jaunâtre, puis brun foncé, enfin, tout à fait noire. On peut recueillir ainsi, pour 1.500 grammes de liquide nutritif, environ 25 grammes de moisissure, et c'est là le maxi-

mun qu'on puisse atteindre, car il n'y a aucune substance, même de celles sur lesquelles l'aspergillus se développe spontanément qui, ajoutée au liquide de Raulin, soit susceptible d'augmenter le rendement.

Comme nous sommes maintenant sûrs d'avoir atteint son maximum, nous pouvons facilement étudier l'influence qu'exerce sur lui chacun des éléments constitutants du liquide nutritif, en les retranchant, à tour de rôle. La suppression de la potasse, par exemple, abaisse le poids de plante formé à 1 gramme ; on peut donc exprimer son utilité par le chiffre 25 (1/25) ; les autres éléments donnent, dans les mêmes conditions, les chiffres suivants :

Ammoniaque. . . . .	153 grammes
Acide phosphorique. . . . .	182 —
Magnésie. . . . .	91 —
Potasse . . . . .	25 —
Acide sulfurique . . . . .	25 —
Oxyde de zinc . . . . .	10 —
— de fer. . . . .	2,7
Silice. . . . .	1,4

Nous pouvons déjà, par l'examen de ces chiffres, voir l'énorme influence exercée par les corps principaux que nous savons utiles à la nutrition des végétaux en général, l'ammoniaque, l'acide phosphorique, la potasse et la magnésie ; nous entrevoyons même le rôle que peut jouer un élément d'une rareté relative, comme le zinc. Mais nous arrivons à des résultats bien plus curieux si nous tenons compte des proportions relatives des divers matériaux nutritifs : la quantité d'oxyde de zinc, par exemple, qui fait baisser la récolte de 25 grammes à 2<sup>es</sup>,5, n'est que de 0<sup>es</sup>,04, renfermant seulement 0<sup>es</sup>,032 de zinc ; l'action de cette faible quantité de métal suffit donc à produire une plus-value de 22<sup>es</sup>,5 dans la récolte, c'est-à-dire d'un poids de plante 700 fois supérieur au sien ; dans une expérience même, M. Raulin a trouvé le nombre 953 ; étudiant pareillement les nombres maxima pour chaque corps de son liquide nutritif, il a donné pour leur *utilité spécifique* les chiffres suivants :

Azote (de l'ammoniaque) . . . . .	17 grammes
Potassium (de la potasse) . . . . .	64 —
Phosphore (de l'acide phosphorique) . . . . .	157 —



Magnésium (de la magnésie) . . . . .	200	—
Soufre (de l'acide sulfurique) . . . . .	346	—
Zinc (de l'oxyde de zinc) . . . . .	953	—
Fer (de l'oxyde de fer) . . . . .	857	—
Silicium (de la silice) . . . . .	320	—

Ainsi, la croissance d'un être vivant peut dépendre de proportions infinitésimales d'un élément utile. Parallèlement, et quoique cela ne rentre pas directement dans notre sujet, nous pouvons nous demander si certains corps n'ont pas une activité comparable, mais dans un sens contraire ; M. Raulin l'a démontré et il a trouvé ce résultat remarquable qu'il suffit de 1/1.600.000 de nitrate d'argent, de 1/500.000 de sublimé corrosif, de 1/8.000 de bichlorure de platine, de 1/240 de sulfate de cuivre, pour empêcher la formation des spores de l'aspergillus, des doses un peu plus élevées entravant absolument le développement de cette mucédinée. Ces corps sont donc des poisons, ou, dans le cas particulier des microorganismes, ce qu'on est convenu d'appeler des antiseptiques.

Les quelques pages qui précèdent suffisent à montrer que chaque végétal a besoin, pour se développer au maximum, de trouver, en proportions déterminées, un certain nombre de substances nutritives et aussi, d'être préservé de la présence de corps toxiques. Il serait à souhaiter que nous puissions, pour chaque plante, répéter l'étude de M. Raulin sur l'aspergillus niger.

Il n'en est malheureusement pas ainsi, car les végétaux supérieurs ne peuvent fructifier comme une moisissure dans un petit ballon chauffé dans une étuve. L'étude est beaucoup plus complexe et nous sommes bien loin encore d'avoir atteint cet idéal : la chimie agricole a encore fort à faire avant d'y arriver, mais chaque jour des acquisitions nouvelles contribuent à l'avancement de cette science, dont la connaissance est devenue indispensable pour la direction des grandes exploitations rurales. Ce n'est d'ailleurs pas le but que nous nous sommes proposé en écrivant cet ouvrage ; mais les notions précédentes étaient utiles à exposer pour faciliter la suite de notre étude.

Avant d'entrer dans le cœur de celle-ci, il nous reste à dire quelques mots sur les conditions qui rendent un sol fertile : il ne suffit pas en effet qu'il renferme, en proportion voulue les corps que nous avons passés en revue ; il est en outre des conditions

physiques primordiales, de sorte que, si celles-ci ne sont pas remplies, l'addition d'engrais peut remédier à la stérilité, dans quelques proportions qu'on les additionne.

M. Pagnoul donne, pour la composition normale d'une terre arable, les chiffres suivants :

	Pour 100	Par hectare
Azote . . . . .	0,100	4000 kilogrammes
Acide phosphorique . . . . .	0,100	4000 —
Potasse . . . . .	0,250	10000 —
Chaux . . . . .	5,000	200000 —

Si la composition du sol pèche par défaut d'un de ces corps, il est facile d'y remédier au moyen des amendements et des engrais ; mais, d'autres fois, le mal réside en un excès d'un ou de plusieurs éléments, il n'est pas possible d'améliorer le sol, et la culture est plus ou moins improductive. On jugera des différences profondes qui peuvent exister entre certains sols par le tableau suivant, que nous empruntons à l'ouvrage de M. Larbalétrier.

	Sols		
	argileux	tourbeux	de Californie
Matière organique et eau . . . . .	7,94	49,07	3,19
Oxyde de fer . . . . .	10,95	10,88	9,02
Alumine . . . . .			
Acide phosphorique . . . . .	0,10	0,06	0,19
— sulfurique . . . . .	0,30	1,04	traces
Carbonate de chaux . . . . .	0,86	2,29	2,58
Magnésie . . . . .	0,26	0,75	1,50
Potasse . . . . .	0,39	0,90	0,81
Soude . . . . .			0,58
Nitrate de potasse . . . . .	»	»	0,17
Chlorure de sodium . . . . .	»	»	0,04
Silice . . . . .	»	»	»
Matière siliceuse insoluble . . . . .	79,20	35,81	81,92

Les conditions physiques principales qui interviennent pour rendre un sol plus ou moins fertile sont: l'épaisseur de la couche arable, car les plantes ne puisent pas seulement leurs aliments dans la couche superficielle, mais souvent à une grande profon-

deur ; le pouvoir absorbant du sol, ou plutôt pouvoir fixateur des éléments tels qu'acide phosphorique, phosphates, sels de potasse, etc., qui est sous la dépendance d'affinités chimiques ; enfin, le climat, particulièrement en ce qui concerne le régime des eaux.

Nous avons déjà dit qu'un sol dans lequel on cultivait pendant un certain temps la même plante s'épuisait rapidement, et qu'on pouvait remédier à cet appauvrissement par la variété des cultures ; nous reviendrons plus loin sur ce dernier point. Dans le premier cas, il faut rendre à la terre les éléments qu'on lui a enlevés et dans la proportion nécessaire pour une nouvelle culture : c'est ce qu'on appelle la restitution.

Celle-ci peut n'être pas intégrale par l'azote, car nous savons que ce corps peut être fixé spontanément par l'intervention des ferments divers. Malheureusement, la restitution est mathématiquement impossible ; nous avons vu en effet que les végétaux puisaient leurs aliments à une assez grande profondeur ; or, il n'est possible d'apporter d'améliorations qu'à la couche labourable ; une petite quantité des engrais seulement émigre dans la profondeur, et il faudrait des bouleversements considérables pour atteindre le résultat cherché : les frais de main-d'œuvre supprimeraient alors le profit de ces manœuvres.

Les pages suivantes seront consacrées à l'étude des divers moyens d'enrichissement du sol utilisé, à l'heure actuelle, les amendements, d'abord, puis la longue série des engrais, engrais animaux, engrais végétaux, engrais mixtes, enfin, engrais minéraux ou engrais chimiques.

---

## CHAPITRE III

---

### Des amendements.

---

On désigne ainsi les substances destinées à rendre assimilables par les végétaux les principes contenus dans la terre arabe, qui dans les conditions normales y restent sans être utilisés. Nous étudierons donc toutes les pratiques agricoles ayant pour but de favoriser cette assimilation, c'est-à-dire l'emploi des matières calcaires, chaux, marne, tangué, plâtre, etc., la jachère, l'écobuage et les irrigations.

Certaines de ces pratiques sont très anciennes, comme l'usage des amendements calcaires, la jachère, l'écobuage, les irrigations; d'autres sont plus modernes, par exemple le chaulage qui ne remonte guère qu'au XVII<sup>e</sup> siècle.

#### 1. *Marnes.*

On appelle marne une variété de calcaire qui a la propriété de se déliter dans l'eau et à l'air, particulièrement sous l'influence de la gelée. Pour être utilisée comme marne, une pierre calcaire doit donc se déliter plus ou moins complètement dans l'eau; sinon, elle ne peut l'être qu'après cuisson.

Il existe plusieurs variétés de marne :

1<sup>o</sup> Les *marnes calcaires*, renfermant au moins 50 et au plus 90 à 95 % de carbonate de chaux : le reste est de l'argile ou un mélange d'argile et de sable; cette variété est surtout utile pour les terres totalement dépourvues de carbonate de chaux;

2<sup>o</sup> Les *marnes argileuses*, contenant de 10 à 50 % de calcaire, de 50 à 75 % d'argile, le reste formé de sable; on les emploie pour les terres légères, surtout siliceuses;

3° Les *marnes siliceuses*, 10 à 50 % de calcaire, 25 à 75 % de sable, l'argile servant de support;

4° Les *marnes magnésiennes*, renfermant 5 à 30 % de carbonate de magnésie, dont l'action est encore mal connue;

5° Enfin, les *marnes gypseuses*, dont l'action se rapproche du plâtrage.

Le tableau suivant, dressé par M. Pouriau, donne les propriétés et les caractères de ces diverses variétés :

Variétés	Caractères physiques et chimiques
Marnes calcaires . .	Blanches, vive effervescence avec les acides, adhèrent légèrement à la langue. Avec l'eau, formant une pâte courte qui tombe en poussière en se desséchant.
Marnes argileuses . .	Effervescence moins vive, happent à la langue. Avec l'eau, pâte liante et dure après dessiccation.
Marnes siliceuses . .	Friables, donnent avec l'eau une pâte dépourvue de liant et s'écrasant sous la plus faible pression après dessiccation.
Marnes magnésiennes.	Marnes assez rares, jouissant sensiblement des mêmes propriétés que les marnes calcaires.
Marnes gypseuses . .	Marnes rares, sauf dans le terrain parisien. Avec le chlorure de baryum, elles donnent un précipité blanc.

### Marnage.

Pour marnier un champ, on y dispose la marne en petit amas ou *marnons*, espacés de 5 à 6 mètres, en quinconce. Cette opération doit être faite à l'automne; dans ces conditions, elle subit l'action des gelées pendant tout l'hiver, se délite et se pulvérise. En février ou mars, on la répartit uniformément à la surface du sol et on laboure pour l'incorporer à celui-ci.

La quantité de marne à employer dépend, d'abord, de sa qualité, puis de la richesse du sol en carbonate de chaux et de la profondeur de la couche arable. On peut calculer au moyen de la formule suivante, donnée par M. Larbalétrier :

$$x = \frac{1000 \cdot P \cdot (C' - C)}{Q}$$

dans laquelle P représente, en centimètres, la profondeur du labour; C, la teneur du sol en calcaire pulvérulent; C', la teneur à laquelle on veut l'amener par le marnage; et Q, la teneur de la marne en calcaire délitable.

La marne a plusieurs actions : en premier lieu, elle agit par la chaux qu'elle apporte : nous verrons plus loin quel en est l'effet; en outre, elle solubilise les matières organiques et favorise la nitrification de l'azote organique du sol; elle abrège donc l'action des engrais, qu'il faut renouveler rapidement après les marnages. Elle donne enfin lieu à la production des sels solubles de chaux directement assimilés par les plantes (bicarbonate : de Gasparin; silicate : Bidard).

L'influence mécanique de la marne n'est pas moins manifeste que son action chimique; ainsi, une marne calcaire ou siliceuse s'oppose, pendant les chaleurs, au fendillement d'une terre argileuse, et à la séparation de l'eau des parcelles terreuses; dans un sol siliceux, au contraire, elle favorise l'absorption et la rétention de l'eau.

## 2. Chaux.

La chaux résulte de la calcination, dans des fours spéciaux, du carbonate de chaux naturel; le produit obtenu est appelé chaux vive : abandonnée à l'air humide ou arrosée d'eau, celle-ci se délite et se transforme en une poudre qui est de la chaux hydratée, ou chaux éteinte, ou encore farine de chaux.

Il y a plusieurs variétés de chaux :

1° La *chaux grasse*, qui, au contact de l'eau, se boursouffle énergiquement en dégageant une quantité de chaleur considérable; elle provient de calcaires très purs;

2° La *chaux maigre*, qui augmente peu de volume, et résulte de la calcination de calcaires renfermant une assez grande proportion de sable;

3° La *chaux hydraulique*, qui durcit au contact de l'eau, et est fournie par des calcaires contenant une certaine quantité d'argile;

4° Enfin, la *chaux magnésifère*, plus rare, presque aussi active que la chaux grasse.

Il est facile d'identifier ces diverses variétés en les traitant par l'acide chlorhydrique étendu, qui dissout la chaux, et en examinant le résidu.

*Chaulage.* — deux procédés peuvent être employés pour le chaulage d'une terre :

1° Opérer comme pour le marnage, en disposant la chaux en tas et la laissant déliter, mais en recouvrant chaque tas d'une petite quantité de terre qu'on mélange à la chaux une fois qu'elle est délayée, pour répandre le mélange et l'enfourir ;

2° Suivant M. Heuzé, il est préférable de disposer la terre rejetée par la charrue en forme de prisme triangulaire, de creuser au sommet et sur toute la longueur une rigole où l'on répartit la chaux, que l'on couvre de 15 à 20 centimètres de terre ; quelques jours après, on les mélange, on reforme le prisme et on renouvelle cette opération une deuxième fois.

Il faut employer une quantité de chaux variable avec les terrains ; en général, on a intérêt à ne pas trop chauler et à refaire le chaulage plus souvent pour les terres légères et riches ; il faut faire le contraire pour les terres argileuses et compactes. la moyenne habituellement usitée en France est de 5 à 6 hectolitres, soit 4 à 500 kilogrammes de chaux par hectare et par an.

L'époque la plus favorable pour le chaulage est l'automne ou le commencement de l'hiver.

Les effets du chaulage sont complexes ; ils ne consistent pas simplement à fournir aux plantes la chaux qui leur est nécessaire ; la preuve en est qu'il est quelquefois avantageux de chauler des terres dans lesquelles il existe une quantité de chaux suffisante pour subvenir aux besoins des plantes pendant de longues années.

Il paraît vraisemblable que la chaux modifie profondément les terres fortes, qui forment facilement avec l'eau des masses plastiques, imperméables retenant les liquides : au contraire, elle exercerait une influence fâcheuse sur les terres légères, et on doit la proscrire.

Boussingault a démontré que l'addition de la chaux provoque la formation de l'ammoniaque aux dépens des matières azotées du sol ; si, en effet, on mélange de la terre qui n'est que médiocrement humide à de la chaux vive, qu'on introduise le mélange

dans un petit ballon fermé par un bouchon muni d'un tube de dégagement, on peut constater qu'au bout de quelques instants un papier de tournesol est bleui à l'orifice de celui-ci. Mais les quantités d'ammoniaque formées sont très petites.

La nitrification n'ayant lieu que dans un milieu très légèrement alcalin, l'introduction de la chaux dans une terre où l'abondance des matières organiques tend à donner une réaction acide, est très favorable : à mesure que l'acide nitrique se forme, il est saturé par la chaux.

En outre, la chaux donne avec les matières noires du fumier, les composés ulmiques, une dissolution qui favorise le premier développement de la plante, et lui assure au moment où elle est la plus délicate une vigueur très favorable à son développement ultérieur.

Ainsi, le chaulage ne dispense pas des fumeries ; au contraire, comme après le marnage, celles-ci doivent être plus fréquentes, pour ne pas appauvrir le sol.

Nous savons que la plus grande partie de l'acide phosphorique du sol est à l'état de phosphate de fer ou d'alumine, insolubles ; ces sels sont en partie ramenés à l'état de phosphates de protoxyde, par les carbonates, à condition que ceux-ci soient employés en excès. S'il n'y en a pas un excès, le phénomène inverse se produit, d'où l'utilité des poids considérables de chaux qu'il faut employer.

Les phosphates de protoxyde ainsi produits sont solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique et, par suite, assimilables.

Certains végétaux de grande culture, les légumineuses, par exemple, bénéficient à un si haut degré de la présence du calcaire qu'il suffit de chauler des prairies où la chaux faisait défaut pour que le trèfle y apparaisse spontanément, les graines apportées par le vent y prospérant dès que le terrain leur est devenu favorable. Il en est de même pour les prairies humides ; ainsi, M. Dehérain a plus que doublé le rendement des prairies de l'Avre en les amendant avec de la chaux ou du plâtre additionné d'une faible dose de nitrate de soude.

### 3. *Tangue. Faluns.*

La tangue, cendre de mer ou charrée blanche, est une sorte

de sable gris ou blanc jaunâtre que l'on trouve dans les baies de la basse Normandie ou de la basse Bretagne. On la recueille par dragage.

Sa composition est variable suivant le lieu d'origine ; on peut s'en rendre compte par le tableau suivant, donné par M. Is. Pierre :

Tangue desséchée à 100°	Lieux d'origine			
	Anse de Moindrey	Saint-Malo	Marc de Montmartin	Brévard
Matières combustibles et volatiles . . . . .	2,96	6,90	7,27	2,83
Chlore . . . . .	0,74	0,55	0,27	0,01
Acide sulfurique . . . . .	0,34	0,66	0,07	traces
— phosphorique . . . . .	1,38	0,57	0,72	0,10
Silice soluble . . . . .	2,25	0,51	traces	»
Carbonate de chaux . . . . .	39,25	25,23	45,45	23,94
Magnésie . . . . .	0,19	0,87	0,19	0,38
Alumine et oxyde de fer . . . . .	1,33	0,30	0,35	0,37
Matières insolubles . . . . .	50,43	63,05	45,26	72,37
Soude et potasse solubles . . . . .	1,01	1,06	0,32	traces
Perte . . . . .	0,12	0,30	0,10	»
Tangue prise au moment de l'extraction	100,00	100,00	100,00	100,00
Eau interposée % . . . . .	0,85	2,38	2,33	»
Azote ‰ . . . . .	1,11	1,58	1,52	0,30

Elle est formée de débris de coquilles, renferme une certaine quantité d'azote, et s'emploie, soit seule, soit mélangée à du fumier, des balayures, etc., en en formant des composts, que l'on utilise au bout d'un mois environ. On en répand 6 à 16 mètres cubes par hectare pour les bonnes qualités et jusqu'à 100 mètres cubes pour les qualités inférieures, de sorte que le sol finit par présenter l'aspect des tanguières.

La tangue doit être souvent renouvelée.

L'élément le plus important de la tangue est le calcaire, c'est donc un véritable amendement ; mais elle a une action fertilisante spéciale due probablement aux matières organiques et à l'acide phosphorique qu'elle renferme. Sous le rapport de la

*Culture comparée du trèfle blanc sur un sol plâtré et non plâtré.*

Numéros des expériences	Remarques	Fanes par hectare	Grain par hectare	Poids de la récolte totale	Rapport de la fane à la graine
No 1 . . .	A. Plâtré . . . . .	2429 kilogr.	347 kilogr.	2776 kilogr.	100 : 14,3
	A. Non plâtré. . . . .	915 »	61 »	976 »	100 : 6,7
	Différence. . . . .	1514 kilogr.	286 kilogr.	1800 »	
No 2 . . .	B. Plâtré . . . . .	2476 kilogr.	190 kilogr.	2686 kilogr.	100 : 7,6
	B. Non plâtré. . . . .	1525 »	67 »	1522 »	100 : 7
	Différence. . . . .	951 kilogr.	123 kilogr.	1074 kilogr.	

*Culture comparée du sainfoin et du trèfle plâtré et non plâtré.*

Nature de la terre	Plantes	Plâtre par hectare	Récolle sèche sur les parcelles plâtrées par hectare	Récolle sèche sur les parcelles non plâtrées par hectare	Excès de la récolle plâtrée sur la récolle non plâtrée	Valeur en argent de l'excès de fourrage	Prix du piâtre	Gain
Légère, sèche exposée au midi, 2 à 3 décimèt. de profondeur sur craie.	Sainfoin	800 kg.	3500 kg.	2200	1300 kg.	52 fr.	20 fr.	32 fr.
		300	4000	2000	2000	80	7,5	72,50
		600	3300	2100	1200	48	15	33
Forte, argileuse, humide, 5 décimètre de profondeur sur glaise.	Trèfle	500 kg.	5000	2500	2500	100	12,50	87,50
		700	4000	2400	1600	64	17,50	46,50

manière dont elle se comporte, on la distingue sous les noms de tangué maigre et de tangué grasse.

Les faluns sont des dépôts marins analogues à la tangué ; ils renferment environ 68 à 75 % de calcaire, 25 de sable, des sels solubles, des matières organiques ; on les emploie dans la proportion de 10 à 16 mètres cubes par hectare.

#### 4. Résidus calcaires divers.

L'industrie fournit à l'agriculture un certain nombre de résidus contenant de la chaux. Ce sont :

1° Les *écumes de défécation*, résidu de la clarification des jus de betterave, contenant 4 à 5 millièmes d'azote, 1,5 à 3 de phosphate de chaux et 40 centièmes environ de carbonate de chaux. Les résultats obtenus sont excellents ;

2° La *chaux d'épuration du gaz*, qu'on ne peut utiliser qu'après une exposition à l'air assez prolongée pour que les cyanures qu'elles contiennent, corps toxiques, se décomposent et disparaissent ;

3° Les *résidus de papeterie*, contenant environ 30 à 40 centièmes de carbonate de chaux.

#### 5. Plâtre.

Le plâtre est d'un usage relativement récent comme amendement, car il n'y a guère plus d'un siècle qu'on l'emploie à cet effet. Les expériences faites sous ce rapport furent de suite concluantes ; nous citerons les résultats obtenus par M. Smith, en 1794, sur le trèfle blanc et par M. de Villèle ; sur le sainfoin et le trèfle.

Mais il n'en est pas toujours ainsi, et il est des terres sur lesquelles l'effet du plâtre n'est pas sensible.

*Plâtrage.* — On peut employer pour le plâtrage, soit le plâtre crû, c'est-à-dire la pierre à plâtre, le gypse, tel qu'on le recueille dans les carrières, c'est du sulfate de chaux hydraté ; soit le plâtre cuit, ou sulfate de chaux anhydre, plâtre des constructeurs ;

on peut encore employer l'anhydrite, sulfate de chaux anhydre naturel, et même les plâtres de démolitions ; ces derniers ont l'avantage de contenir, outre le sulfate de chaux, des nitrates, des carbonates et des chlorures alcalins ; M. Is. Pierre donne, à cet effet, pour la composition des sels solubles qu'on peut en retirer par lessivage les nombres suivants :

Nitrate et chlorure de potassium. . . . .	10
— de chaux et de magnésie. . . . .	70
Chlorure de sodium. . . . .	15
Chlorures de calcium et de magnésium. . . . .	5
	<hr/>
	100

Dans tous les cas, il doit être réduit à l'état de farine.

L'époque la plus propice pour son emploi est le printemps, alors que les feuilles sont jeunes, on doit préférer un temps humide, par exemple, le matin ou le soir : la dose nécessaire est de 4 à 500 kilogrammes par hectare.

Le plâtre, dit M. Dehérain, réussit sur les légumineuses et n'exerce aucune action sur les céréales, Boussingault a montré que les plantes ne l'absorbaient pas en nature. Il ne semble pas provoquer la formation de l'ammoniaque ni favoriser la nitrification, ce qui cadre bien avec ce fait qu'il n'a aucune influence sur la croissance des céréales, très sensibles aux engrais azotés.

Le plâtre favorise la diffusion de la potasse dans la terre arable ; il la fait passer des couches superficielles où elle est habituellement retenue, dans les couches profondes où s'enfoncent les racines des légumineuses. Ceci a été démontré par les expériences de MM. Dehérain et Arnoul, qui permettent aussi de concevoir que le plâtre peut être remplacé par d'autres sulfates ; c'est ce qu'ont pu vérifier certains agronomes, au moyen de mélanges de sulfate de magnésium et de sulfate de potasse. Mais le plâtre ne crée pas la potasse, il ne fait que mobiliser celle que renferme le sol : aussi aura-t-on un effet plus marqué en l'ajoutant à cette substance.

MM. Lawes et Gilbert ont vérifié ces vues pour le trèfle rouge ; pendant quatre années, l'hectare a donné, sans engrais, une quantité totale de foin dépassant 35.200 kilogrammes, soit 8.800 kilogrammes environ par année moyenne ; avec du plâtre

le même sol a donné 47.500 kilogrammes, soit par an près de 12.000 kilogrammes; enfin, avec un mélange de sulfates de potasse, de soude et de magnésie, la récolte est montée à plus de 55.000 kilogrammes, et, par suite, la moyenne annuelle à 13.850 kilogrammes.

En outre, les sulfates sont réduits dans la terre arable et les bases amenées à l'état de carbonates; ceci est particulièrement accentué si le sol est riche en matières organiques. Il y a donc là pour la potasse une sorte de cycle : elle est, dans les couches superficielles, à l'état de carbonates, se transforme en sulfate sous l'influence du plâtre, mais ceux-ci sont réduits, repassent à l'état de carbonates, qui se trouvent ainsi transportés aux points mêmes où pénètrent les racines pivotantes des légumineuses.

Enfin, le plâtre agit sur l'assimilation des matières ulmiques; celles-ci insolubles dans l'eau pure, sont solubles dans l'eau chargée de carbonate de potasse; et cette action ne peut avoir lieu dans les couches superficielles, où la potasse est pressée momentanément à l'état de sulfates, mais bien dans la profondeur, là où la plante puise ses matériaux nutritifs.

### 6. *Jachère.*

On dit qu'une terre est en jachère quand on ne la cultive point afin de la laisser s'enrichir des principes fertilisants. C'est une très vieille pratique, un peu abandonnée aujourd'hui, et dont nous allons chercher à expliquer le mécanisme. On cultivait, en général, deux années des céréales, puis on laissait le sol un an en jachère; plus tard, on remplaça celle-ci par une année de trèfle, c'est ce que l'on désigna sous le nom impropre de jachère cultivée.

La jachère a pour premier avantage de permettre de labourer aux époques où la terre se prête bien à travail, ce qui ne peut se faire lorsque les récoltes se succèdent trop rapidement. Elle permet la destruction des plantes adventices qui, dans une culture continue finissent par y étouffer la céréale cultivée.

Il semblerait qu'un sol abandonné ainsi dût gagner assez d'azote pour compenser l'absence de culture pendant toute une année; or, si le sol s'enrichit, d'une part, d'une petite quantité d'am-

moniaque ou d'acide azotique de l'eau de pluie, d'une notable quantité d'azote libre, fixé par les microorganismes, il subit des pertes considérables par la nitrification et par l'entraînement dans les eaux de drainage; on peut éviter celle-ci, au moins en partie, en semant à l'automne une plante à évolution rapide qui les retient. Reste à savoir de quel côté panche la balance; cela dépend de la nature des terrains. Ainsi, la jachère et très mauvaise pour les sols soumis à la culture intensive; il n'en est plus ainsi pour les terres pauvres, maigres, peu fumées qui s'enrichissent peut être lorsqu'on les laisse en jachère.

### 7. *Ecobuage.*

L'écobuage est une opération qui a pour but de modifier les propriétés physiques de la terre arable par l'action d'une température élevée et, en même temps, de débarrasser le sol des végétaux qu'il porte ou des débris qu'ils y ont laissés. Elle était connue des Grecs et des Romains et se pratique fréquemment dans les pays chauds.

Pour la réaliser, on découpe le sol en plaquettes avec une sorte de bêche légèrement recourbée, plus large au tranchant qu'à la douille et nommée *écobue* ou *étrépe*, on fait ainsi des tranches d'environ 4 centimètres d'épaisseur, que l'on dresse les unes contre les autres, la surface engazonnée extérieurement; elles se dessèchent ainsi peu à peu: au bout de trois à quatre semaines, on les dispose en forme de pain de sucre, la partie herbacée à l'intérieur, formant ainsi des sortes de cheminées qu'on remplit de menu bois et de paille. On allume celui-ci, les parties végétales sèches brûlent, et on doit veiller à ce que la combustion ne se fasse que très lentement; en même temps, l'argile se durcit. On réunit alors les cendres en tas et on les répand sur le sol, que l'on laboure pour bien incorporer.

Par cette opération, l'argile a acquis les propriétés du sable; elle est cassante, se pulvérise facilement, se laisse bien traverser par l'eau; on peut donc amener des terres argileuses, à partager les propriétés du sable, et faire prédominer l'action dissolvante de l'eau aux propriétés absorbantes du sous-sol: on supplée ainsi à l'abondance des engrais en facilitant la dissolution de

leurs principes solubles. Mais il faut, pour cela, que la combustion ne soit pas poussée trop loin, car, ainsi que l'a montré M. Woelcher, c'est la température qui règle la solubilité des principes utiles; c'est ce que montrent les chiffres suivants :

	Rapport entre	
	la matière minérale soluble	la matière minérale insoluble
Argile naturelle. . . . .	6,740	84,100
— légèrement brûlée . . . . .	10,580	80,260
— brûlée plus fortement . . . . .	8,955	81,845
— trop brûlée . . . . .	5,391	85,309

### 8. Limonage.

C'est un amendement praticable pour les terrains voisins des cours d'eau : il consiste à faire déborder les rivières qui y déposent leurs alluvions. Ceux-ci ont une composition variable, qui leur donne leur caractère, suivant que la silice ou l'argile prédomine; on en jugera par le tableau suivant, donné par M. Hervé Mangon.

	Durance	Vienne	Loire	Var	Marne	Seine
Résidu argilo-siliceux . . . . .	49,69	60,01	67,76	42,74	35,34	23,82
Alumine et peroxyde de fer . . . . .	4,97	14,51	10,57	6,08	8,84	10,03
Carbonate de chaux . . . . .	4,89	2,61	3,13	38,34	25,85	22,75
Eau combinée et produits non dosés. . . . .	5,94	17,47	14,26	12,46	29,34	44,07
Azote . . . . .	0,09	0,52	0,39	0,19	0,64	0,60
Carbone . . . . .	0,54	4,87	3,89	»	»	»

Nous n'entrerons pas dans les détails d'exécution du limonage; ce sujet n'entre pas dans le cadre de cet ouvrage. On a pu, grâce à cette pratique, rendre fertiles des terrains sablonneux, presque incultes.

### 9. *Drainage. Irrigation.*

Nous serons très brefs également sur ce sujet. Par le drainage, on se propose de faciliter, dans les terrains trop humides, l'écoulement des eaux ; il a, en outre, pour effet d'aérer plus complètement le sol, ce qui facilite la décomposition des engrais, et d'en élever la température. Il s'en suit une augmentation du rendement et de la qualité. L'irrigation, au contraire, a pour but de fournir au sol l'eau qui lui manque, eau qui est indispensable pour la solubilisation des engrais ; elle n'est pas toujours facile à pratiquer ; souvent, même, les frais qu'elle entraîne sont plus élevés que le gain qui en résulte, et le cultivateur se voit forcé de les réduire dans des larges proportions.

---

## CHAPITRE IV

---

### Engrais végétaux.

---

L'étude des engrais végétaux comprend plusieurs subdivisions :

- 1° Les résidus des récoltes ;
- 2° Les plantes cultivées comme engrais, ou engrais verts ;
- 3° Les plantes récoltées comme engrais, plantes marines ;
- 4° Les résidus des diverses industries.

#### 1. *Résidus des récoltes.*

Ces résidus sont variables suivant la nature des plantes cultivées.

*Résidus des céréales.* — Après la moisson, il reste des céréales les racines et les chaumes. Les racines, seules, représentent, en moyenne, 500 kilogrammes par hectare ; or, d'après MM. Dehérain et Nautier, on trouve 0,6 % d'azote, pour l'avoine, 0,4 % d'azote et 0,4 % d'acide phosphorique pour le blé ; en tenant compte de l'humidité, cela fait 28 kilogrammes d'azote par hectare pour l'avoine, et, pour le blé, 18 kilogrammes d'azote et 5 kilogrammes d'acide phosphorique. D'autre part, MM. Müntz et Girard estiment les déchets des feuilles à 1.700 kilogrammes par hectare ; il faut y joindre, enfin, les chaumes et les grains perdus. Aussi peut-on évaluer les résidus des céréales à environ 30 kilogrammes d'azote et 10 d'acide phosphorique par hectare ; cela ne suffit pas à compenser les pertes spontanées, et l'on peut considérer la culture des céréales comme épuisante.

*Résidus des légumineuses.* — Il n'en est pas de même des légumineuses; Boussingault évalue le résidu sec par hectare de trèfle à 1,547 kilogrammes, renfermant 27 kg.7 d'azote; si on y joint la seconde coupe, on obtient un total de 4.107 kilogrammes, soit 70 kilogrammes d'azote.

M. de Gasparin a fait le même calcul pour la luzerne et a trouvé, pour les débris et les racines, 37.021 kilogrammes, représentant 296 kilogrammes d'azote.

On comprend donc bien quel rôle jouent les légumineuses, justement appelées plantes améliorantes. Une expérience de MM. Lawes et Gilbert le démontre d'une façon saisissante.

Ils ensemencèrent la moitié d'un sol en orge et l'autre moitié en trèfle blanc; la récolte de trèfle donna 169 kg.5 d'azote, celle d'orge 41 kg.7. L'an d'après, le champ entier fut ensemencé d'orge, mais la récolte contenait 77 kg.,7 d'azote sur la moitié qui avait eu du trèfle, tandis qu'elle n'en renfermait sur l'autre que 43 kg.8. Cette différence est due à l'accroissement de la richesse en azote du sol, qui en contenait 400 kilogrammes de plus sur la partie cultivée en luzerne.

*Résidus de betteraves, pommes de terre, etc.* — Les résidus de betteraves sont les feuilles adhérentes, les collets et l'extrémité, séparées de la racine avant son transport à l'usine. On jugera de leur valeur d'après les chiffres suivants donnés par M. Pagnoul pour un hectare :

Engrais employés	Poids des feuilles		Azote total	Acide phosphorique	Carbonates alcalins	Chlorure alcalins
	normales	sèches				
Nitrate de soude . . . . . kil.	24000	2844	84	13	331	51
Sulfate d'ammoniaque . . . . .	28100	2984	92	22	277	86
Tourteau . . . . .	23300	4329	112	28	356	75

Les autres racines et tubercules donnent, d'après MM. Muntz et Girard, les résidus suivants :

	Betteraves		Carottes	Navet	Pommes de terre	Topi- nam- bour
	fourra- gères	à sucre				
Azote . . . . . kil.	60	36	51	45	20,6	53,2
Acide phosphorique . . . .	16	15,6	21	19,5	4,2	8,5
Potasse . . . . .	86	48	37	48	12,6	14,5
Chaux . . . . .	34	43,2	86	67,5	21,1	20,3

ce qui représente, pour la betterave fourragère, par exemple, 12.000 kilogrammes de fumier.

*Feuilles sèches. Plantes diverses.* — Les feuilles sèches ou mortes sont quelquefois employées comme engrais ; elles sont assez riches en sels minéraux, mais contiennent peu d'azote :

Feuilles de hêtre.	
Acide phosphorique . . . . .	4,182
Chaux . . . . .	16,604
Potasse . . . . .	11,562
Silice . . . . .	36,600

Il en est de même des fougères, des bruyères, des genêts, qu'a analysés M. Petermann :

	Fougère	Bruyère	Genêt
Eau . . . . .	15	13	12,50
Matières organiques . . . .	75,75	85,06	84,79
Azote . . . . .	2,38	0,80	2,54
Acide phosphorique . . . . .	0,33	0,03	0,30
Potasse . . . . .	2,75	0,37	0,90
Chaux . . . . .	0,84	0,23	0,40

2. *Plantes cultivées comme engrais verts.* — La culture des plantes dans le but de les enfouir pour enrichir le sol n'est avantageuse que dans les pays où l'emploi des engrais est onéreux, à cause du manque de moyens de communication, dans les pays montagneux, par exemple. On emploie des légumineuses, particulièrement le lupin, la vesce, etc., dont nous donnons la composition, d'après M. Larbalétrier.

	Azote	Acide — phosphorique	Potasse	Chaux
Vesces. . . . .	0,56	0,13	0,43	0,35
Lupins. . . . .	0,50	0,11	0,15	0,16
Trèfle incarnat . . . . .	0,43	0,08	0,26	0,35
Trèfle rouge . . . . .	0,48	0,13	0,44	0,48
Colza . . . . .	0,46	0,12	0,35	0,23
Spergule . . . . .	0,37	0,20	0,47	0,26
Sarrasin . . . . .	0,39	0,08	0,38	0,50

Ces plantes doivent être enfouées au moment de la floraison, alors que la plante a son développement maximum. On les sème, en général, de septembre à octobre pour enfouir en mars ou mai ; ceci peut se faire par deux procédés, soit en passant sur la récolte un fort rouleau dans la direction où on laboure ensuite, soit en fauchant, puis labourant avec certaines précautions.

De cette pratique, on doit rapprocher celle des cultures dérobées d'automne, destinées à empêcher l'énorme déperdition d'azote nitrique qui se produit dans l'arrière saison ; par l'entraînement des pluies. On jugera de celle-ci par les chiffres trouvés par M. Dehéraïn au champ d'expérience de Grignon, chiffres relatifs à un hectare, pour la période qui s'étend de la moisson à novembre :

1889 . . . . .	72,2
1890 . . . . .	10,2
1881 . . . . .	42,5
Moyenne . . . . .	<hr/> 41,6

ce qui correspond à 260 kilogrammes de nitrate de soude. Si, au contraire, on sème, immédiatement après la moisson, une telle plante, et qu'elle lève bien, on peut enrayer presque complètement cette perte. Voici encore des résultats obtenus par M. Dehéraïn :

1891	Azote nitrique perdu à l'hectare
Après chanvre, culture dérobée de vesce.	0 (les drains n'ont pas cordé)
Après avoine, culture dérobée ; moutarde et trèfle . . . . .	0 <sup>h</sup> 1,808

Au moment de l'enfouissage les plantes vertes pesaient 4.470 kilogrammes et avaient la composition suivante :

Matière sèche . . . . .	26,64 %
Azote . . . . .	6,6 % de matière sèche

soit 1,75 % de la matière normale, d'où 83 kg.47 d'azote introduits par hectare de sol, ce qui, en tenant compte des 42 kg.5 dont la perte a été évitée, fait 40 kilogrammes qui devraient exister à l'état de nitrates et seront enfouis. Ces 83 kg.47 d'azote représentent 16.694 kilogrammes de fumier.

La quantité à semer pour une culture dérobée est, par hectare, de 15 à 18 kilogrammes de moutarde, de 2 hectolitres de vesce; l'enfouissage doit avoir lieu à l'automne pour les céréales, mais on peut attendre le printemps pour la betterave qui ne se sème qu'en avril, lorsqu'on emploie la vesce.

La décomposition des plantes enfouies est assez lente; après deux ou trois mois, cependant, on a peine à en retrouver des vestiges. Les conditions qui la favorisent sont encore assez mal connues: il est évident qu'elles varient avec la nature des terrains; d'une façon générale, la fermentation est d'autant plus complète et plus rapide qu'elle a lieu au contact de l'air, surtout humide, et en présence d'une température élevée. Souvent, la décomposition est nettement ammoniacale, mais l'ammoniaque formée se nitrifie rapidement. M. Muntz a étudié cette nitrification comparativement pour divers engrais à raison de 1 gramme d'azote pour chacun; il a trouvé après trois mois, les résultats suivants :

	Azote nitrique formé par kgr. de terre	
	Terre légère	Terre forte
Avec engrais vert (lupin) . . . . .	183 <sup>me</sup>	88 <sup>me</sup>
Sans desséché . . . . .	161	3,6
Sulfate d'ammoniac . . . . .	268	5,1

### 3. *Plantes marines employées comme engrais.*

Les pays riverains de la mer utilisent avec de bons résultats un certain nombre de plantes marines, particulièrement les varechs ou goémons, les fucus, etc. C'est ainsi que les îles de Ré, de Jersey, de Noirmoutiers, les côtes de la Bretagne, conservent une fertilité relative. Voici, d'après M. Dehérain, la composition moyenne de ces plantes :

Matières dosées	Divers fucus de la mer du Nord	Divers laminaria de la Mer du Nord	Goémons d'épave	Goémons de coupe	Mélange de diverses plantes marines
Eau . . .	70	75 à 80	61 à 76	66,9 à 69,7	80,44
Azote . . .	0,3 à 0,4	0,15 à 0,50	0,57 0,38	0,36 0,53	0,45
Acide phosphorique	0,1 0,2	0,20 à 0,30	0,20 0,08	0,15 0,13	0,46
Potasse . .	0,5 1	1 2	» »	» »	1,29
Chaux . . .	0,5 1	0,5 1	1,1 0,68	1,1 0,86	1,86

Avant de les employer, on les expose à l'action de la pluie, qui entraîne le sel qui les imprègne, puis on les dispose en tas ; elles subissent un commencement de fermentation qu'on doit arrêter de bonne heure pour les incorporer à la bière.

#### 4. Résidus industriels

Les résidus industriels qui peuvent être utilisés comme engrais sont très variés ; les plus importants sont les tourteaux.

*Tourteaux.* — Les tourteaux sont les gâteaux qui résultent de la compression des graines oléagineuses après l'extraction de l'huile ; ces graines sont très nombreuses et les tourteaux qui en résultent ont une composition variable ; MM. Muntz et Ch. Girard ont réuni, dans un tableau que nous donnons ci-après, les diverses analyses faites :

Il faut y ajouter les tourteaux de maïs, résidu de la fabrication de l'alcool au moyen de ces graines, après séparation de l'huile qui y reste contenue (10 % environ) ; ils donnent à l'analyse :

Azote . . . . .	6,70
Acide phosphorique . . . . .	1,50
Potasse . . . . .	1

Ils sont donc pauvres en acide phosphorique et doivent être donnés concurremment avec des engrais phosphatés.

Les tourteaux se vendent dans le commerce en pains ou en

Nature des tourteaux	Azote %	Acide phos- phorique %	Potasse %	Huile %	Valeur d'après la composition
Arachides brutes . . . . .	5,37	0,59	»	8,12	8,74
— décortiquées . . . . .	7,51	1,33	1,50	7,90	12,52
Noix de Baucoul décortiquées . . . . .	4,90	1,40	»	7	8,45
— Béraf (gros) . . . . .	4,89	1,45	»	7,16	8,46
— — (petit) . . . . .	4,42	1,76	»	8,25	8
Cameline . . . . .	4,93	1,87	»	9,22	8,72
Chanvre . . . . .	4,91	1,90	»	6,20	8,75
Colza d'Europe . . . . .	4,90	2,83	1,36	11,10	9,31
— extodique . . . . .	5,40	1,90	1,25	7,25	9,55
Coprale . . . . .	3,90	1,12	2,54	4,70	7,45
Coton brut . . . . .	3,90	1,24	1,65	6,18	7,15
— décortiqué . . . . .	6,55	3,05	1,58	16,40	12
— cotonneux . . . . .	3,20	1,60	»	6,10	6,05
Courge brut . . . . .	6,50	2,33	»	11,50	11,30
— décortiquée . . . . .	8,90	»	»	11,40	14,80
Faines brutes . . . . .	3,85	1,05	0,72	4,20	6,60
— décortiquée . . . . .	5,94	»	»	7,50	10
Glaucia . . . . .	5,30	1,47	0,76	9	9
Gombo repassé . . . . .	4,18	1,55	»	»	7,45
Lin . . . . .	5,04	2,15	1,29	9,90	9,20
Lin exotique . . . . .	5,40	1,06	»	»	9,30
Madia . . . . .	5,06	3,40	»	15	9,70
Mafouraine naturel . . . . .	2,65	0,90	»	13,20	4,90
— repassé . . . . .	3,03	0,91	»	6,75	5,40
Moutarde blanche . . . . .	5,81	2,05	»	11,80	10,15
— noire . . . . .	5,15	1,67	1,20	12,10	9,05
— sauvage . . . . .	4,50	1,80	»	9	8,05
Navette . . . . .	4,63	1,65	1,46	»	8,35
Niger de l'Inde . . . . .	5	1,72	»	5,80	8,80
Noix décortiquée . . . . .	5,40	1,40	1,54	10,50	9,40
Palmiste naturel . . . . .	2,40	1,20	0,55	13,50	4,45
— repassé . . . . .	2,68	1,20	»	1,10	5
Pavot d'Europe . . . . .	5,88	2,53	1,98	10,50	10,90
— de l'Inde . . . . .	5,81	2,90	»	6,33	10,90
Pignon d'Inde . . . . .	3,14	1,50	»	17	5,90
Pépins de pommes . . . . .	5,84	1,17	»	9,17	9,75
— raisins . . . . .	2,31	0,70	»	10,60	4,25
Pulguères . . . . .	3,04	1	»	»	6
Ravison et rabette . . . . .	5	1	1,44	6,20	8,50
Ricin brut . . . . .	3,67	1,62	1,12	8,25	6,80
— décortiqué . . . . .	7,42	2,26	»	8,75	12,80
Sésame noir . . . . .	6,34	2,03	1,45	9,70	11,10
— roux . . . . .	5,14	1,60	»	11,15	10,45
— panaché . . . . .	5,51	1,94	»	11,25	9,65
Baies de sureau . . . . .	3,73	0,60	»	5,50	6,30
Thlaspi . . . . .	3,56	»	»	»	6,30
Touloucanna décortiqué . . . . .	4,37	»	»	4,46	7,60
— brut . . . . .	2,68	0,86	»	10	4,90
Tournesol brut (Tunis) . . . . .	3,27	1,40	»	10,50	6,05
— — d'Allemagne . . . . .	5,47	2,13	1,17	12,20	9,75

poudre ; il est préférable de les prendre en pains, moins souvent falsifiés. La quantité à employer est de 500 à 1.000 kilogrammes par hectare. On ne doit pas les utiliser pour les terres fortes, peu perméables, car leur décomposition y est trop lente, la nitrification ne se produit que difficilement.

L'époque où l'on doit les répandre varie avec la forme sous laquelle on les emploie ; si on ne fait que les concasser en fragments de la grosseur d'une noisette à celle d'une noix, il faut les mettre à l'automne ; si on les pulvérise, on peut attendre au printemps.

*Ecumes de défécation.* — Nous avons déjà eu l'occasion de dire quelques mots de ces résidus de sucreries, à propos du carbonate de chaux qu'ils renferment, et qui en fait un bon amendement. Elles contiennent, en outre, des matières organiques, représentant 0,3 à 0,4 et même 0,8 % d'azote, 0,8 à 1,5 % d'acide phosphorique.

Elles doivent être rapidement enfouies, car elles ont une grande tendance à perdre leur azote à l'état d'ammoniaque ; elles sont bonnes pour assouplir les terres fortes.

*Touraillons.* — Les touraillons ne sont autre chose que les germes de l'orge qui a été maltée et passée à la touraille, ce qui en rend la séparation facile au moyen de moulins spéciaux appelés dégermeuses ; ils renferment environ 10 % d'eau et, à l'état frais, représentent :

Azote . . . . .	4 à 5 %
Acide phosphorique . . . . .	1 à 2
Potasse . . . . .	2 à 2,5

Leur décomposition est d'une grande facilité.

*Mars.* — Les mars sont les résidus du pressage des raisins, des pommes, des poires, dans la fabrication du vin, du cidre et du poiré. Les mars de raisins ne sont utilisés comme engrais que lorsque le vin a été plâtré ; les mars de raisins secs ont la composition suivante :

Eau . . . . .	75 à 77 %
Azote . . . . .	0,6 à 0,7

Acide phosphorique. . . . .	0,11 à 0,14
Potasse . . . . .	0,4 à 0,6

Quant aux marcs de pommes, ils contiennent :

Eau. . . . .	75 à 80 %
Acide phosphorique . . . . .	0,4 à 0,9
Azote . . . . .	1,1 à 2,8
Potasse . . . . .	1,2 à 2,6

comme ils ont tendance à devenir acides, il faut les mélanger à du fumier ou à de la chaux.

*Vinasses de distilleries.* — Ce sont des résidus très riches en alcalis ; leur composition, variable suivant la matière première, a été donnée par MM. Müntz et Ch. Girard :

	Mélasses	Grains	Betteraves	Pommes de terre	Topinambours
Azote . . . (gr.).	1,5 à 3	2,5	0,7 à 2	1,5 à 2,5	1,2
Acide phosphorique.	0,1 à 0,2	2,5 à 4,5	0,2 à 0,8	0,3 à 1	0,02
Potasse . . . . .	1,8 à 9	2,6	1,5 à 3	2,5 à 3,5	2,87

*Eaux de lavage des féculeries et amidonneries.* — On les répand sur les terres à enrichir ; elles renferment, en moyenne, par litre :

Azote. . . . .	0,24
Acide phosphorique. . . . .	0,09
Potasse . . . . .	0,55

### 5. Résidus végétaux. — Terreau

Le terreau est un véritable engrais ; il est formé de la réunion de tous les résidus végétaux, balayures de cour de ferme, de toute sorte, avec même des excréments animaux, lesquels, une fois réunis, entrent en fermentation. Au bout de peu de temps, ce terreau contient une certaine quantité d'azote nitrique ; Boussingault, qui l'a évaluée, donne les chiffres suivants :

		Nitrates par kg. de terreau sec (en nitrate de potasse).
Terreau de la ferme de Bechelbronn .	(en grammes)	1,51
— feuilles de Bechelbronn .	—	5,51
— la ferme de Neunreiterheff .	—	0,83
— couches d'un jardin de Ver- rières . . . . .	—	0,94
— des marachers de Paris. .	—	1,07

On doit en rapprocher le résidu du curage des mares, des fossés, des étangs, etc., qui, séché à l'air, peut contenir de 0,5 à 1,8 d'azote par kilogramme. Au moyen de cette substance, on fait des composés en mélangeant à des feuilles et des tiges mortes, à de la marne ou de la chaux éteinte, si cela est nécessaire.

---

## CHAPITRE V

### Engrais animaux

Les engrais d'origine animale sont beaucoup plus nombreux que les engrais d'origine végétale ; ils sont de forme très variable : les uns sont des amas anciens et qui s'épuisent peu à peu, tels les guanos ; le plus grand nombre sont les déchets de la vie journalière de l'homme, les détritiques des grandes cités, dont on cherche de plus en plus à tirer profit, leur éloignement ayant en outre l'avantage d'augmenter la salubrité générale.

#### 1. *Guanos*

Le guano est essentiellement formé de déjections d'oiseaux et provient surtout du Pérou. Cette région est extrêmement peuplée d'oiseaux marins, attirés par la richesse remarquable de la partie de l'Océan qui baigne la côte en poissons qui forment leur nourriture. Ces oiseaux viennent la nuit se reposer dans les îles voisines du continent, et ils y accumulent leurs déjections avec des résidus de toutes sortes, même des cadavres de leurs congénères. Le principal et le plus riche gisement était celui des îles Chinchas, qui fournissaient aussi la meilleure qualité de guano, mais il a été vite épuisé. Aussi en a-t-on cherché ailleurs, en Bolivie, au Mexique, aux Antilles, même en Afrique et en Australie.

Le guano des îles Chinchas devait sa qualité à la hauteur où il était déposé et à la sécheresse du climat, de sorte qu'il se desséchait rapidement et ne subissait pas de pertes de principes solubles. Sa composition élémentaire donnait :

Azote total. . . . .	15,29
Phosphate soluble. . . . .	6,76
— insoluble . . . . .	19,52

On y trouvait des urates d'ammoniaque et de chaux, de l'oxalate et du phosphate d'ammoniaque, du phosphate de chaux, de petites quantités de sulfate de potasse, de chlorure de potassium et de chlorhydrate d'ammoniaque et diverses impuretés.

La richesse des autres guanos est loin d'être aussi grande, comme cela résulte des chiffres évalués par Chevreul :

	Blanco	Chincha	Lobos	Los Patos	Bolivie
Matières organiques . . . . .	70,21	52,52	36,10	32,45	23
Phosphate de chaux . . . . .	5,75	19,52	29,30	27,56	41,78
Acide phosphorique . . . . .	3,48	3,12	3,71	3,37	3,17
Sels alcalins . . . . .	9,35	7,56	11,54	7,38	11,71
Silice . . . . .	3,55	1,66	2,55	2,55	7,34
Eau . . . . .	7,64	15,62	16,80	26,80	13
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>
Phosphate } soluble . . . . .	7,55	6,76	8,03	7,30	7,20
de chaux } insoluble . . . . .	5,75	19,52	29,30	27,45	41,78
Phosphate total . . . . .	<u>13,30</u>	<u>26,28</u>	<u>37,33</u>	<u>34,75</u>	<u>48,98</u>
Azote dosé . . . . .	20,09	15,29	10,80	5,92	3,38
Ammoniaque corresp <sup>t</sup> . . . . .	24,29	18,56	13,11	7,19	4,10

Les guanos des îles du Pacifique, où les pluies sont fréquentes, ne contiennent que quelques millièmes d'azote.

Certaines variétés de guanos arrivent encore en France, auxquelles MM. Müntz et Girard assignent la composition suivante :

	Pabellon	Huanillos	Punta de Lobos	Lobos de Afuera
Eau . . . . . %	8,63 à 14,28	13,69 à 16,35	8,09 à 8,71	»
Azote . . . . .	8,22 à 9,81	7,51 à 8,05	5,09 à 6,79	3,5 à 4,5
Acide phosphorique . . . . .	12,68 à 16,76	14,30 à 15	15,50 à 20,20	20 à 25

La variabilité de composition des guanos les a fait diviser en deux groupes : 1° les *guanos ammoniacaux*, riches en azote et pauvres en phosphates ; 2° les *guanos terreux*, dans lesquels c'est l'inverse.

Presque tout l'azote du guano est à l'état d'ammoniaque, et il en exhale une grande quantité par exposition à l'air, surtout

à l'air humide. Ainsi, un guano exposé à l'air pendant un mois perd 4 centièmes de l'azote qu'il renfermait.

Outre les sels ammoniacaux solubles, le guano renferme une assez grande quantité de phosphate de chaux insoluble, celui-ci réagit sur le carbonate et l'oxalate d'ammoniaque pour former du phosphate d'ammoniaque soluble.

*Emploi du guano.* — Quoiqu'on ne possède plus aujourd'hui de guanos aussi riches qu'il y a cinquante ans, ceux qu'on utilise sont encore très actifs et constituent un engrais précieux, donnant sous un petit volume une quantité notable de substances nutritives.

Il est particulièrement efficace pour les céréales, les légumineuses, les betteraves, les pommes de terre, les prairies naturelles, etc., et s'emploie à la dose de 200 à 500 kilogrammes par hectare.

Pour rendre sa répartition et sa conservation plus faciles, on y a mêlé de l'acide sulfurique ; le sulfate de chaux formé donne à la masse de la cohésion et une composition homogène ; il renferme alors du sulfate d'ammoniaque et du superphosphate de chaux : c'est ce qu'on appelle le *guano dissous* ; il doit contenir 5 à 9 % d'azote et 9 à 10 % d'acide phosphorique soluble.

*Falsifications.* — Etant donnée sa valeur, le guano est souvent additionné de substances inertes, telle que sable, eau, ou même sulfate d'ammoniaque et phosphate de chaux. Il est facile de doser l'acide sulfurique dans le guano naturel, mais dans le guano dissous, il n'est pas possible de reconnaître cette fraude.

*Guano de chauves-souris.* — On rencontre également, dans les grottes des régions tropicales, des guanos provenant de chauves-souris, et en assez grande abondance pour qu'il soit intéressant de le signaler. Divers auteurs leur ont trouvé la composition suivante :

		Azote total	Phosphate de chaux	Humidité	Matières siliceuses	Acide nitrique
Voelker..	{ Arkansas, dépôt ancien	2,94	14,69	6,74	42,30	1,80
	{ — — nouveau.	8,80	8,21	33,53	4,69	8,40
Münz et Marcano..	{ Venezuela, guano pulvé-	9,84	8,09	18,50	»	0
	{ rulent... ..	4,33	33	13,80	»	7,20
Voelker...	{ Venazuela, guano pâteux	1,26	»	23,07	5,98	»
	{ Jamaïque.....	1 à 3	27 à 46	23 à 31	1 à 5	1 à 4
Bobierre..	{ Bahama.....	5 à 9	10 à 12	18,50	14	6
	{ Espagne.....	8,61	3,40	15,18	3,55	»
Hardy....	France.....	12,03	8,30	»	»	»
H. Mangon	— .....	8,80	7,40	16,10	30	»
Gérardin..	Algérie .....	3,67	8,87	15,60	»	»

*Colombine et pouaille.* — On peut rapprocher des guanos les déjections des oiseaux de basse-cour, qui renferment, pour cent :

	Pigeons	Poules	Canards	Oies
Azote. . . . .	1 à 5	1,49 à 0,6	0,7	0,53
Acide phosphorique. . .	0,4 à 1,8	2 à 0,61	1,5	0,40
Déjections totales produites en un an par un oiseau .	2 <sup>g</sup> ,5 à 3	6	8 à 9	11 à 12

On les emploie généralement pour les cultures potagères.

## 2. Engrais de poisson.

Ils sont constitués par les résidus des pêcheries, particulièrement abondants à Terre-Neuve, à Concarneau, etc. On les traite industriellement, suivant le procédé de M. de Molon, qui consiste à les soumettre à la cuisson, puis à les soumettre à l'action d'une presse qui en fait écouler l'eau et l'huile qu'ils renferment ; la matière desséchée est pulvérisée dans un moulin. On obtient ainsi un engrais très riche, qui, d'après M. Payen, renferme :

Eau . . . . .	1
Matières organiques azotées . . . . .	80,10
Sels solubles ( surtout carbonade d'ammoniaque, traces de sulfate et de chlorure de sodium ) . . . . .	4,50
Phosphate de chaux et de magnésie . . . . .	14,10
Carbonate de chaux . . . . .	0,06
Silice . . . . .	0,02
Magnésie et perte . . . . .	0,22
	<hr/>
	100

soit 12 % d'azote et 16,1 % de phosphates.

D'autres analyses, dues à M. Moussette, donnent :

	Azote %	Phosphate de chaux
Chair de poisson pulvérisée desséchée . . . . .	11,71	17,30
Os » » » . . . . .	3,84	53,70
Résidus de marne » . . . . .	8,73	28,75

Aux îles Loffoden, en Norvège, où, autrefois, les débris de morue étaient jetés à la mer, ce qui représentait une perte énorme, on les fait maintenant sécher à l'air, puis on les soumet à l'action de la vapeur sous une pression de 7 à 8 atmosphères ; on les dessèche de nouveau : ils deviennent aussi très friables et sont réduits en poudre dans des moulins. Le produit renferme 9 % d'azote et 30 % de phosphates.

On peut aussi les traiter par l'acide sulfurique, puis saturer l'acide en excès par des phosphates. Après dessiccation et compression, le tourteau contient 3 à 6 % d'azote et 8 à 9 % de phosphates.

### 3. Sang et chair desséchés.

Pour être utilisé, le sang doit être desséché à un état de conservation facile : on peut faire coaguler les matières albuminoïdes par la vapeur, puis dessécher la masse.

Ce procédé n'est que peu employé aujourd'hui, à cause de l'odeur qu'il répand ; il est d'ailleurs défendu au voisinage des villes. On opère plutôt de la façon suivante : le sang frais est mélangé, dans des bassins en fer, d'une quantité soit de perchlorure de fer, soit de sulfate ferrique, soit de nitroso-sulfate, qui représente 10 grammes de fer par litre de sang à coaguler.

Les caillots se séparent immédiatement du sérum ; on les recueille en les jetant à l'intérieur de cases en maçonnerie ou en bois. Ces cases sont fermées à la partie inférieure par une claie en bois que l'on garnit de branchages ou de fagots pour assurer une meilleure filtration. Au-dessous de ce faux fond se trouve un caniveau qui conduit le sérum à l'égout. Généralement, chaque atelier comprend plusieurs de ces cases, à côté les unes des autres, que l'on remplit successivement, de façon à laisser aux caillots qui sont logés dans l'une d'elles le temps de s'égoutter pendant que l'on garnit les autres.

Quand les caillots sont égouttés, on peut, ou bien les sécher en les mélangeant à du terreau, à de la tourbe ou à de la sciure de bois, ou bien les déshydrater soit au soleil, soit artificiellement, par exemple au moyen du torrificateur Rial.

Le sang sec est ensuite moulu au moyen de meules verticales enfermées dans une enveloppe de tôle, de façon à éviter la dissémination des poussières de sang sec dans l'atelier.

Le sang desséché renferme en moyenne 10 à 13 % d'azote, 0,5 à 1,5 % d'acide phosphorique, 0,6 à 0,8 % de potasse.

C'est un engrais d'une manipulation facile et très actif, presque aussi efficace que le nitrate de soude, comme l'a montré M. Petermann, qui les a expérimentés concurremment dans la proportion de 0<sup>e</sup>,25 pour 4 kilogrammes de terre :

	Terre argileuse	Sable
Sang, phosphate, potasse . . . . .	19,44	12,19
Nitrate de soude, phosphate, potasse . . . . .	19,80	12,98

On en met de 50 à 150 kilogrammes par hectare ; son action est très rapide.

La chair animale employée comme engrais est celle qui ne peut servir à l'alimentation ; pour l'utiliser, on la soumet généralement à la coction au moyen de vapeur d'eau pendant dix à quatorze heures. On dessèche la couche inférieure obtenue, formée d'un mélange de sang et de chair ; le produit renferme 8 à 9 % d'eau, 13 % d'azote et environ 2,4 de phosphate de chaux.

On peut utiliser, comme l'a proposé M. Aimé Girard, les cadavres des animaux morts du charbon, dont l'enfouissement

simple est dangereux. Pour cela, on les plonge complètement dans l'acide sulfurique à 60°; après 24 heures, le cadavre est entièrement dissous, sauf quelques matières grasses qui surnagent. On obtient ainsi un sirop noir, acide, qu'on sature par des phosphates minéraux. Dans une expérience ainsi faite avec des moutons, M. A. Girard a pu préparer un superphosphate titrant 0,36 d'azote et 5,06 d'acide phosphorique soluble.

On peut encore, pour les cadavres d'animaux non virulents, les découper et les mettre dans une fosse par couches alternativement avec de la chaux et du terreau; six semaines après, on rajoute de la chaux et du terreau, on mêle bien le tout, et on obtient une masse pulvérulente qu'on peut utiliser dans la proportion de 150 à 300 kilogrammes par hectare.

#### 4. Débris de laine.

Ce sont des rognures d'étoffes de laine, qu'on enfouit dans le sol, où ils se dissolvent lentement. On peut aussi accélérer cette transformation industriellement par l'action de l'acide sulfurique ou de la vapeur d'eau, suivie de dessiccation. On obtient une poudre brun foncé, d'odeur de caramel, qui a donné, dans des essais comparatifs faits par M. Petermann, les résultats suivants :

	Poids des grains de blé obtenus
Laine brute renfermant 0 gr. 25 d'Azote phosphate précipité. . . . .	17,59
Laine dissoute renfermant 0 gr. 25 d'Azote phosphate précipité. . . . .	19,81
Nitrate renfermant 0 gr. 25 d'Azote, phosphate précipité. . . . .	20,49

#### 5. Engrais de cuir.

Le cuir, qui renferme 7 à 8 % d'azote, peut être employé soit après pulvérisation, soit après désagrégation. Sa décomposition dans le sol est lente, mais son effet se prolonge pendant plusieurs années.

Certains déchets animaux contenant de la kératine, tels que

les cornes, les sabots, les ergots, les baleines fausses, sont tellement élastiques qu'on ne peut les pulvériser pour les enfouir ainsi ; pour les rendre friables et poreux, il faut leur faire subir une torréfaction.

Pour cela, on les transforme d'abord en gélatine en les chauffant pendant 2 heures à 2 h. 1/2 dans des autoclaves à une température de 120-130° ; on dessèche ensuite le produit à 200°. Ces autoclaves sont verticaux ou horizontaux ; les matières y sont introduites soit en vrac, soit sur un wagonnet. La pression et, par suite, la température, varie avec la nature du produit : c'est ainsi que les sabots exigent un chauffage plus énergique que les cornes ; mais on ne doit pas dépasser 120 ou 130°.

Par cette torréfaction, les matières perdent 15 à 20 % de leur poids, mais la perte d'azote est presque nulle.

#### 6. *Os et noir animal.*

On n'utilise des os que les déchets de fabrication des multiples objets qui emploient cette matière première. On les distingue en *os verts*, c'est-à-dire encore revêtus de la gélatine et de la matière grasse, et en *os dégelatinés*, qu'on a soumis à l'action de la vapeur sous pression.

*Os verts.* — Les os sont dégraissés, soit par une courte ébullition au contact de l'eau et à l'air libre, soit par une digestion dans la benzine mélangée de toluène. Ils sont ensuite pulvérisés au moyen de moulins munis de deux roues verticales en fonte. Quelquefois l'une des roues est en tôle, à double paroi, et tout autour de sa circonférence sont disposés des augets, qui, à chaque rotation, viennent prendre le produit broyé ; ce produit tombe dans l'intérieur de la roue qui, par un système de dardaïdes, le relève et le rejette sur un crible disposé au centre de la meule ; ce crible laisse passer les parties moulues et renvoie sur la piste les parties qui ne le sont pas encore. Cet appareil est employé d'ailleurs à la pulvérisation et au criblage des os dégelatinés, des phosphates minéraux, de la viande et du sang desséchés, etc.

*Os dégelatinés.* — Les os qui ont servi à la fabrication de la gélatine et qui ont perdu dans l'eau sous pression leur osséine sont retirés des autoclaves, séchés et pulvérisés comme les précédents. Ils ne contiennent que 1 à 1,5 % d'azote, mais ils sont plus poreux, plus faciles à pulvériser et plus assimilables que les précédents.

M. Lindet a donné la composition suivante, pour des os verts, et pour des os dégelatinés en provenant :

	Os verts	Os dégelatinés
Eau . . . . .	5,85 %	7,90
Phosphate de chaux . . . . .	44,83	63,31
Carbonate . . . . .	9,91	12,93
Osséine . . . . .	29,31	9,37
Matière grasse . . . . .	3,34	1,22

Les premiers renferment en moyenne 3,5 à 4 % d'azote.

On les utilise à la dose de 800 à 1.200 kilogrammes par hectare ; c'est surtout en Angleterre qu'il est fait usage de cet engrais phosphaté. Nous verrons plus loin que la poudre d'os entre dans la fabrication d'une certaine catégorie de superphosphates.

Le noir animal utilisé comme engrais est celui qui a servi à la défécation des jus des raffineries et des distilleries, concurremment avec le sang défibriné. C'est donc un mélange de sang coagulé et de noir animal que l'on obtient ainsi. Suivant les proportions de l'un et de l'autre, l'engrais est plus ou moins riche en phosphate et en azote. Voici des chiffres donnés par M. Larbalétrier :

	I	II
Charbon et matière organique . . . . .	19,5	45,02
Phosphate de chaux . . . . .	73,1	44
Sels solubles . . . . .	1,6	2
Silice . . . . .	5	5
Carbonate de chaux . . . . .	7	2,80
Albumine et oxyde de fer . . . . .	0,90	1
Azote % . . . . .	1,95	3,60

Mais, la quantité de noir employée dans l'industrie devenant de plus en plus restreinte, il n'en est plus livré que très peu à l'agriculture.

### 7. Valeur comparée des engrais animaux.

Etant donnée cette diversité de composition des engrais animaux, on conçoit que leur action et leur valeur soient aussi variées. On ne doit pas se contenter pour les apprécier d'évaluer leur teneur en azote, mais plutôt en déterminer un des éléments utiles, l'azote nitrique.

A cet effet, MM. Müntz et Girard, dans une série d'expériences, ont mesuré l'aptitude à la nitrification des engrais suivants, dont la teneur en azote était déterminée au préalable :

Sulfate d'ammoniaque . . . . .	20,40 %
Sang desséché pulvérisé . . . . .	11,92
Corne torréfiée . . . . .	13,66
Viande desséchée du commerce . . . . .	11,08
Tournure de cornes . . . . .	14,06
Poudrette . . . . .	2,30
Cuir torréfié . . . . .	7,18
Râpures de cornes . . . . .	12,54
Chiffons de laine . . . . .	12,54

Ayant introduit ces différents engrais dans une terre légère, humide et maintenue à la température de 15 à 20°, ils dosèrent l'azote nitrique formée et trouvèrent les quantités suivantes, pour cent, d'azote incorporé :

	Exp. N° 1	Exp. N° 2	Exp. N° 3	Exp. N° 4
	30 jours	39 jours	32 jours	195 jours
Sulfate d'ammoniaque . . . . .	75	83,76	»	69,67
Sang desséché . . . . .	72,44	73,56	84,50	41,95
Corne torréfiée . . . . .	71,03	73,17	46,82	31,60
Viande desséchée . . . . .	70,40	66,15	59,20	»
Tournure de cornes . . . . .	55,50	72,16	57,86	»
Poudrette . . . . .	18,14	14,91	»	13,96
Cuir torréfié . . . . .	11,62	16,47	13,26	10,70
Râpures de cornes . . . . .	0,30	0,13	»	»

Ils ont en outre cherché à se rendre compte de la façon dont ces engrais se comportaient dans des terres de natures diverses, et ils ont reconnu que la terre légère de Joinville était celle qui se prêtait le mieux à la nitrification ; les craies de Champagne sont bien inférieures ; la terre forte et les terres acides ont donné

des résultats très médiocres ; au contraire, la terre de jardin, dont l'ameublissement est entretenu par de fortes proportions de débris organiques, nitrifie énergiquement. Le tableau suivant résume ces expériences :

Nature de l'engrais	Terre légère de Joinville	Terre de crayeuse de Champagne	Terre de jardin	Terre très forte argilo-calcaire	Terre acide de Bretagne	Terre acide de Bretagne marnée
Sulfate d'ammoniaque . . . . .	2,69	1,78	»	0,051	»	»
Sang . . . . .	1,62	0,725	»	0,036	»	0,500
Tournure de cornes . . . . .	»	0,675	2,41	0,024	»	»
Corne torréfiée . . . . .	1,22	»	0,75	0,029	»	0,515
Cuir torréfié . . . . .	0,413	0,24	0,55	0,036	»	»
Guano . . . . .	2,095	»	2,11	0,070	»	0,461
Poudrette . . . . .	0,539	0,70	0,75	0,046	»	»
Fumier de vaches . . . . .	1,092	0,686	0,55	0,269	0,662	»
Lupin (engrais vert) . . . . .	4,842	0,43	1,21	0,880	0,236	»

Il fallait vérifier si ces expériences de laboratoire se trouvaient corroborées par les résultats donnés par la culture ; MM. Müntz et Girard ayant réparti ces engrais à raison de 1<sup>kg</sup>,25 d'azote par are et ayant semé du maïs fourrage obtinrent les récoltes suivantes :

	1888	1889	Total
Nitrate de soude . . . . .	143 kgrs	47 kgrs	190 kgrs
Sulfate d'ammoniaque . . . . .	141	47	488
Sang desséché . . . . .	130	48	178
Corne torréfiée . . . . .	123	52	175
Tournure de cornes . . . . .	146	47	193
Râpure de cornes . . . . .	130	54	184
Poudrette . . . . .	99	40	139
Cuir torréfié . . . . .	91	61	152
Chiffons de laine . . . . .	89	41	130
Fumier de moutons . . . . .	102	41	143
« « vaches . . . . .	93	49	142
Luzerne (engrais vert) . . . . .	143	47	190
Sans engrais . . . . .	59	43	102

ce qui montre bien qu'en général l'ordre d'efficacité des engrais est aussi celui de leur aptitude à la nitrification. Au point de vue pratique, il est bon de savoir que ces engrais

d'une décomposition lente finissent toujours par avoir une action et qu'ils conviennent aux cultures longues, les vignes par exemple.

### 9. *Matières excrémentielles.*

Dans ce paragraphe, nous n'étudierons que l'emploi des matières des vidanges, les excréments des animaux étant toujours mélangés à des débris végétaux et formant le principal des engrais mixtes, le fumier de ferme.

*Composition des déjections humaines.* — Les déjections humaines, urines et fèces, ne résultent pas du même mécanisme. Les fèces, excréments solides, sont les résidus des matières alimentaires, non assimilables dans les différentes phases de la digestion et rejetés après celle-ci ; les urines, au contraire, sont des produits de désassimilation ; ce sont, pour ainsi dire, les cendres de la vie, envisagée comme une combustion.

Leur composition a été déterminée par MM. Wolf et Lehmann pour différents individus :

#### *Matières solides*

	Quantité totale	Azote organique	Phosphates
Hommes. . . . .	150 gr.	1,74	3,23
Femmes. . . . .	110	1,92	1,08
Garçons . . . . .	45	1,82	1,62
Filles . . . . .	25	0,57	0,37
Moyenne { par jour . . . . .	82,5	1,03	1,56
{ par an . . . . .	30kg.112	0kg.,375	0kg.,569

#### *Urines*

	Quantité totale	Azote organique	Phosphates
Hommes. . . . .	1,500	15 gr.	6,08
Femme . . . . .	1,350	10,73	5,67
Garçons . . . . .	570	4,72	2,16
Filles. . . . .	450	3,68	1,75
Moyenne { par jour . . . . .	0,954	8,53	3,86
{ par an. . . . .	345kg.210	3kg.113	1kg.378

Cela représente, pour la France entière, une quantité totale de 128.950 tonnes d'azote et de 63.089 tonnes de phosphore. Remarquons cependant que ces déterminations ont été faites sur des habitants des villes, qui se nourrissent de façon copieuse, et fournissent par conséquent une quantité de déchets plus grande. Il n'en reste pas moins qu'il y a là pour le cultivateur une source d'engrais importante ; on l'utilise sous différentes formes.

*Engrais flamand.* — La plus simple est leur emploi direct ; c'est ce qu'on appelle l'*engrais flamand*. Les déjections sont amenées des villes dans de grandes citernes en maçonnerie, de 250 à 400 hectolitres de capacité et munies de deux ouvertures, une supérieure pour amener ou extraire les matières, une autre pour permettre l'introduction de l'air. On attend que la fermentation soit commencée avant d'utiliser l'engrais ; on a alors une masse visqueuse, appelée courte-graisse, qu'on étend d'eau ou de purin lorsqu'elle est trop épaisse, et qu'on vend aux cultivateurs.

Mais, comme on peut y avoir ajouté de grandes quantités d'eau, ce qui en diminue la valeur, on doit pouvoir apprécier celle-ci ; il doit marquer 4° à 4°,5 à l'aréomètre Baumé, et jamais au-dessous de 3°. Girardin, qui en a analysé divers échantillons, a trouvé les proportions suivantes :

	Engrais pur	Engrais de Lille	additionné d'eau du Quesnoy
Eau . . . . .	950,98	981,55	989,52
Matières solides . . . .	49,11	18,45	10,48
Azote total . . . . .	8,888	6,537	1,835
Sous-phosphate de chaux.	6,687	2,056	0,555
Potasse . . . . .	2,075	1,503	3 157

ce qui correspondrait à une valeur respective de 15 fr. 693, 11 fr. 494 et 6 fr. 11 les 1.000 kilogrammes.

On y ajoute souvent des tourteaux réduits en fragments qui s'y décomposent rapidement. L'engrais liquide est amené sur les terres dans des tonneaux que l'on vide dans des baquets, puis on le répartit à la volée avec des écopés à longs manches. On l'utilise surtout pour le lin, l'œillette, le tabac et la betterave ; pour cette dernière, on en emploie de 50 à 70 mètres cubes par hectare ; il en faut beaucoup moins pour les céréales. L'action de cet engrais est très rapide.

L'emploi des déjections humaines en nature est surtout répandu en Chine et dans les Flandres ; en France, ce n'est guère que dans les départements du Nord et en Provence qu'on les utilise ; une superstition très ancrée dans l'esprit des paysans a empêché la généralisation de cette pratique, et ce n'est que sous des formes déguisées qu'ils font usage de cet engrais précieux. Nous allons maintenant passer successivement en revue ces formes.

*Poudrette.* — Dans la plupart des villes, les excréments se rassemblent, pour chaque maison, dans des fosses maçonnées étanches. Cette étanchéité n'est cependant pas parfaite, car on trouve dans les terres immédiates voisines des tuyaux et des fosses des quantités d'ammoniaque anormalement grandes. L'utilisation des matières ainsi recueillies était, il y a encore quelques années, fort imparfaite et insalubre. Quand les fosses étaient pleines, elles étaient vidées par des machines spéciales et les matières transportées par des tonneaux jetées dans un dépotoir pour être ensuite conduites dans des bassins où on les laisse reposer. On enlevait le liquide par décantation et on laissait sécher à l'air les matières solides déposées ; c'est ce qui constitue la poudrette. Quant aux liquides enlevés, les eaux-vannes, quoique pouvant être utilisés, comme nous allons le voir, pour la fabrication de l'ammoniaque et de ses sels, ils étaient le plus souvent perdus ; Pour Paris, notamment, les compagnies de vidanges se contentaient de les rejeter à la Seine : c'était là une des nombreuses causes d'infection de ce fleuve.

Quant à la valeur du produit ainsi obtenu, elle est très faible, car une grande partie de l'azote est perdue à l'état de carbonate d'ammoniaque, vu le long temps qu'il reste à l'air. La composition des poudrettes est excessivement variable ; d'après M. Aubin, elles contiennent 1 à 2 % d'azote et 2 à 6 % d'acide phosphorique ; voici une analyse donnée par M. L'Hôte, d'une poudrette provenant de matières déposées douze années auparavant :

Matières organiques azotées. . . . .	32,81
Ammoniaque . . . . .	0,59
Acide nitrique . . . . .	0,30
— phosphorique . . . . .	4,18
— sulfurique . . . . .	3,50
— carbonique . . . . .	2,87
Chlore . . . . .	0,36
Potasse et soude . . . . .	2,05
Chaux . . . . .	6,70
Magnésie et oxyde de fer. . . . .	2,72
Silice, sable, argile . . . . .	12,62
Eau . . . . .	30,20
	<hr/>
	100
Azote total'. . . . .	1,52

On peut fabriquer une poudrette beaucoup plus riche en employant le procédé préconisé par M. Chodzko.

Celui-ci séparait les matières fixes contenues dans les eaux-vannes au moyen d'un bâtiment de graduation tel que ceux qui servent à la concentration des eaux salées des lacs du Jura. Il désinfectait au préalable en ajoutant une solution saturée de sulfate de fer et de magnésie, puis du carbonate de potasse. Par le passage sur les fagots, les matières fixes se déposent ; on les laisse sécher et on les détache ; M. L'Hôte, qui a analysé cette poudrette, lui donne la composition suivante, notablement plus favorable que la précédente :

Matières organiques azotées . . . . .	53,53
Ammoniaque . . . . .	0,65
Acide azotique . . . . .	traces
— phosphorique . . . . .	4,48
Potasse et soude . . . . .	4,07
Silice, sable, argile . . . . .	4,50
Eau . . . . .	17,25
	<hr/>
	100
Azote total. . . . .	4,20

Sur la réclamation bien légitime des municipalités, les compagnies de vidanges ont perfectionné leurs procédés et les ont rendus plus salubres. Les matières apportées aux dépotoirs sont vidées au-dessus d'une grille destinée à retenir les corps étrangers, qui pourraient obstruer les tuyaux et tombent dans de

grands bassins pouvant contenir le travail de trois ou quatre journées.

On peut alors les traiter de deux manières, soit à l'ancienne méthode, par décantation, soit en dirigeant toute la masse dans les appareils distillatoires. Dans le premier cas, on a remplacé les bassins ouverts par des bassins en ciment, ayant la forme d'œufs et fermés ; les boues qui se déposent ainsi représentent 10 % environ de la quantité totale de vidange. On les traite par 5 % de chaux vive et les passe dans un malaxeur muni d'agitateurs à palettes, où l'on fait arriver de la vapeur. Sous cette double action, la matière se liquéfie peu à peu, il se dégage une certaine quantité d'ammoniaque, qui est renvoyée dans les colonnes où l'on traite les eaux-vannes. Quant à la matière liquéfiée, on la passe dans des filtres-presses, on dessèche les tourteaux, que l'on vend aux cultivateurs.

Dans certaines usines, cette matière est distillée dans de petites colonnes, pour récupérer l'ammoniaque qui y est encore contenue, soit environ 20 à 25 kilogrammes de sulfate par mètre cube.

*Eaux vannes.* — Les eaux vannes, liquide surnageant après repos des déjections urbaines, constituent par elles-mêmes un engrais d'une certaine valeur. M. L'Hôte leur a donné la composition suivante :

Matières organiques azotées . . . . .	12,80
Ammoniaque . . . . .	5,24
Acide phosphorique . . . . .	1,35
Chaux . . . . .	1,59
Silice et sable . . . . .	0,79
Eau . . . . .	991,20

On les utilise peu à cet état comme engrais, surtout à cause du transport, mais elles constituent la matière première de la fabrication de sulfate d'ammoniaque, qui est un engrais de premier ordre.

Presque tout l'azote des eaux-vannes est à l'état d'ammoniaque, et celle-ci est en grande partie combinée à l'acide carbonique et à l'acide sulfhydrique, pour former des sels très volatils. Si donc on chauffe ces eaux-vannes et qu'on recueille l'ammoniaque dans de l'acide sulfurique, il se formera du sulfate d'am-

moniaque, Pour éviter les émanations, on détruit en outre les gaz en les faisant passer dans le foyer ou dans un courant d'acide sulfurique nitreux, qui les oxyde.

En Allemagne, on a employé une méthode différente : dans certaines villes, une canalisation amène directement les matières fraîches dans des usines, où elles peuvent être traitées de deux façons, soit par l'acide sulfurique, puis dessiccation par la chaleur, soit par la chaux, qui met l'ammoniaque en liberté : on peut la recueillir dans de l'acide sulfurique.

Ces procédés deviennent de moins en moins rémunérateurs, car on s'efforce d'augmenter la quantité d'eau dont peuvent disposer les habitants, et les matières excrémentielles sont de plus en plus diluées.

*Utilisation des eaux d'égout. Epannage.* — Il y a quelques années, la grande majorité des maisons parisiennes étaient munies de fosses fixes, vidangées comme nous venons de le voir ; d'autres avaient des tinettes ; quelques-unes, enfin, par imitation de ce qui se pratiquait à Londres, déversaient directement à l'égout leurs cabinets d'aisance. Mais, si c'était là une cause minime de pollution des eaux d'égout et, par suite, de la Seine, il n'en était pas de même de la voie publique, dont les nombreux détritrus, urines des vespasiennes, déjections d'animaux, ordures, eaux ménagères, y étaient chassés directement.

Voici, par exemple, la composition par mètre cube de ces eaux pour les différents collecteurs :

Aussi, la Seine n'était-elle plus, à la sortie de Paris et sur un parcours de plus de 100 kilomètres qu'un fleuve infect, charriant des eaux boueuses, noirâtres, à la surface desquelles venaient crever des bulles de gaz des marais, résultant de la combustion des matières organiques. Et, comme cette combustion s'opère aux dépens de l'oxygène qui s'y trouve dissous, cette eau arrivait, à la hauteur de Saint-Denis, à n'en plus contenir qu'à peine 1 centimètre cube par litre. La question d'esthétique et de potabilité n'est pas seule en jeu ; car, en outre, de telles eaux contiennent en abondance des germes pathogènes et tout le monde sait que c'est surtout après les distributions d'eau de Seine que se produisent à Paris les épidémies de fièvre typhoïde ; or,

	Matières organiques		Matières inorganiques		
	Azote	Matières totales	Acide phosphorique	Potasse	Matières totales
Collecteur de Clichy . . . . .	0,041	0,085	0,017	0,031	1,733
« Saint-Denis . . . . .	0,140	1,518	0,040	0,089	1,943
Ce qui fait par an un total de :					
Collecteur de Clichy (débit : 116.000.000 mètres cubes . . . . .	4.756.000	94.540.000	1.972.000	3.536.000	201.028.000
Collecteur de Saint-Denis (débit : 16.000.000). . . . .	2.240.000	24.288.090	640.000	1.424.000	31.088.800
<b>Total . . . . .</b>	<b>6.996.000</b>	<b>118.828.000</b>	<b>2.612.000</b>	<b>5.020.000</b>	<b>232.116.000</b>

l'eau ainsi fournie est prise en amont de Paris ; on juge de ce qui se produirait si on la prenait, au contraire, en aval.

On s'est donc préoccupé de purifier les eaux d'égout ; il n'entre pas dans notre sujet d'étudier les différents moyens chimiques proposés à cet effet ; la solution qui consiste à les conduire par un canal à la mer ne nous intéresse pas plus. Nous dirons cependant quelques mots du procédé préconisé par M. Buisine, et qui consiste à ajouter aux eaux à purifier du sulfate ferrique fabriqué économiquement. Il se forme ainsi un précipité qu'on recueille dans des bassins de décantation et qu'on dessèche. Ce procédé a donné un produit renfermant 18 à 19 % de matières azotées.

Mais il est un moyen qui permet, en même temps que l'assainissement, l'utilisation de tous les éléments nutritifs contenus dans les eaux d'égout et qui, par conséquent, mérite de nous arrêter un moment ; c'est l'épandage, pratique adoptée, non sans de grandes luttes, par la ville de Paris, et qui est en bonne voie d'exécution.

C'est en Angleterre qu'on a pour la première fois réalisé cette méthode, dans deux localités d'importance diverse, Norwood et Croydon. Comme ces expériences datent de plus de trente ans, nous les résumerons avec quelque détail, d'après M. Dehérain.

A Norwood, pour une population de 4.000 personnes environ, on se servit d'un champ de 12 hectares à sous-sol argileux, légèrement en pente. On avait fait un bassin en haut du champ, et il en partait des rigoles arrêtées de temps en temps par des barrages de terre, pour les faire déborder sur la terre voisine. On eut cinq ou six bonnes récoltes de foin par an : la récolte, qui était de 1.375 francs en 1868, monta à 4.000 francs en 1869, sans que les dépenses fussent excessives :

Recettes totales en 1869 . . . . .	18 522 <sup>f</sup>
Dépenses . . . . .	14 800
— Bénéfice . . . . .	<u>3 722<sup>f</sup></u>

Cela montre que les travaux à exécuter ne dépassent pas habituellement les ressources dont disposent les communes de médiocre importance. Au point de vue de l'assainissement, on s'as-

Composition moyenne des eaux d'égout (pour 100.000)	Poids des matières dissoutes	Carbone des matières organiques	Azote des matières organiques	Ammo- niacque	Azote des nitrates et nitrites	Azote total combiné	Chlore
Norwood. . . . .	94,9	3,972	1,586	6,032	0	6,554	8,66
Croydon. . . . .	45,7	2,508	1,576	3,006	0	3,527	4,23
<i>Eaux d'égout à leur arrivée</i>							
<i>Eaux après les irrigations</i>							
Printemps	{ Norwood . . . . .	1,500	0,303	0,816	0,220	1,194	8,37
	{ Croydon . . . . .	0,594	0,104	0,072	0,225	0,388	2,32
Été . . . . .	{ Norwood . . . . .	1,883	0,312	0,462	0,657	1,361	11,03
	{ Croydon . . . . .	0,607	0,126	0,069	0,155	0,300	2,57
Automne . . . . .	{ Norwood . . . . .	1,349	0,203	0,835	0,784	1,629	8,94
	{ Croydon . . . . .	0,690	0,138	0,185	0,589	0,792	3,20
Hiver . . . . .	{ Norwood . . . . .	1,271	0,273	0,876	0,313	1,255	7,71
Après 7 jours de gelée	{ Norwood . . . . .	0,612	0,145	0,204	0,533	0,846	2,72
	{ Croydon . . . . .	1,356	0,413	1,145	0,156	1,334	8,84
	{ Croydon . . . . .	0,591	0,239	0,371	0,448	0,992	2,88

sura, par des prises d'échantillons faites deux fois par mois pendant une année, que les eaux étaient assez purifiées pour être jetées sans inconvénient dans les cours d'eau ; il n'y eut d'exception qu'après une gelée prolongée, pendant laquelle la décomposition des matières organiques azotées avait été entravée.

A Croydon, l'expérience était plus étendue ; il s'agissait d'évacuer les vidanges de 30.000 à 40.000 personnes ; on pratiqua les irrigations sur des prairies de 100 hectares environ, à sous-sol de gravier, à raison de 135 à 200 mètres cubes par hectare et par jour. On obtint au mois de mai une récolte de 35.000 kilogrammes d'herbe par hectare et, le reste de l'année, quatre ou cinq autres coupes de 20.000 à 25.000 kilogrammes chacune.

Le tableau suivant résume les résultats acquis dans ces expériences ; il met en regard la composition moyenne des eaux d'égout à leur arrivée sur le terrain et à leur sortie, et ceci pour toutes les époques de l'année.

Les conclusions du rapport fait sur l'emploi des eaux d'égout furent les suivantes : l'épandage de grandes quantités d'eau d'égout des villes sur une prairie permanente pendant les mois de printemps et d'été, à la dose de 25.000 tonnes par hectare et par an, a fourni, pour 1.000 tonnes d'eaux-vannes employées, un accroissement moyen de 4.000 kilogrammes de fourrage vert (qui, eu égard à la petite quantité de substance sèche contenue dans l'herbe de la prairie arrosée, représente seulement environ 750 kilogrammes de foin sec). Le produit maximum obtenu fut d'environ 80.000 kilogrammes d'herbe fraîche par hectare.

Quelle fut la valeur du foin obtenu ? Le même rapport va nous l'apprendre :

1° Les bœufs tenus en stabulation et nourris exclusivement avec le foin, qu'il provint de la prairie arrosée ou de celle qui ne l'était pas, restèrent dans les conditions d'accroissement ordinaires aux animaux qui reçoivent une bonne nourriture d'engraissement ; mais quand, pendant quelques semaines, on ajouta à l'herbe, des tourteaux, l'accroissement devint satisfaisant.

2° Des vaches maintenues dans l'étable et mises au régime de l'herbe, après avoir reçu des tourteaux, donnèrent beaucoup moins de lait, mais en quantités à peu près égales, que le foin provint de la prairie arrosée ou de celle qui ne l'était pas. Les vaches qui reçurent le foin de la prairie non arrosée consommè-

rent plus de nourriture et donnèrent plus de lait par rapport à leur poids, que celle de la prairie arrosée ; mais la quantité de lait fournie pour une quantité donnée de nourriture fraîche fut exactement la même dans les deux cas, et, comme la matière sèche contenue dans l'herbe de la prairie arrosée était en moindre quantité, il en résulte qu'elle a poussé à la production du lait beaucoup plus que l'autre. Quand on donna le maximum d'arrosement, on obtint environ 2.000 francs de lait par hectare. La valeur du lait obtenu par l'augmentation de produit par 1.000 tonnes d'eaux vannes fut d'environ 125 francs.

3° L'herbe fournie par la prairie arrosée contient beaucoup plus d'eau que celle qui a été récoltée sur la prairie non arrosée ; mais la matière sèche de la prairie arrosée est généralement beaucoup plus riche en matière azotée. Le lait des vaches alimentées avec le foin arrosé présente à peu près la même composition que celui des vaches qui ont reçu le foin de la prairie sèche.

En présence de ces résultats concluants, on entrevit, sous la direction de Durand-Claye, des essais pour la purification des eaux d'égout de Paris. Ils eurent lieu dans la plaine de Gennevilliers, d'abord sur un petit jardin potager, puis, peu à peu s'étendirent à la plus grande partie de la presqu'île, consacrée à la culture maraîchère.

Ce premier essai d'épandage arriva bientôt à absorber 12 % des eaux alors produites. Les résultats furent si heureux que les terrains décuplèrent de valeur et que la population augmenta de 86 %, sur les 800 hectares de terrains irrigués.

La marche de l'épuration fut étudiée par MM. Schloesing et Müntz, qu'elle conduisit à la belle découverte du ferment nitrique. L'eau d'égout subit d'abord, de la part du sol, une action mécanique de filtration ; puis a lieu une purification chimique ; l'eau adhère aux particules de terre, elle se trouve entourée d'une couche d'air dont l'oxygène, sous l'influence des ferments du sol, oxyde les matières organiques, transforme le carbone en acide carbonique, l'hydrogène en eau, l'azote en acide azoteux d'abord, puis en acide azotique.

Il faut, pour que cette transformation soit achevée, un temps variable avec la température, mais il faut que le sol soit bien éré et bien drainé, afin que l'écoulement des eaux purifiées s'ef-

fectue au fur et à mesure de leur filtration ; les nouvelles eaux qui arrivent ne s'y mélangent d'ailleurs pas : il n'y a là qu'un simple déplacement de proche en proche.

Au point de vue microbiologique, des expériences nombreuses ont montré que les eaux ainsi filtrées sont stérilisées ; au fur et à mesure que l'on s'abaisse dans les profondeurs du sol, en effet, on rencontre des colonies de moins en moins nombreuses et de plus en plus superficielles. Elles transforment les matières organiques et ne pourraient vivre en présence des produits qu'elles ont dédoublés ; ceux-ci sont entraînés plus loin, alimentent d'autres microbes moins difficiles, qui font subir à leur tour à ces produits une nouvelle décomposition, et le même phénomène se renouvelle jusqu'à une profondeur que la porosité du sol, la quantité de matière organique apportée déterminent, on ne rencontre plus que de l'acide carbonique et de l'ammoniaque, produits ultimes de la décomposition, et où ne vivent que des microbes incapables de se revivifier dans des milieux très nutritifs.

Voici quelques données numériques qui aideront à comprendre ce processus : un sol caillouteux et perméable comme celui de Gennevilliers peut retenir 150 litres de liquide, qui sont épurés au bout de vingt jours ; si on admet que le sol a une profondeur de 2 mètres ; chaque hectare peut recevoir 500 mètres cubes d'eau par jour, ou 182.000 mètres cubes par an ; on peut être certain d'une opération parfaite en n'en épandant que 50.000 mètres cubes.

Or, Paris produisait, il y a une dizaine d'années, une quantité d'eau d'égout égale à environ 125.000.000 de mètres cubes par an ; il aurait donc fallu, pour les purifier, une surface de 2.500 hectares. De plus, pour certaines cultures, l'épandage ne peut être réalisé d'un bout de l'année à l'autre ; il fallait donc disposer, pour ne pas être obligé de verser le surplus d'eau d'égout à la Seine, d'une surface beaucoup plus grande.

Sur ces entrefaites, la ville de Paris, se basant sur les bons résultats donnés par l'épandage et désirant assainir les habitations en interdisant la stagnation des déjections dans des fosses fixes ou mobiles, obtint du Parlement le vote d'une loi prescrivant la transformation graduelle du mode de vidange et son remplacement par le tout à l'égout. Il fallait, pour réaliser ce

plan, résoudre de multiples questions, et, comme toujours, léser des intérêts privés mesquins ou heurter des préjugés ou des rancunes inexplicables, en premier lieu, il fallait effectuer la transformation des cabinets d'aisances, remplacer les appareils actuellement en usage par des appareils avec réservoir de chasse ; il fallait, parallèlement, augmenter le diamètre des égouts et en étendre le réseau : un arrêté préfectoral prescrivant, pour la transformation des water-closets, un délai de dix ans après la construction des égouts, donna lieu à un procès retentissant, la conclusion n'est pas encore connue. La transformation et l'extension du réseau d'égouts exigeait l'augmentation des collecteurs ; il fallait, de plus, que ceux-ci, au lieu de déboucher dans la Seine, se réunissent en un conduit unique se rendant aux champs d'épandage. Un délai, qui va être atteint le 1<sup>er</sup> juillet 1899, fut fixé comme terme au déversement des eaux d'égout dans la Seine, eaux de plus en plus chargées de matières depuis que la transformation des appareils de vidange s'effectue graduellement ; les travaux ayant été exécutés à cet effet, ce résultat sera atteint, et, à partir de cette époque, on pourra voir graduellement la Seine reprendre, au sortir de Paris, la teinte normale de ses eaux, ce que le Parisien de notre génération n'a pu voir ; et il passera, à l'état de légende, cet industriel, qui, au débouché du collecteur de Clichy, écume littéralement la Seine et charge d'un bout de l'année à l'autre de petites péniches avec l'engrais qu'il en retire.

Toutes ces questions intérieures réglées, il fallait trouver des terrains disponibles pour faire l'épandage, et y conduire les eaux d'égouts ; une première étape fut décidée : la Ville acquit des terrains dans le domaine de la forêt de Saint-Germain, sur le bord de la Seine, en face d'Herblay. Puis, comme ils devaient devenir insuffisants dans un délai rapproché, on fixa une seconde étape à Méry ; à mesure que le besoin s'en fera sentir, l'aqueduc sera prolongé au delà dans la direction de la mer répandant sur tout son parcours l'action bienfaisante de ses eaux.

On dut, pour réaliser ce plan, vaincre de grandes difficultés matérielles ; il fallait, d'abord réunir le collecteur de la rive gauche à ceux de la rive droite, et, pour cela, lui faire traverser, la Seine que nous retrouverons plusieurs fois sur notre chemin, à

cause des nombreux méandres qu'elle décrit. Ce fut réalisé par un siphon creusé non loin du pont de la Concorde ; au sortir de Paris, à Clichy, là où se déversait le collecteur, nouvelle traversée de la Seine, également en siphon ; à cet endroit, a lieu une bifurcation pour l'épandage de Gennevilliers. Puis, l'aqueduc souterrain se rend à Colombes, où a été construite une usine monstre ; là, l'eau séjourne dans de grands bassins de dépôt, où elle se débarrasse de la plus grande partie des matières solides, qui sont enlevées par des wagonnets et transportées au loin par des péniches. L'eau, déjà épurée, est pompée par de puissantes machines et refoulée dans des conduites qui traversent la Seine sous le tablier d'un pont construit à cet effet. Puis elle chemine sous le sol et arrive à Herblay, d'où par un troisième siphon, elle est conduite sur les terrains d'Achères où à lieu l'épandage.

Rien de plus instructif qu'une visite en ce lieu, visite que chacun peut faire sous la direction d'un des ingénieurs de la Ville, la Ville de Paris y ayant organisé, dans un but d'instruction et de propagande, des promenades publiques. Là, comme à Gennevilliers, on traite des cultures potagères florissantes, venues dans un terrain autrefois aride ; on peut voir l'eau d'égoût, à son arrivée, noire, d'odeur fade, mais non repoussante, se répandre dans les rigoles creusées symétriquement à cet effet, et, plus loin, dans les drains creusés au niveau de la nappe souterraine, l'eau purifiée coule limpide, claire comme de l'eau de roche ; sur un lit de cailloux, pour se rendre à la Seine, où son mélange ne peut qu'être favorable. Ainsi, malgré les difficultés à vaincre, malgré des oppositions acharnées dues, soit à des préjugés ridicules, soit à des intérêts spéculatifs mal déguisés, le plan de purification des détritiques de la Ville de Paris s'exécute peu à peu, et d'ici quelques années, on aura atteint ce triple résultat ; assainissement des habitations et du beau fleuve qui traverse Paris, et utilisation complète des énormes quantités d'azote et de phosphore qui, jusqu'à notre époque, étaient perdues pour la culture.

### 9. *Déjections des animaux*

Ces déjections, analogues à celles de l'homme, sont habituellement recueillies par des matières absorbantes, ou litières, pour

former le fumier ; mais elles sont parfois utilisées seules. Ceci est réalisé en particulier par le parcage, qui consiste à faire séjourner des animaux sur l'endroit à fertiliser ; c'est surtout avec les moutons que l'on met cette pratique à exécution.

Le parcage doit être précédé d'un labourage destiné à rendre la terre perméable ; on calcul qu'un mouton peut fertiliser, en une nuit, une surface de un mètre carré à un mètre et demi, et, suivant que ce séjour sera augmenté ou diminué, on aura réalisé un fumage fort, moyen ou faible. On doit, après le parcage, donner un coup de labour superficiel.

Quant aux déjections liquides des animaux, elles constituent les purins, que nous étudierons avec le fumier.

## CHAPITRE VI

---

### Engrais mixtes

Les engrais mixtes, c'est-à-dire contenant des matières végétales et les débris animaux susceptibles de fournir à la terre des principes nutritifs, comprennent surtout le fumier de ferme et les gadoues.

#### 1. *Éléments constitutifs du fumier*

*Déjections des animaux.* — Elles varient en poids et en consommation avec le régime auquel sont soumis les animaux. La moyenne, par 24 heures, pour les différents animaux, est la suivante :

##### *Déjections solides*

Cheval . . . . .	46 kgrs
Vache . . . . .	20
Mouton . . . . .	0,650
Porc . . . . .	0,250

Pour MM. Audouinaud et Zacherewicz, qui ont pris la moyenne des analyses faites de ces déjections, elles contiennent, pour 1.000 :

##### *Déjections liquides*

Cheval . . . . .	4,500
Vache . . . . .	12,500
Mouton . . . . .	0,500
Porc . . . . .	3,500

		Cheval	vache	
Urine	{	Azote . . . . .	15,21	10,50
		Acide phosphorique . . . . .	traces	traces
		Potasse . . . . .	9,24	13,60
Exc réments	{	Azote . . . . .	5,58	4,35
		Acide phosphorique . . . . .	3,50	1,20
		Potasse . . . . .	1	0,42

La quantité d'azote est, pour le porc et le mouton d'environ :

	Porc	Mouton
Déjections solides . . . . .	7	7,2
Déjections liquides . . . . .	2,3	1,3

La plus grande quantité de l'azote de l'urine se trouve à l'état d'urée ; celle-ci subit facilement, à l'air une fermentation particulière qui la transforme en carbonate d'ammoniaque ; la potasse est, en partie à l'état de bicarbonate, en partie à l'état d'urates et d'hippurates, suivant que l'alimentation est plutôt cornée ou plutôt herbacée, ce qui est le cas le plus fréquent. L'urine contient des phosphates alcalins et alcalins-terreux mais en bien moins grande quantité que les excréments solides.

Des nombreuses évaluations faites par différents chimistes, Audouynaud et Zacharewicz, Boussingault, Müntz et Girard, il résulte que, dans le courant d'une année, les différents animaux domestiques fournissent les quantités suivantes de matières fertilisantes :

	Cheval	Vache	Mouton	Porc
Azote . . . . .	50 <sup>k</sup> ,76 à 56 <sup>k</sup> ,8	71 <sup>k</sup> ,07 à 77,4	5,4	5,4
Acide phosphorique . . . . .	18 à 21,7	10 à 11,8	1,9	4,08
Potasse . . . . .	9,63 à 19,6	39,57 à 49,8	6,6	»

mais ceci à la condition que toutes les portions en soient recueillies et que les étables ou les écuries soient disposées à cet effet.

*Litières.* — Les litières sont des couches de substances végétales que l'on dispose sur le sol des étables et des écuries dans un double but : d'abord, leur fournir un coucher doux, et pouvoir être imbibées par les liquides des déjections, puis apporter au fumier une substance particulière, la vasculose. La vasculose est une matière ternaire différente des hydrates de carbone, constituant à elle seule les vaisseaux et les trachées du bois, et qui constitue pour le fumier l'élément primordial comme engrais.

La matière la plus employée pour former la litière est la paille des céréales ; c'est d'abord la plus répandue et, en outre c'est une de celles qui s'imbibent le plus facilement. Le tableau suivant, dû à M. Dehérain, exprime la faculté d'absorption des différentes substances végétales.

Noms des matières absorbantes	Après 24 <sup>h</sup> d'imbi- bition 100kgrs des matières ont retenu d'eau	Nombre de kilogs de matières néces- saire pour remplacer comme litière absor- bant 100 kg de paille de blé
Paille de blé. . . . .	220 <sup>kil</sup>	»
— d'orge . . . . .	285	77
— de pois . . . . .	280	80
— d'avoine. . . . .	228	96
— de féverolles. . . . .	230	67
— de colza. . . . .	200	110
Feuilles mortes . . . . .	200	110
Feuilles de chêne tombées. . . . .	162	136
Genêts . . . . .	111	200
Bruyère séchée à l'air . . . . .	100	220
Fougères . . . . .	212	100
Tiges sèches de topinambour non broyées . . . . .	210	105
Tiges sèches de topinambour broyées	275	80
Aiguilles de conifères . . . . .	150 à 200	125
Mousses . . . . .	250 à 300	80
Tourbe . . . . .	500 à 700	40
Sciure de bois <sup>(Pin</sup>	420	50
<sup>Peuplier</sup> . . . . .	435	50
Tannée . . . . .	400 à 500	48
Sable quartzeux . . . . .	25	880
Marne . . . . .	40	550
Terre végétale séchée à l'air . . . . .	50	440

Il est intéressant de connaître la composition de la paille employée comme litière ; l'analyse immédiate a été faite par M. Hébert, qui a trouvé, pour la paille de blé ;

Eau. . . . .	10,40	
Matières azotées . . . . .	2,42	(Azote . . . . . 0,388)
Matières solubles dans l'éther (Matières grasses et résidus chlorophylliens) . . . . .	1,18	
Matières solubles dans l'eau (cendres déduites) sucres réducteurs, sucres non réducteurs gommes et tannins . . . . .	3,37	
Cellulose . . . . .	33,60	
Vasculose . . . . .	24	
Gomme de paille (calculée en xylose) . . . . .	19,71	
Cendres . . . . .	6,34	
	<hr/> 101,02	

Toutes les litières végétales doivent présenter des compositions analogues ; aussi les réactions de transformation peuvent-elles se produire de la même façon. Au point de vue des éléments utiles, on y trouve :

	Azote	Acide phosphorique	Sels
Paille de blé récente . . . . .	0,24	0,22	3,518
» » ancienne . . . . .	0,49	0,21	2,793
» de seigle . . . . .	0,17	0,15	5,241
» d'orge . . . . .	0,23	0,20	5,734
» d'avoine . . . . .	0,28	0,21	»
Balles de froment . . . . .	0,85	0,57	3,873
Fanes de colza . . . . .	0,75	0,30	5,101
» » vesce . . . . .	0,10	0,28	3,203
» » sarrazin . . . . .	0,48	0,28	3,121
» » fèves . . . . .	0,20	0,22	3,899
» » lentilles . . . . .	1,01	0,48	4,971
» » poids . . . . .	1,79	0,40	»
» » haricots . . . . .	0,10	»	»
» » pommes de terre . . . . .	0,55	»	1,730
» » d'aillette . . . . .	0,95	»	»
Bruyère . . . . .	1	0,18	3,61
Fougère . . . . .	1	0,57	5,89
Tannée . . . . .	0,69	»	6,48

## 2. Formation du fumier

Voyons maintenant comment les excréments solides et liquides se comportent vis-à-vis des litières et comment le fumier prend naissance. Pour cela, nous prendrons comme exemple un tas de 2<sup>m</sup>,50 à 3 mètres de hauteur disposé sur une plate forme.

Si on prend la température à différentes hauteurs, on voit qu'elle est très variable ; tandis qu'elle est de 25° à la base, où le fumier est gorgé d'eau, elle s'élève à 35° vers le milieu, et atteint 70° à la partie supérieure. A quel phénomène est due cette augmentation de température ? M. Dehérain a montré que l'élévation de température est due à une combinaison alimentée par l'oxygène libre, à une fermentation aérobie ; si l'air fait défaut, par exemple au bas du tas, cette fermentation n'a plus lieu, et la température reste basse ; les analyses du gaz pris à différentes hauteurs donnent en effet les résultats suivants :

	Acide carbonique	Oxygène	Azote	Formène
A la partie supérieure. . . . .	21,6	0	78,4	0
Au milieu du tas . . . . .	31	0	35,5	33,3
Au bas du tas . . . . .	37,1	0	14,9	58
Au bas du tas (un autre jour)	22,7	0	0	77,3

Ce qui montre bien que c'est l'accès de l'air qui favorise l'élévation de température, c'est que si, à l'exemple de M. Gayon on enferme du fumier dans un espace parfaitement clos, il dépasse à peine 15°, tandis que du même fumier, mis dans des conditions identiques dans une caisse en treillage de fer, arrive à 72°.

La cause microbienne de cette fermentation est bien démontrée par ce fait qu'elle n'a plus lieu si on a stérilisé au préalable la paille, ou si seulement on l'a soumise à l'action des vapeurs de chloroforme, narcotique efficace pour les microorganismes comme sur l'homme; mais cette influence n'est pas unique, car si au lieu de paille on prend du fumier, dans lequel la transformation est déjà commencée, le chloroforme ralentit beaucoup la production d'acide carbonique, mais ne l'entrave pas complètement; M. Schlœsing fils a trouvé, dans de telles conditions, 3 gr. 5 d'acide carbonique par kilogramme de fumier sec de cheval stérilisé, et 68 gr. 5, dans le même enseimencé de ferment.

La production de formène ou gaz des marais est, comme celle de l'acide carbonique, due à un ferment, car elle cesse dans les mêmes circonstances, mais cette fermentation est anaérobie.

D'où proviennent les ferments agents de ces modifications chimiques? Ils sont fournis par les excréments solides des animaux, et, dans le fumier, ils sont surtout abondants dans la partie liquide, d'où l'utilité des arrosages de la masse avec le purin, qui lui apporte des ferments plus actifs.

Nous savons maintenant qu'il s'établit dans le fumier une combustion due surtout à des fermentations; voyons maintenant quels sont les résultats de ces phénomènes.

Une des premières réactions est la disparition des matières sucrées et de la gomme de paille, qui paraissent être consommées dans la fermentation aérobie. C'est au contraire à la fermentation anaérobie qu'est due l'attaque de la cellulose. C'est donc à la partie supérieure de la masse, là où arrive l'oxygène que les hydrates de carbone solubles et la gomme

de paille sont brûlés ; à la partie inférieure, la cellulose se décompose partiellement, donne du formène et de l'acide carbonique ; enfin, la vasculose se déshydrate, devient partiellement soluble dans les carbonates alcalins, où se dissolvent également les matières azotées : cela forme le liquide noir, épais, qui ruisselle sur les parois du tas et y forme de longues stalactites se fixant sur les brindilles de paille.

Si on recueille ce liquide et qu'on le sature par un acide, l'acide carbonique en est chassé et il se dépose une matière brune, visqueuse, analogue à celle désignée par Thénard, sous le nom d'acide fumique, et qu'il obtenait par l'action des alcalis par la paille ; elle contient 3 à 6 % d'azote, et forme, avec la vasculose, l'élément essentiel du fumier.

Les matières azotées que dissolvent les carbonates alcalins de l'urine, proviennent : 1° des albuminoïdes de la paille, en même temps que la vasculose ; 2° des excréments solides qui ne leur cèdent qu'une partie de leur azote.

Souvent, une partie de l'ammoniaque passe à l'état de matière organique azotée, et cela grâce à l'action des ferments ; ainsi, dans des fermentations très aérées, M. Joulie a constaté la transformation en combinaison organique respective 24,82 % et de 44,5 % de l'azote ammoniacal. Mais la réaction inverse peut se produire, comme M. Schlœsing l'a pu observer.

Souvent ainsi, pendant la formation du fumier, il se produit des pertes considérables d'azote, et ceci sous deux formes, soit à l'état libre, soit à l'état d'ammoniaque.

Les pertes d'azote libre, qui peuvent être sensibles, ont lieu surtout pendant les fermentations aérobies, qui s'accompagnent d'une grande élévation de température.

Quant aux pertes d'ammoniaque, si elles peuvent être considérables quand le fumier est sec, elles sont minimales s'il est convenablement arrosé. Aussi la perception de l'odeur de l'ammoniaque devient-elle un moyen de reconnaître un fumier mal soigné, des écuries ou des étables mal aménagées ; dans l'air de telles étables, MM. Müntz et Girard ont pu décèler 7 à 8 milligrammes d'ammoniaque par mètre cube.

On a préconisé bien des moyens pour éviter ces pertes ; on a proposé d'employer les litières de terre, mais alors la préparation du fumier devient impossible ; on a aussi proposé de mélanger

au fumier du sulfate de fer, du plâtre, des phosphates, pour transformer le carbonate d'ammoniaque, très volatile, en sulfate, beaucoup plus fixe; malheureusement, ce sulfate est lui-même réduit à l'état de sulfure qui forme de nouveau du carbonate et, pendant le temps où il reste à l'état de sulfate, les réactions de formation du fumier sont suspendues, car le milieu est devenu neutre au lieu de rester alcalin, ce qui est indispensable à ces transformations. Cela est bien démontré par des expériences de M. Joulie, qui a constaté les modifications suivantes portant sur l'azote :

	Azote ammoniacal % de la quantité introduite		
	Disparu	Transformé en azote organique	Définitivement perdu
Sans addition. . . . .	49,96	24,82	25,14
Phosphate . . . . .	49,47	20,09	29,38
» et plâtre. . . . .	71,43	17,09	54,34
» » carbonate de chaux	61,40	17,83	43,57
Carbonate de chaux. . . . .	70,41	13,83	56,57
Plâtre. . . . .	67,34	19,98	47,36
Sans addition . . . . .	85,30	44,54	40,76

### 3. Composition du fumier

Le fumier ainsi formé est composé, qualitativement de débris de paille, soit encore grossiers et n'ayant que peu participé aux réactions décrites ci-dessus, soit plus intimement attaqués, et ayant d'une part perdu : 1° des hydrates de carbone facilement attaquables, détruits par fermentation aérobie; 2° de la vasculose dissoute par les carbonates alcalins; 3° de la cellulose détruite par fermentation anaérobie; et, d'autre part, gagné : 1° des matières azotées par les déjections solides et liquides; 2° des matières minérales. Ces débris de paille sont imprégnés d'une matière soluble formée de vasculose dissoute dans les carbonates alcalins et de matières azotées : cette matière soluble a à peu près la composition du purin.

Voici, d'après M. Dehérain, la composition du fumier et du purin :

*Composition élémentaire de divers fumiers*

	Eau	Azote	Acide phosphorique	Potasse
Fumier frais . . . . .	75	0,39	0,18	0,45
» consommé . . . . .	75	0,50	0,26	0,53
» très consommé . . . . .	79	0,58	0,30	0,50
» de Rothamsten . . . . .	76	0,64	0,23	0,32
» » Tréblaine . . . . .	73	0,36	0,82	»
» fermes suisses . . . . .	78,50	0,38	0,22	»

*Composition élémentaire de divers purins.*

Eau . . . . .	991,100	992,492	991,266
Matières organiques . . . . .	1,664	2,216	3,411
» minérales . . . . .	5,260	3,747	5,161
Ammoniaque . . . . .	0,560	1,145	0,162
Azote organique . . . . .	0,051	0,068	0,128
» total . . . . .	0,511	1,140	0,262
Azote phosphorique . . . . .	0,104	0,038	0,137
Potasse . . . . .	2,660	1,890	2,210

L'azote s'y trouve soit à l'état d'ammoniaque, soit à l'état de matière organique ; les proportions, relatives de ces différents corps ont été déterminées ainsi qu'il suit par M. Dehérain :

	Echantillon n° 1	Echantillon n° 2
Azote à l'état de carbonate d'ammoniaque . . . . .	0,045	0,030
» » de sel ammoniacal fixe . . . . .	0,015	0,010
» » organique . . . . .	0,660	0,370
Total . . . . .	<u>0,720</u>	<u>0,410</u>

Ces nombres se rapportent à du fumier mixte, comprenant des excréments de tous les animaux de ferme ; mais les divers animaux fournissent des fumiers de valeur très différente, comme cela résulte des analyses de Wolf, que nous transcrivons ci-après :

	Cheval	Bêtes à cornes	Mouton	Porc
Eau . . . . .	71,3	77,5	64,6	72,4
Azote . . . . .	0,58	0,34	0,83	0,45
Acide phosphorique . . . . .	0,28	0,16	0,23	0,19
Potasse . . . . .	0,53	0,40	0,67	0,60
Chaux . . . . .	0,26	0,31	0,33	0,08
Magnésie . . . . .	0,14	0,11	0,18	0,09

Si nous nous rappelons que l'azote et la potasse sont les éléments qui réagissent le plus énergiquement sur la paille dans la formation du fumier, nous pouvons nous expliquer pourquoi ces deux fumiers fermentent plus activement, ce qui leur a fait donner le nom de fumiers chauds, par opposition à ceux de vache et de porc. Les fumiers chauds conviennent surtout aux terres fortes et humides, les autres aux terres sèches et légères.

On voit que le purin est beaucoup moins riche en azote et en potasse que le fumier ; comme par les carbonates alcalins qu'il apporte favorisent grandement les réactions du fumier, il est facile à comprendre que le cultivateur à avantage à en arroser son fumier plutôt que de l'utiliser directement. Ces arrosages doivent être fréquents, réguliers, mais on doit les renouveler plus fréquemment si le temps est sec et les espacer si les pluies sont abondantes. Au besoin, même, si le purin s'est réduit par évaporation, on peut, suivant le conseil de M. Dehérain, remplir d'eau la fosse à purin et se servir du liquide obtenu pour l'arrosage. Mais, s'il est utile d'arroser le fumier avec du purin, il faut éviter qu'il ne soit lavé par les eaux de pluie.

Il est intéressant de savoir quelle quantité de fumier sont capables de donner les différents animaux domestiques. Girardin l'évalue aux nombres suivants :

Espèce	Poids de l'animal	Prix du fumier par an
Vache laitière à l'étable . . . . .	400	11000
Bœuf à l'engrais . . . . .	500	25000
Cheval de trait . . . . .	600	9000
Bœuf de trait . . . . .	600	11000
Mouton au pâturage . . . . .	40	500
Porc adulte . . . . .	100	1400
	<hr/>	<hr/>
	2240	57900
Rapports . . . . .	»	25

Mais ces nombres sont extrêmement variables, non seulement d'une exploitation à une autre, car, en effet, M. Dehérain donne le rapport de  $\frac{333.50}{2.140} = 15,5$ , mais aussi avec le régime auquel les animaux sont soumis, les animaux à l'engraissement donnant une quantité de fumier beaucoup plus considérable que les animaux qui travaillent.

Cela va nous permettre de déduire à peu près les dimensions qu'on devra donner aux tas ou aux fosses. Si on élève le fumier jusqu'à trois mètres environ, avec des places de 360 mètres carrés, on a un cube de 1.080 mètres, et si le fumier est assez tassé pour pouvoir le couper en tranches nettes avec la bêche, ce qui permet de lui attribuer un poids de 850 kilogrammes au mètre on voit qu'une telle forme contient environ 450.000 kilogrammes de fumier, soit à peu près le fumier produit par 15 bêtes bovines, 7 chevaux, 250 moutons et 22 porcs.

Si on se contente de donner au fumier une épaisseur de 1 mètre à 1<sup>m</sup>,50 quand les fosses sont remplies, il faut donner à celle-ci des dimensions plus étendues qu'aux plateformes.

Pour les fosses à purin, le calcul est plus difficile à faire ; on peut admettre qu'une fosse de 10 mètres cubes suffit pour une place de 360 mètres carrés, si on donne au tas la hauteur de 2<sup>m</sup>,5 à 2 mètres ; si, au contraire, le fumier est étalé, il faut une fosse d'environ 20 mètres cubes.

Nous terminerons ce paragraphe en reproduisant ces lignes de M. Dehérain, que le cultivateur doit bien se graver dans l'esprit : « Tous les agronomes sont d'accord pour répéter aux praticiens que ne pas soigner son fumier, c'est s'exposer à des pertes sérieuses, et il faut reconnaître que, si dans de petites exploitations besogneuses où l'on est incapable de faire les frais de construction d'une fosse, le fumier est encore très négligé, dans tous les établissements bien tenus, on procède aujourd'hui régulièrement à sa fabrication. Les comices, les jurys de prime d'honneur ont très souvent donné des prix aux exploitations dans lesquelles les fumiers étaient bien préparés ; on ne saurait trop multiplier ces récompenses qui excitent les cultivateurs à donner tous leurs soins à cette fabrication, car, bien fait et bien employé, le fumier est le plus efficace de tous les engrais. »

#### 4. *Conservation du fumier et du purin*

L'idéal serait d'employer le fumier au fur et à mesure de sa production, ce qui éviterait bien des pertes. Mais on est forcé au contraire de le conserver jusqu'à l'époque favorable aux fumures, et cela peut se faire par trois procédés.

*Fosses à fumier.* — On peut amener le fumier au fur et à mesure qu'on le sort des étables, dans des fosses de 1 à 2 mètres de profondeur dont le fond est en plan incliné et est rendu imperméable au moyen d'une couche de béton ou de terre très argileuse. Le fumier est ainsi soustrait en grande partie aux influences atmosphériques, mais la décomposition y est assez irrégulière et déjà achevée à la partie inférieure quand elle commence à peine à la surface. De plus, le purin s'accumulant à la partie inférieure, il est difficile de pratiquer les arrosages ; enfin, le chargement du fumier achevé est pénible.

*Plateformes ou tas de fumier.* — La plateforme, facile à disposer, est tout simplement une aire parfaitement étanche, soit fortement battue, si le sol est argileux et imperméable, soit pavée. On la dispose de telle façon qu'elle soit un peu convexe, afin que le purin puisse s'écouler à la périphérie, creusée de rigoles où il s'accumule pour se rendre dans la fosse à purin.

Il y a avantage à disposer la plateforme au Nord, ou de l'abriter par des arbres, pour éviter l'action du soleil. On y dispose d'abord une première couche de fumier chaud, celui des écuries, par exemple, puis on met du fumier de mouton, enfin du fumier des étables, et on renouvelle la même succession de couches jusqu'à une hauteur de 2<sup>m</sup>,50 environ. On recouvre alors le tout de terre ou de boue sur une épaisseur de 20 ou 30 centimètres pour empêcher l'évaporation et le lavage par l'eau de pluie.

A Grignon, les plateformes que nous avons prises ci-dessus pour type dans nos calculs, ont 18 à 20 mètres de long sur 6 de large ; les deux plateformes nécessaires à la ferme-école sont séparées par la fosse à purin, dans laquelle on a disposé une pompe pour les arrosages. En outre, la fosse reçoit directement par des caniveaux les liquides des vacheries, bergeries, écuries.

Nous donnons ci-contre une coupe et un plan de cette double plateforme.

*Conservation sous les animaux.* — Dans ce mode, peu usité, les animaux sont disposés en contre-bas du reste de l'étable ; à mesure qu'ils déposent leurs excréments, on y met des couches de paille, de sorte qu'à mesure de sa formation le fumier se

trouve tassé par les animaux eux-mêmes. Le fumier ainsi produit est plus riche en azote que les autres ; mais son extractien est difficile ; en outre, la température des écuries est ainsi trop élevée, et les animaux y contractent plus facilement des maladies.

*Pertes subies par le fumier.* — Lorsque le fumier fabriqué est abandonné à l'air, il perd de l'azote, et cela d'une façon variable suivant les conditions dans lesquelles il se trouve placé. C'est ce dont M. Voelcker a cherché à se rendre compte par diverses analyses ; il est arrivé aux résultats suivants :

	A l'origine.	Après 6 mois.	9 mois.	12 mois.
Poids du fumier :	—	—	—	—
A l'air libre.....	1.000	704	703	700
Sous un hangar.....	1.000	495	398	379
Étalé.....	1.000	865	612	575
Azote dans le fumier :				
A l'air libre.....	6,43	6,39	4,19	4,55
Sous un hangar.....	6,43	5,91	5,02	5,77
Étalé.....	6,43	4,65	2,47	2,27
Quantité d'eau :				
A l'air libre.....	66,2 %	»	»	74,3
Sous un hangar.....	66,2	»	»	41,6
Étalé.....	66,2	»	»	65,6
Perte d'azote :				
A l'air libre.....				30
Sous un hangar.....				14
Étalé.....				64

Ainsi, le fumier exposé à l'air subit des pertes considérables, la masse se dessèche, la matière organique se brûle, l'ammoniaque se dégage ; il y a même des pertes notables d'azote libre (Reiset, Joulie) ; il ne faut pas oublier cependant que l'accès de l'air est utile à la formation normale du fumier ; pour éviter un excès dans ce sens, il n'y a qu'à procéder à des arrosages méthodiques avec le purin.

#### 5. — *Emploi du fumier et du purin*

Ce que nous avons déjà dit du purin nous dispensera de nous étendre longuement sur ce sujet. L'emploi le plus judicieux

qu'on en puisse faire est incontestablement l'arrosage du fumier. Mais il est encore de nombreux cultivateurs qui en font un emploi direct et le répandent en arrosages sur les terres. Afin que les purins ne brûlent pas les plantes, il y a avantage à les étendre de 2 à 4 fois leur volume d'eau ; cet engrais réussit très bien sur les sols légers, particulièrement sur les prairies. On se sert pour cela de tonneaux roulants spéciaux, qui sont de nombreux systèmes. Un des plus employés est celui de Pilter, en tôle, muni d'une pompe d'aspiration qui en permet le remplissage, et d'un distributeur à vanne pour régler l'épandage du liquide.

Citons aussi le tonneau de Faul, où l'épandage a lieu au moyen d'un robinet qui fait couler le purin en large nappe.

Nous trouvons enfin un appareil tout à fait perfectionné dans les tonneaux de Lalis, de Liancourt, qui ont l'avantage de supprimer toute mauvaise odeur pendant le transport ; l'un est muni d'une pompe, qui permet d'opérer la vidange à distance.

Si on n'a pas un long trajet à effectuer, on peut se servir d'une simple pompe, laquelle sert également au remplissage des tonneaux mobiles. Citons sous ce rapport la pompe Peltier.

Pour ce qui est du fumier, le plus ancien engrais, il faut envisager si son emploi est avantageux et comment on doit le faire judicieusement. Nous allons le faire en prenant les différents cas intéressants.

*Emploi du fumier sur les terres fortes.* — Les terres fortes, terres argileuses, sont peu perméables à l'air et à l'eau, et conservent bien les engrais qu'on leur apporte. Si on y ajoute du fumier frais, très pailleux, on pourra avoir quelque avantage, car le sol deviendra moins compact et les pertes d'ammoniaque seront moins grandes ; la nitrification est peu active, mais le fumier la hâte un peu ; enfin, l'humus persiste longtemps, d'où l'inutilité de la fumure dans ces sols pour les cultures sur lesquels l'action de l'humus est nulle.

Pour les céréales, les pommes de terre, les betteraves, la culture sans fumier donne sur les terres fortes des résultats aussi bons, sinon meilleurs. Ainsi, MM. Lawes et Gilbert ont pu cultiver du blé sur un même sol pendant trente-deux ans sans lui fournir de fumier ; voici le résultat de leurs expériences :

*Culture continue du blé à Rothamsted*  
(moyenne de trente-deux ans)

	Grain en hectol. à l'hectare	Poids de l'hectol. en kgr.	Paille et balles en kgr. à l'hectare
Sans engrais.....	11,81	73,5	1424
Fumier de ferme (35.140 kil.....)	30,15	75	3998
Engrais minéral et 420 kil. sulfate d'ammoniaque, 96 azote.....	29,47	74,4	4223
Engrais minéral et 616 kil. nitrate de soude, 96 kil. azote.....	32,62	74,4	5250
Engrais minéral 672 kil. sulfate d'ammoniaque, 144 azote.....	32,62	74	5075

On voit donc que les engrais minéraux ont été plus efficaces que le fumier ; or, celui-ci était plus riche qu'eux, comprenant à l'hectare 225 kilogrammes d'azote. Il en est de même pour l'orge et le foin :

*Culture continue de l'orge*  
(moyenne de 20 ans)

	Grain en hectol. par hect.	Poids de l'hect. en kil.	Paille en kil. à l'hect.
Sans engrais.....	18	65	1474,6
Fumier, 35,000 kil.....	43,42	67,50	3490,6
Nitrate de soude et engrais minéral.	44,77	66,25	3964
Sels ammoniacaux et engrais minéraux	41,62	67,50	3491

*Récolte de foin sur une prairie naturelle*

	Foin à l'hectare en kgr.
Sans engrais. . . . .	2838
Fumier de ferme. . . . .	5380
Sels ammoniacaux et engrais minéraux. . . . .	7111
Nitrate de soude et engrais minéral . . . . .	7176

*Emploi du fumier sur les terres légères.* — Pour celles-ci, les résultats varient avec l'espèce de la culture. Il résulte des expériences de M. Dehérain que nous rapportons ci-après que le fumier est un peu inférieur au nitrate de soude et à peu près équivalent au sulfate d'ammoniaque, pour l'avoine, un peu supé-

rien aux engrais salins, pour la pomme de terre, de beaucoup supérieur pour le maïs fourrage ; pour la betterave, le résultat varie d'une année à l'autre.

*Culture continue de l'avoine (cinq ans)*

	Grain hectol. à l'hect.	Poids de la à l'hectare
Sans engrais . . . . .	41,6	4283
Fumier de ferme . . . . .	44,2	5576
Nitrate de soude, superphosphate, chlorure de potassium . . . . .	45,8	4756
Sulfate d'ammoniaque, superphosphate, chlorure de potassium . . . . .	44,1	4536

*Culture continue des pommes de terre, variété Chardou  
(cinq ans)*

	Hectol. à l'hect.
Sans engrais . . . . .	244
Fumier de ferme . . . . .	303
Azotate de soude, superphosphate . . . . .	286
Sulfate d'ammoniaque, superphosphate . . . . .	278

*Culture continue du maïs fourrage*

	Fourrage vert à l'hectare
Fumier . . . . .	79.960
Sans engrais . . . . .	47.160
Azotate de soude, superphosphate . . . . .	67.210
Sulfate d'ammoniaque, superphosphate . . . . .	52.370

*Betteraves Vilmorin (par hectare)*

	1876	1877
Sans engrais . . . . .	17.400 kil.	30.600
Fumier . . . . .	19.500	44.000
Azotate de soude, superphosphate . . . . .	21.400	37.100
Sulfate d'ammoniaque, superphosphate . . . . .	15.250	30.100
	1887	1888
Fumier . . . . .	38.550	42.760
Azotate de soude . . . . .	20.700	25.320
Sulfate d'ammoniaque . . . . .	17.000	

*Emploi simultané du fumier et des engrais salins.* — Si on associe au fumier un engrais salin azoté, tel que le nitrate de soude ou le sulfate d'ammoniaque, l'action du fumier sur les terres légères devient plus constante et, surtout, plus considérable ; les récoltes deviennent beaucoup plus élevées. C'est dans ces conditions que le nitrate de soude exerce son maximum d'action, particulièrement pour la culture de la betterave. Voici les résultats obtenus à Grignon, par M. Dehérain :

*Hectolitres de grains recueillis à l'hectare*

	1878	1879	1880	1881
Sans engrais . . . . .	51,10	27,90	53,70	31
Azotate de soude. . . . .	54,40	38,40	46,25	29
Fumier . . . . .	52,30	52,40	43,80	22,75
Azotate de fumier . . . . .	56,20	66,30	82,50	55

*Betteraves Vilmorin à l'hectare*

	1887	1888	1889
Azotate de soude, seul . . . . .	20.700 kil.	»	35.600
Sulfate d'ammoniaque, seul. . . . .	17.800	»	»
Fumier et azotate de soude . . . . .	40.000	40.100	40.050
Azotate de soude et sulfate d'amm.	»	25.320	»

*Fumure.* — On transporte le fumier sur le sol à enrichir au moyen de charrettes ou de chariots. L'époque de la fumure varie avec le mode de culture ; le plus souvent, on la fait à l'automne. On dispose ordinairement le fumier en tas régulièrement espacés, puis, peu de temps après, on le répand au moyen d'une fourche ; on donne ensuite un ou plusieurs labours pour l'incorporer à la terre, et ceci à une profondeur qui varie avec la culture qui doit être pratiquée.

La quantité de fumier à donner par hectare est variable, on peut faire une très forte fumure (au dessus de 60.000 kil. à l'hectare), une forte fumure (de 50 à 60.000 kil.), une bonne fumure (40 à 50.000 kil.) ou une fumure ordinaire (30 à 40.000 kil.). Si on ne dispose que de 15.000 kilogrammes, c'est une demi-fumure : c'est dans ce cas que l'association aux engrais salins est avantageuse.

Il faut, dans cette pratique, prendre certaines précautions ;

ainsi, il ne faut pas laisser longtemps en place les petits tas de fumier avant de l'épandre, à plus forte raison il ne faut pas attendre, lorsqu'il est étalé, pour l'enfourir. Dans ces conditions, en effet, il se produit, soit sous l'influence du lavage par les pluies, soit par l'action de l'air, des pertes considérables d'azote. Lorsqu'on a laissé les petits tas de fumier ou fumeron pendant une semaine à l'air, on peut reconnaître leur place au printemps suivant : la pluie a apporté à cet endroit une fumure exagérée ; le blé y devient d'un vert foncé, est trop fort, trop vigoureux, et verse souvent ; les betteraves y deviennent énormes, très riches en salpêtre, mais peu en sucre. Mais il y a aussi la perte par l'air. Il résulte des expériences faites par M. Dehérain que ce fumier peut aussi perdre, d'une part, toute son ammoniacque ; de l'autre, une partie de son azote organique.

Il faudra donc incorporer le fumier à la masse en fermentation aussi rapidement que possible et, en outre, quand on le conduira aux champs, l'enfourir immédiatement dans la terre, sans le laisser séjourner en fumérons.

### 6. *Modifications du fumier enfoui*

Les fonctions du fumier sont très complexes ; il apporte au sol de la matière ulmique, des carbonates alcalins et de la matière azotée sous deux formes, ammoniacque et matière organique. Or, la matière ulmique maintient en dissolution des matières minérales à un état assimilable, tandis que les carbonates alcalins agissent sur les phosphates insolubles du sol.

L'ammoniacque est la matière organique azotée s'y transformant en nitrates ; la démonstration de ce fait a été faite par M. Dehérain : ayant disposé dans de grands pots des terres différentes bien drainées, chacune libre et en présence de 1/50 de son poids de fumier, et ayant recueilli les eaux de drainage, sans faire aucune culture, il constata, en faveur des terres fumées, les différences enregistrées dans le tableau suivant :

*Nitrification du fumier* (1 kil. renfermant 5 gr. d'azote)

Azote nitrique en milligrammes trouvé en excès dans les eaux provenant  
des terres fumées

Date de la récolte des eaux de drainage	Grignon	Wordrecques	Marmilhat	Palbost
24 mars . . . . .	204	150	129	157
7 avril . . . . .	294	205	199	121
30 mai . . . . .	13	18	150	120
9 juin . . . . .	64	89	114	62
22 juillet . . . . .	154	28	69	7
4 septembre . . . . .	111	33	23	55
11 octobre . . . . .	122	39	67	— 44
	<hr/> 1.093	<hr/> 712	<hr/> 751	<hr/> 478

Dans un cas seulement, donc, les eaux de drainage furent plus chargées dans une terre sans fumure ; on voit, en outre, que la nitrification se produit très difficilement dans les diverses terres. La nitrification, qui est partout très active pendant les trois premiers mois, se ralentit bientôt, mais d'une façon très variable avec l'espèce du sol. Le fumier se nitrifie bien mieux dans une terre légère bien aérée, quand elle est humide, que dans une terre plus compacte, est ceci est particulièrement favorable à la culture du blé. On peut aussi conclure de ces expériences que la nitrification s'exerce successivement sur les deux groupes de matière azotée : elle commence probablement sur l'ammoniaque, plus facilement attaquée par le ferment nitrique ; plus tard, elle s'effectue sur la matière azotée, qui résiste davantage, et qui n'est attaquée vigoureusement que dans une terre très perméable à l'air, comme celle de Grignon.

Pour vérifier cette hypothèse, M. Dehérain a disposé dans trois vases de la terre de Grignon épuisée par la culture sans engrais ; dans l'un il a mis 1 kilogramme de fumier, dans le second l'eau de lavage de la même quantité de fumier ; dans le troisième, enfin, la même eau de lavage privée de sels ammoniacaux ; il a obtenu les quantités suivantes d'azote nitrique.

*Azote nitrique dans les eaux de drainage, en milligrammes*

	30 mai	6 juin	23 juillet	4 sept.	11 oct.
Terre de Grignon avec 1 kil. de fumier . .	76	60	70	74	716
Terre de Grignon avec l'eau de lavage d'un kilog. de fumier . .	82	62	68	72	118
Terre de Grignon avec l'eau de lavage d'un kil. de fumier privée d'ammoniaque . .	74	54	90	90	123

On voit ainsi que c'est la partie soluble du fumier qui est surtout attaquée par le ferment nitrique, et que la dissolution préalable de la matière azotée n'exerce pas grande influence sur l'activité de sa nitrification ; on peut en déduire, en outre, que si, au début, l'ammoniaque entre en jeu pour donner de l'azote nitrifié, la matière organique azotée prend rapidement et conserve l'avantage jusqu'à la fin des expériences.

Une conclusion pratique qui découle naturellement de ces données est que, si on veut fumer une terre forte pour y cultiver une céréale, qui a surtout besoin de nitrates, il faut employer un fumier où la nitrification soit active, c'est-à-dire un fumier peu fermenté, très imprégné d'ammoniaque ; au contraire, le fumier qui est resté quelque temps sur la plateforme sera réservé aux terres légères, qu'il ne se produise pas, par une nitrification trop rapide, une déperdition telle qu'il ne se trouve plus au bout d'un certain temps la quantité d'azote suffisante.

En réunissant les nombres trouvés dans les expériences précédentes, M. Dehérain a pu se rendre compte de la durée d'action du fumier, les vases sans fumier donnant l'azote nitrique provenant de la matière azotée du sol, les autres donnant cette quantité augmentée de celle fournie par le fumier. On a ainsi :

	Terres fumées	Sans engrais	Différences
Grignon . . . . .	2.224	1.131	1.093
Wordrecques . . . .	1.307	595	712
Marmilhat . . . . .	1.411	660	751
Palbost . . . . .	1.505	727	478

Ainsi la moitié environ de l'azote recueilli est due à la nitrification des matières azotées du sol, des débris des cultures antérieures et des anciennes fumures.

Dans le cas où la nitrification a été la plus active, en effet (terre de Grignon) 1/5 seulement de l'azote du fumier a été nitrifié dans l'année de son emploi, le reste devant servir dans les années suivantes.

Il faut donc considérer le fumier comme un engrais lent, accumulant dans le sol des réserves dont l'épuisement est graduel ; aussi, les cultivateurs lui ont-ils donné les noms d'*engrais en terre*, de *vieille force*.

L'emploi du fumier en couverture c'est-à-dire non enfoui, n'a plus la même influence favorable ; on peut le concevoir facilement en tenant compte de sa dessiccation et des pertes considérables d'ammoniaque qu'il subit, et, en effet, il a donné des résultats bien inférieurs à M. Dehérain pour le maïs-fourrage, qui, nous le savons, bénéficie beaucoup de la fumure :

<i>Récolte de maïs, fourrage obtenu</i>		
	1878	1879
40.000 kilos de fumier enfoui. . .	75.000 kil.	87.000 kil.
— — en couverture.	71.600 —	58 000 —

Il en est de même, quoique la différence soit moins marquée pour les pommes de terre, le sainfoin, etc.

#### 7. — *Fumures mixtes. — Composts*

La lenteur de la nitrification du fumier, encore retardée par la sécheresse, explique le grand avantage qu'on a retiré des fumures mixtes ; nous en avons déjà donné des preuves expérimentales, et nous pouvons en connaître maintenant la raison. En effet, dans les deux premiers mois où le fumier est enfoui, 1/10 de son azote seulement est nitrifié, soit 15 kilogrammes environ par hectare, quantité tout à fait insuffisante pour la croissance des céréales, de la betterave, etc. ; si, au contraire, on y a mélangé des nitrates de soude, celui-ci fournit à la plante au moment opportun l'aliment qui lui est nécessaire.

Les *composts* sont des mélanges de chaux et de fumier, utilisés par les cultivateurs de l'Ouest pour leurs terres, pauvres en chaux ; ils font ce mélange dans des fosses où ils éteignent la

chaux avec de la terre, puis y ajoutent le fumier et laissent en contact deux mois avant l'emploi. Cette pratique présente l'avantage de donner aux terres la réaction alcaline qui favorise l'action du ferment nitrique ; une petite quantité d'ammoniaque est bien mise en liberté par la chaux, mais elle est retenue par la terre du mélange, et, lorsque la masse est exposée à l'air, le compost étant divisé en petits tas, puis épandu et enfoui, la nitrification se produit très activement.

On a pu, par cette pratique, doubler les récoltes de certaines terres ; au contraire, si le calcaire existe en quantité suffisante, elle ne produit que des résultats fâcheux.

*Gadoues. — Boues de ville*

On désigne sous le nom de gadoues les détritrus de toute espèce qui sont jetés tous les jours à la rue et ramassés par les ouvriers appelés boueurs ou boueux ; ces ordures sont enlevées dans des tombereaux qui les transportent soit aux environs où ils servent pour les cultures maraichères, soit aux gares, d'où on les expédie au loin.

Les gadoues sont de deux sortes, suivant qu'elles sont fraîches, *gadoues vertes*, soit qu'on les réunit en tas pour leur laisser subir une fermentation qui les transforme en *gadoues noires*.

Ces gadoues constituent un engrais qui présente une certaine valeur, particulièrement quand les frais de transport n'en élèvent pas le prix d'achat. M. Müntz, qui les a analysées, leur donne la composition suivante, pour 1 kilogramme de matière :

	Gadoues					
	vertes de Paris		noires		de Bruxelles	
	des tombereaux	des grilles d'égout des halles	de Bagneux	de Gentilly	juillet	novem.
Azote . . . . .	3,8	2,6	4,5	3,9	3,9	1,7
Ac. phosphorique	4,1	3,1	5,8	4,5	6	4,4
Potasse . . . . .	4,2	2,4	5,2	2,9	3,1	3,2
Chaux . . . . .	23,7	32	37,5	29,5	31,7	27

ce qui leur donne une valeur d'environ 6 à 8 francs.

## CHAPITRE VII

---

### Engrais minéraux

---

Nous en arrivons, avec le chapitre des engrais minéraux, à la partie la plus importante de notre étude ; leur emploi a pris, à notre époque, une extension énorme et, s'ils étaient à peu près inconnus autrefois, ils sont aujourd'hui presque aussi usités que le fumier de ferme. Il s'en faut cependant que l'on ait sous ce rapport atteint l'idéal ; l'éducation des cultivateurs n'est pas assez parfaite pour que tous les préjugés soient vaincus, et, souvent, les progrès faits dans leur esprit ont été anéantis par la mauvaise foi de commerçants peu scrupuleux qui, livrant de mauvais produits, ont permis d'accuser des méthodes qui n'étaient pas responsables des insuccès survenus. Les législateurs se sont d'ailleurs émus de nombreux incidents et ont élaboré des mesures pour la répression de la fraude dans un tel commerce ; d'autre part, l'organisation des syndicats agricoles a permis aux cultivateurs de s'unir, et pour obtenir à meilleur compte des matières de première nécessité, et pour organiser le contrôle de leurs achats. Nous consacrerons une partie de ce volume à ces questions, après avoir successivement étudié les divers engrais chimiques.

L'action des engrais chimiques est plus directe que celle des autres classes, mais plus lente, quelquefois même très lente, quoiqu'ils subissent moins de transformations. Ce sont généralement des sels, dans le sens chimique du mot, c'est-à-dire des corps résultant de la combinaison d'une base et d'un acide ; tantôt c'est la base qui est utile, comme la potasse dans le sulfate de potasse, tantôt c'est l'acide : ainsi est le nitrate de soude (acide nitrique), parfois même les deux servent, par exemple, pour le phosphate de chaux (acide phosphorique et chaux), et le nitrate de potasse (acide nitrique et potasse).

Tous les engrais végétaux ne sont pas des substances naturelles, c'est-à-dire ne se rencontrent pas tout formés dans le sol, comme les nombreuses variétés de phosphate de chaux. Un certain nombre, et parmi eux nous citerons les sels ammoniacaux, sont fabriqués industriellement ; d'autres, recueillis dans le sol, ont besoin de subir des transformations avant de pouvoir être bons aux usages agricoles.

Les substances utiles dans les engrais minéraux sont les mêmes que pour ceux que nous avons déjà étudiés ; comme dans ceux-ci, elles doivent se trouver sous une forme assimilable ; ce sont donc l'azote, azote nitrique ou azote ammoniacal, l'acide phosphorique, la potasse et la chaux. Nous allons étudier successivement les engrais minéraux, classés suivant celui de ces éléments qui domine et lui donne, par suite, ses caractères propres.

## A. Engrais azotés salins

### 1. — *Sulfate d'ammoniaque*

Nous avons indiqué à plusieurs reprises l'origine de l'ammoniaque, c'est-à-dire les produits de décomposition des matières organiques azotées, en particulier les eaux-vannes. Nous avons traité de l'emploi direct de celles-ci ; il nous reste à dire comment on procède pour en extraire l'ammoniaque ; dans certains cas même l'ammoniaque est produite avec les vidanges totales, nous verrons par qu'elle méthode. Enfin, on peut encore retirer l'ammoniaque des eaux d'épuration du gaz d'éclairage et par calcination avec un alcali des matières animales azotées.

*Préparation à l'aide des eaux-vannes.* — Nous savons que, dans les eaux-vannes, l'ammoniaque se produit par une fermentation qui transforme l'urée en carbonate d'ammoniaque ; il y existe en outre d'autres matières azotées.

On se sert pour le traitement des eaux-vannes, d'appareils à colonnes analogues à ceux qui servent à la rectification de l'alcool ; ils sont composés d'une série de plateaux superposés, disposés au-dessus d'une chaudière et communiquant les uns avec les autres. Ces appareils sont continués par un serpentín ascendant où se continue la concentration et un serpentín descendant où s'effectue la condensation. Les liquides sont introduits à la

partie supérieure et s'échauffent au contact des deux serpentins où circulent les vapeurs de condensation ; ils parviennent alors sur les plateaux, où la température est de plus en plus élevée à mesure qu'on descend vers la chaudière, et où le carbonate d'ammoniaque est volatilisé en totalité. Elles arrivent enfin dans la chaudière où on a introduit un lait de chaux qui décompose les sels ammoniacaux fixes et les matières organiques azotées pour donner de nouveau gaz ammoniac.

Les vapeurs ammoniacales se rendent dans des réservoirs contenant de l'acide sulfurique à 50°, qui les fixe énergiquement. Lorsque la saturation est terminée, on fait cristalliser le sel formé.

On peut aussi se servir d'autres appareils, tels que l'appareil Mallet, où on chauffe de même les liquides avec de la chaux et faisant passer les vapeurs dans une série de réservoirs remplaçant les plateaux.

Un mètre cube d'eaux-vannes donne généralement 10 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque.

*Préparation avec les eaux d'épuration du gaz.* — L'ammoniaque que contiennent ces eaux provient de l'azote qui existe en petite quantité dans la houille ; on peut l'en séparer en les traitant par la chaux et recueillant dans l'acide sulfurique.

Le sulfate d'ammoniaque ainsi obtenu peut présenter un gros inconvénient : on y trouve, parfois, comme impureté, du sulfo-cyanure d'ammonium, corps toxique pour les végétaux. On doit se méfier de sa présence lorsque le sulfate d'ammoniaque a une odeur nette de goudron, et on la constate en ajoutant une goutte de perchlorure de fer, qui donne en présence des sulfocyanures, une coloration rouge sang caractéristique. On doit rejeter un sel qui donne ce résultat.

Ces eaux donnent généralement 50 à 64 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque par mètre cube.

On peut en fabriquer aussi en recueillant des produits de la fabrication du coke, qui ont la même origine. On peut se servir alors des fours spéciaux, comme on l'a fait à Bessèges, ou modifier légèrement les fours à coke ordinaires. On peut ainsi recueillir 2 à 2 tonnes 1/2 de sulfate d'ammoniaque pour une fabrication journalière de 300 tonnes de coke.

On pourrait même chercher à utiliser les produits des hauts fourneaux ; on a calculé que, pour l'Ecosse seule, cette utilisation parfaite donnerait annuellement 200.000 tonnes de sulfate d'ammoniaque.

*Emploi du sulfate d'ammoniaque.* — Cet emploi doit être parfaitement réglé : même sur les terres où le sulfate d'ammoniaque est efficace, il peut se faire que l'azote présenté sous une autre forme donne de meilleurs résultats. Ainsi en est-il dans la remarquable expérience de culture continue du blé faite par MM. Lawes et Gilbert, et où les rendements ont été, par hectare :

Nature des engrais	Poids de la récolte entière en kilos	Grains en hectol.	Poids de l'hec.	Paille en kilos
Sans engrais . . . . .	2 340	11,81	73,5	1.424
Fumier de ferme . . . . .	6.371	30,15	75	3.998
Engrais minéral seul . . . . .	2.711	13,72	73,4	1.639
Engrais minéral et 224 kilos sels ammoniacaux renfermant 48 kilos d'azote. . . . .	4.511	21,71	74,4	2.813
Engrais minéral et 448 kilos sels ammoniacaux renfermant 96 kilos d'azote . . . . .	6.615	29,47	74,4	4.223
Engrais minéral et 672 kilos sels ammoniacaux renfermant 144 kilos d'azote. . . . .	7.651	32,62	74	5.075
Engrais minéral et 616 kilos nitrate de soude renfermant 96 kilos d'azote. . . . .	7.819	32,62	74,4	52,50

MM. Porion et Dehérain ont eu des résultats comparables ; sur le sols de Blaringhem et de Grignon l'azote nitrique était aussi plus efficace que l'azote ammoniacal ; à Grignon, même, un excès de sulfate d'ammoniaque devint nuisible à la betterave. M. Dehérain a cherché aussi dans quel état se trouvait le sol après l'emploi de ces engrais salins : « les résidus laissés par les fumures au fumier de ferme ont été très efficaces, ceux qu'a laissé le nitrate de soude ont porté la récolte au-dessus de la parcelle restée toujours sans engrais, mais la terre qui a reçu la faible dose de sulfate d'ammoniaque ne s'est pas trouvée en meilleur état que celle qui n'a pas eu d'engrais, et enfin les

récoltes obtenues du sol qui a reçu la forte dose d'ammoniaque sont inférieures à toutes les autres. » Cela est vrai pour toutes les cultures, et cet effet fâcheux persistant pendant plusieurs années, il doit être dû à une modification dans les propriétés du sol. Pour M. Dehérain, il faudrait plutôt employer, sur les terres légères, le nitrate de soude que le sulfate d'ammoniaque, et il ajoute : « Il est à remarquer que nous ignorons encore profondément quelles séries de métamorphoses subit l'azote dans l'organisme végétal, pour passer de l'état d'acide nitrique ou d'ammoniaque à l'état d'albuminoïdes, et on conçoit dès lors que, bien que les deux matières soient assimilables, elles puissent être utilisées à des degrés différents. Il est vrai que, lorsque les conditions sont convenables, les sels ammoniacaux se transforment en nitrate et que, par suite, après quelque temps, une fumure de sels ammoniacaux équivaldra à une fumure de nitrates; s'il en est ainsi, si très habituellement c'est sous forme de nitrates que l'azote des sels ammoniacaux finit par être assimilé après sa transformation dans le sol, si le sulfate d'ammoniaque est surtout avantageux quand il se transforme facilement en nitrates, nous allons en tirer une conséquence pratique importante, car il est visible que cette nitrification se produira bien plus aisément dans les terres fortes que dans les terres légères. On se rappelle, et au premier abord cette proposition est contraire à la conclusion que nous voulons établir, que la nitrification exige une terre bien aérée, mais si cette condition d'aération est mieux remplie dans la terre légère que dans la terre forte, toutes les autres circonstances qui favorisent la nitrification se trouvent au contraire mieux remplies dans la terre forte; d'abord, la terre légère, surtout quand la petite quantité d'argile qu'elle renferme a été coagulée par les sels solubles, se dessèche plus aisément que la terre forte; or, la nitrification ne se produit que sous l'influence de l'humidité; quand la terre se dessèche, tout s'arrête. En outre, la nitrification n'est facile que dans un milieu renfermant de petites quantités de sulfate d'ammoniaque; en effet, le sulfate d'ammoniaque réagit toujours sur le carbonate de chaux du sol pour donner du carbonate d'ammoniaque, et celui-ci présente une réaction alcaline assez puissante pour entraver la nitrification; elle ne se produira donc que si l'alcalinité du carbonate d'ammoniaque est combattue par les pro-

priétés absorbantes : or, dans la terre légère, les matières colloïdales susceptibles d'absorber l'ammoniaque sont bien moins abondantes que dans la terre légère ; par suite, la nitrification y sera moins facile. »

Ainsi, le sulfate d'ammoniaque est surtout utile comme source de nitrates ; la condition la plus favorable à sa nitrification est la présence dans le sol d'une dose d'humidité convenable.

L'épandage du sulfate d'ammoniaque, comme celui de tous les engrais solubles, doit être fait au printemps, car la transformation hivernale peut être assez active pour entraîner dans le sous-sol tout l'azote introduit, que ne peut fixer la végétation encore peu développée. Les avis sont cependant partagés à ce sujet, car certains praticiens pensent qu'en le distribuant à l'automne, on a l'avantage de donner dès la semaille assez de vigueur au blé pour qu'il puisse supporter les rigueurs de l'hiver. Sur certaines terres d'ailleurs, celle de Grignon, par exemple, la perte est peu accentuée.

La dose à employer, pour les terres fortes, où le sulfate d'ammoniaque trouve vraiment son emploi, est de 150 à 200 kilogrammes par hectare ; il n'y a pas grand avantage à dépasser cette dose.

## 2. Nitrate de soude.

Le nitrate de soude est un produit naturel ; comme le guano, il forme au Pérou, au Chili et en Bolivie d'immenses gisements. Il n'est pas absolument pur : on y rencontre des proportions variables de sel marin, de sulfate de soude et de petites quantités d'iodure et d'iodate de potassium ; ces impuretés forment en général 5 à 6 %.

Son origine paraît être le guano ; on suppose que le ferment nitrique, agissant sur le mélange de sels ammoniacaux et de phosphate de chaux de celui-ci, aurait formé du nitrate de chaux qui, entraîné par les eaux, et rencontrant un gisement de sel marin produit par évaporation, aurait été décomposé par celui-ci en donnant du nitrate de soude et du chlorure de calcium ; celui-ci, très avide d'humidité, se serait fluidifié ainsi que le chlorure de magnésium provenant de l'eau de mer.

Cette théorie séduisante n'explique pas la formation de l'iodate de potasse, car on sait que le ferment nitrique cesse d'agir en présence de grandes quantités de sel.

Le nitrate de soude ainsi extrait est purifié ; on le traite par l'eau bouillante et on fait cristalliser par refroidissement ; le sel alors obtenu contient 94 à 96 % de nitrate de soude, lequel représente à son tour 16,47 % d'azote. Mais on ne le trouve pas toujours tel dans le commerce ; dans un but de fraude, on le mélange à du sable et à du sel marin (5 à 7 %) ; il faut donc s'assurer de sa pureté lorsqu'on en fait l'acquisition ; il est à noter que, grâce à la présence de substances hygroscopiques, ce sel a tendance à se liquéfier.

L'exportation de ce sel, dont les gisements sont connus depuis 1825, se fait aujourd'hui dans des proportions énormes et croissantes ; la consommation annuelle qui était de 1000 tonnes, de 1825 à 1830, atteignit, de 1860 à 1870, 10.000 tonnes. Voici quelques chiffres plus récents :

1881 . . . . .	300.000 à 350.000 tonnes
1882 . . . . .	450.000 à 500.000 —
1883 . . . . .	550.000 à 600.000 —
1884 . . . . .	540.000 —
1885 . . . . .	450.000 —
1886 . . . . .	550.000 —

Néanmoins, les gisements ne sont pas près d'être épuisés ; le seul gisement de Tarapaca pourrait en effet alimenter cette consommation pendant plus d'un siècle.

*Emploi.* — Cet engrais exerce sur tous les sols une influence marquée ; il suffit d'en répandre 200 à 300 kilogrammes par hectare, et le faire au printemps car, étant donnée sa grande solubilité dans l'eau, il serait entièrement entraîné si on le donnait à l'automne.

On doit, avant de le répandre, le concasser et le mélanger à de la terre, puis on le jette à la volée. On l'emploie parfois concurremment avec les superphosphates ; il est alors avantageux de donner séparément ces deux engrais, car les superphosphates contenant toujours de l'acide libre mettent en liberté une petite quantité de vapeurs nitreuses, d'où des pertes sensibles.

Le nitrate de soude n'est pas directement assimilé, car nous savons qu'on ne rencontre pas habituellement de soude dans les cendres des végétaux, mais ce sel réagit contre ceux qu'il rencontre dans le sol et se transforme en azotates de potasse et de chaux, qui sont assimilés. Si le sol est pauvre en potasse, cette transformation peut être difficile et, alors, le nitrate de potasse ou salpêtre, est plus efficace.

Il est quelquefois très avantageux d'employer le nitrate de soude seul ou quelques jours après l'épandage de superphosphates lorsqu'on cultive du blé après des betteraves ayant reçu une forte dose de fumier de ferme.

On peut aussi mêler le nitrate de soude au fumier ; il a ainsi, pour les terres un peu légères, son maximum d'action ; ainsi, à Grignon, M. Dehérain a eu les résultats suivants :

*Culture de l'avoine*

	1878	1879	1880	1881
Sans engrais, . . . .	51,10	27,90	53,70	31
Azotate de soude. . . .	54,40	38,40	46,25	29
Fumier . . . . .	52,30	52,40	43,80	32,75
Azotate de soude et fumier	56,20	66,30	82,50	55

*Betteraves Vilmorin (à l'hectare)*

	1887	1888	1889
Azotate de soude . . . .	20.700 kil.	»	35.600
Sulfate d'ammoniaque . . . .	17.800	»	»
Fumier et azotate de soude .	40.000	40.100	40.050
Azotate de soude et sulfate d'ammoniaque. . . . .	»	25.320	»

M. Gilbert a obtenu à Rothamsted des résultats comparables avec la pomme de terre ; celle-ci, qui fournissait avec le fumier seul 11.534 kilogrammes par hectare, donna 12.161 kilogrammes lorsqu'on le mélangea à des superphosphates, et 14.782 kilogrammes, lorsqu'on donnait simultanément du fumier du nitrate et du superphosphate.

L'emploi du nitrate de soude donne aux herbes des prairies une vigueur plus grande pour résister à la sécheresse ; c'est ce qu'ont montré MM. Lawes et Gilbert pour les mois d'avril, mai et juin 1870, à Rothamsted, où la quantité d'eau tombée a été

inférieure de moitié à la moyenne ordinaire. La récolte du foin conserva, en effet, à peu près sa valeur habituelle sur les parcelles qui avaient reçu du nitrate de soude :

Nature de la fumure	1870	Moyenne de 1856 à 1870	Déficit en 1870
Sans engrais . . . . .	725 kil.	2771	2046
Engrais minéraux et sels ammoniacaux	3625	6527	2092
— — et nitrate de soude . .	7000	7250	250

C'est que les plantes ainsi traitées tirent mieux profit des réserves d'humidité du sous-sol : les racines des plantes qui ont reçu du nitrate de soude deviennent assez fortes, assez puissantes pour aller chercher l'eau qui manque dans les couches superficielles, pénétrer jusqu'à une profondeur où les réserves sont suffisantes pour l'alimenter.

C'est ce qu'on voit dans le tableau suivant, qui indique les quantités d'eau existant à diverses profondeurs après la culture :

Profondeur à laquelle ont été pris les échantillons	Humidité pour 100 dans les sols		
	Parcelle 3 sans engrais	Parcelle 9 engrais minéral et sels ammoniacaux	Parcelle 14 engrais minéral et nitrate de soude
Premiers. . . . . 22,5	10,83	13	12,16
Seconds . . . . . id	13,34	10,18	11,80
Troisièmes. . . . . id	19,23	16,46	15,65
Quatrièmes. . . . . id	22,71	18,96	16,30
Cinquièmes. . . . . id	24,28	20,54	17,18
Sixièmes . . . . . id	25,07	21,34	18,06
Moyenne . . . . .	19,24	16,75	15,13

Les sols qui reçoivent du nitrate de soude subissent des pertes plus grandes que celles qu'on observe sur les terrains fumés avec des sels ammoniacaux représentant la même quantité d'azote ; cela se produit surtout si l'épandage est suivi de pluies abondantes ; malgré cela, comme nous allons le voir, l'emploi du nitrate de soude est plus avantageux que celui des sels ammoniacaux.

*Valeur comparée de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique.* — Cette comparaison a été faite par M. Warington sur deux terres très différentes, celle de Rothamsted (marne argileuse) et celle de Woburn (terre légère, sablonneuse). Toujours la récolte est inférieure pour le sulfate d'ammoniaque, à égalité d'azote; par rapport au nitrate de soude, il a obtenu :

	Rothamsted	Woburn
Orge <sup>(grain.</sup> . . . . .	86,8 %	86,6
<sup>(paille.</sup> . . . . .	89,8	75,9
Froment . . . . .	74,8 à 78,4	95,7

Il est à remarquer, en outre, que le nitrate d'ammoniaque employé seul donne des récoltes passables, tandis qu'il est nécessaire de mêler les sels ammoniacaux à des engrais minéraux; le gain est alors considérable :

*Rendement relatif par rapport au nitrate de soude*

	Sels employés seuls	Sels employés mélangés aux engrais minéraux
Graminées . . . . .	31,3	79,5 à 85,7
Pomme de terre . . . . .	46,7	99,4
Navel . . . . .	26,5	74

Nous savons que l'humidité, qui favorise l'action des sels ammoniacaux, est au contraire une cause de perte pour le nitrate de soude; si on compare en effet les résultats obtenus à Woburn à deux époques différentes, on obtient les résultats suivants :

*Culture du blé*

	Saison humide	Saison sèche
Nitrate de soude . . . . .	23, hect. 45	31,57
Engrais employé . . . . .	18,82	18,87
Sels amoniacaux . . . . .	28,86	23,56
Nitrate et engrais minéraux .	29,34	36,30
Sels ammoniacaux et engrais minéraux.	31,68	26,83
Nitrate (quantité double et engrais minéraux . . . . .	32,24	39,46
Sels ammoniacaux (quant. double) et engrais minéraux . . . . .	39,23	32,92

### B. Engrais phosphatés.

L'emploi des engrais phosphatés n'est pas ancien, surtout en France, et, cependant, dès 1804, Th. de Saussure, qui avait démontré que les phosphates existaient dans tous les végétaux, écrivait ces lignes : « Le phosphate de chaux contenu dans un animal ne fait peut-être pas la 1/500 partie de son poids ; personne ne doute cependant que ce sol ne soit essentiel à la constitution de ses os. J'ai trouvé ce même composé dans les cendres de tous les végétaux où je l'ai recherché, et nous n'avons aucune raison pour supposer qu'ils puissent exister sans lui. »

Ce n'est que graduellement et très lentement que se répandit l'emploi des engrais phosphatés ; M. Dehérain a fait dans son ouvrage un historique complet des phases diverses de cette industrie si variée. Nous ne saurions mieux faire que de les reproduire intégralement :

Une fabrique d'objets d'os fondée depuis de longues années à Thiers, dans le Puy-de-Dôme, paraît avoir fourni à l'agriculture les premiers débris d'ossements qu'elle employa ; toutefois, les bons effets qu'elle en ressentit eurent peu de retentissement, et c'est en Allemagne que semble avoir pris naissance l'usage de la poudre d'os dans la grande culture.

Si l'on en croit Fr. Ebner, ce serait un habitant de Sollingen, M. Fréd. Kropp, qui, en 1802, aurait eu l'idée de substituer les os pilés aux engrais ordinaires employés pour fumer les terres. Malgré le succès obtenu, l'usage des os ne se répandit en Allemagne que très lentement ; mais aussitôt que les bons effets de cette matière eussent été constatés en Angleterre, son emploi prit au contraire très vite un énorme accroissement.

Une usine destinée au broyage des os s'établit à Hull, dans le comté d'York. Les os réussirent si bien, surtout pour la culture des turneps, base de la belle agriculture du Norfolk, qui bientôt, malgré l'énorme consommation de viande du pays, les bouchers furent dans l'impossibilité de suffire aux demandes ; on s'adressa au continent. De toutes parts les os arrivèrent à l'établissement de Hull, auquel plusieurs autres vinrent bientôt faire concurrence ; chacun d'eux livra journallement plus de 2.000 kilogrammes de poudre d'os. En 1822, l'Angleterre tira de l'Allemagne plus de 30.000 kilogrammes d'ossements recueillis sur

les champs de bataille des dernières guerres. En 1825, on expédia du seul port de Rostock, dans le duché de Mecklembourg, près de 2 millions d'os de bœuf pour les manufactures de Hull. L'Espagne exporta également les masses d'ossements provenant de la destruction de la cavalerie anglaise lors de l'embarquement rapide de l'armée de la Grande-Bretagne à la Corogne.

En France, l'emploi des os fut plus lent à se répandre; toutefois, il existait en 1826 plusieurs usines destinées au broyage des os, notamment en Alsace, où l'une d'entre elles fut visitée par Darcet et par Gay-Lussac. Il est remarquable que le propriétaire de cet établissement fut tombé empiriquement sur un des mélanges les plus actifs que puisse employer l'agriculture.

Il mélangeait à 90 parties de poudre d'os broyés 10 parties de salpêtre, pour empêcher, disait-il, la fermentation des os. Les travaux de Boussingault ont montré depuis que l'association du nitrate de potasse et du phosphate de chaux, était une des plus fécondes qu'on pût imaginer : cette poudre se vendait 16 francs les 100 kilogrammes.

*Emploi du noir animal comme engrais.* — L'emploi des os commençait aussi à se répandre dans le Palatinat, quand la découverte du pouvoir décolorant du noir animal pour les sirops de sucre vint encore activer la consommation des résidus d'os.

Payen signalait, dès l'année 1822, les bons effets qu'il avait obtenus de l'emploi comme engrais du noir de raffineries.

« J'ai observé, depuis ces nouvelles modifications apportées dans le travail des raffineries, que les résidus du noir employé au raffinage du sucre pouvaient, dans beaucoup de circonstances, activer la végétation d'une manière très utile; j'ai déjà acquis beaucoup de données certaines des avantages que présente, sous ce rapport, cette matière que les raffineurs étaient obligés de transporter dans les décharges publiques; déjà des quantités considérables ont été répandues avec fruit dans notre plaine de Grenelle et sur quelques autres points de grande culture, et je me propose de publier les effets obtenus de cet engrais nouveau, qui ne peut manquer d'être employé bientôt en totalité et fort utilement. »

Pendant les longues guerres maritimes de l'empire, l'extraction du sucre de la betterave avait commencé à se généraliser; lorsque la paix fut rétablie, elle reprit, après quelques hésitations,

un nouvel essor, en même temps que nos colonies nous envoyaient des sucres bruts à traiter dans la mère-patrie. Ces industries employèrent bientôt des quantités considérables du noir d'os recommandé par Payen, et l'agriculture peut déposer d'une masse énorme de ce produit.

C'est donc vers cette année 1822 qu'on essaya d'utiliser aux environs de Nantes les énormes dépôts de noir animal qui, après avoir servi à la clarification des sucres, s'accumulaient inutiles et gênants aux abords des raffineries de cette ville ; et, moins de quinze ans après, malgré l'esprit de routine des cultivateurs de cette contrée, malgré une hausse énorme de prix, Nantes, ne pouvant plus suffire aux demandes incessantes de l'agriculture bretonne et vendéenne, s'adressait à tous les centres de raffinerie de sucre de France et de l'étranger, et importait annuellement environ 15 millions de kilogrammes de noirs résidus.

Le commerce des engrais, à Nantes, consiste surtout dans la vente du noir animal. Les transactions de cette substance, principalement de mars à septembre, présentent une activité dont il est difficile de se faire une idée, l'orsqu'on n'en a pas été témoin. On voit arriver dans ce port les résidus de la clarification des raffineries de Paris, de Bordeaux, de Marseille, de Livourne, du Havre, d'Orléans, de Londres, de Hambourg, d'Amsterdam, de Stettin, de Kœnisberg, de Venise, etc. ; les noirs en pains de Saint-Petersbourg, de Riga, de New-York ; les résidus de la revivification et du blutage des sucreries indigènes ; les noirs fins provenant de la carbonisation des os, après extraction de la gélatine ; les produits de la calcination des déchets de boutonneries, etc. Toutes ces substances forment par an un total de 17 millions de kilogrammes environ, savoir : 7 millions de noir animal de provenance étrangère et 10 millions de provenance française. Le prix de vente, qui n'était à l'origine que de 2 francs l'hectolitre (du poids de 95 kil.), s'est élevé à 5, 10, 12 et 14 francs ; en 1855, il a été compris, selon les qualités, entre 12 et 16 francs, ce qui correspond à 12 fr., 63 et 16 fr., 84 le quintal métrique (126 à 168 fr. la tonne). A raison d'un prix moyen de 13 francs, on voit que le commerce des noirs pour l'agriculture s'élève à Nantes à une somme annuelle de 2.210.000 francs (\*).

1. Barral et Moll. — Sur l'emploi agricole du noir animal (*Journal d'agriculture*).

Depuis cette époque, les quantités importées à Nantes ont encore augmenté : en 1857, on arrive à 193.000 hectolitres ; en 1858, 246.000 ; en 1859, 259.000 ; en 1860, 255.000. A partir de 1860, Nantes n'est plus le seul lieu d'importation des noirs, et, d'après les chiffres donnés par M. Bobierre, les quantités oscillent de 150.000 à 100.000 hectolitres.

A l'époque où les os pulvérisés commencèrent à être employés par l'agriculture, la chimie agricole était peu avancée, et ne trouva pas immédiatement l'explication de l'effet heureux de ces substances.

M. Fawtier, après avoir rappelé qu'ils renferment trois ordres de substances : des matières alcalines ou terreuses, des cartilages de la gélatine, et enfin de la graisse s'énonce en ces termes : « Nous pouvons négliger un des composés terreux, c'est-à-dire le phosphate de chaux, parce qu'étant indestructible, insoluble, il ne peut servir d'engrais, lors même qu'il se trouverait placé dans un sol humide et dans le voisinage immédiat des racines des plantes, c'est-à-dire dans une combinaison de circonstances douées d'une puissance analytique plus grande que tous les procédés de la chimie inorganique. »

Plus tard, on n'attribua qu'à la gélatine les effets agricoles des os. C'est ainsi que Payen, voulant expliquer les anomalies signalés dans l'emploi agricole du noir animal et la non réussite des os déjà fermentés, s'exprime ainsi : « Ils ne renferment plus, après avoir fermenté pendant quelques jours, que 2/100 environ de gélatine, et n'ont plus d'utilité sensible comme engrais. »

Toutefois, une autre opinion ne tarda pas à s'établir. Depuis fort longtemps, on avait découvert dans les cendres des graines une grande quantité de phosphore. Polt, le premier, paraît l'avoir signalé ; Margraff, puis Vauquelin, et enfin Th. de Saussure, en trouvèrent également.

S'appuyant sur la connaissance de ces faits, Liebig, qui a tout contribué à faire admettre l'influence des éléments minéraux sur le développement des plantes, ne pouvait mieux naître dans l'engrais d'os l'importance du phosphate de chaux.

Ce n'est cependant qu'en 1843 que le duc de Richemond ayant disposé une série d'essais sur l'emploi des os, démontra par des expériences directes sur le sol, que l'action des os calcinés ou

bouillis, privés de tout ou partie de leur matière grasse et de leur gélatine, n'est guère inférieure à celle des os crus, et il en conclut, contre l'opinion générale, que le principe fertilisant des os n'est ni la graisse ni la gélatine, mais bien le phosphate de chaux. Il alla même plus loin, et pensa que ce n'était pas la chaux la partie la plus active des os, mais l'acide phosphorique qui cédait son phosphore aux céréales. Il est peu de travaux scientifiques qui aient eu une influence pratique aussi immédiate que celle du noble agronome anglais. Des expériences nombreuses suivirent bientôt celles qu'il avait imaginées, et, aussi bien en France que de l'autre côté de la Manche, la justesse des vues du duc de Richmond étant reconnue, on songea à utiliser les phosphates fossiles décrits par les géologues et employés seulement jusqu'alors dans quelques localités.

Dans le Suffolk et dans le Norfolk, on exploitait, en effet, depuis un temps immémorial, un dépôt de coquilles, et on l'employait à l'amendement des terres. Ce dépôt est analogue au falun de Touraine, exploité aussi depuis des siècles pour le même usage.

En 1818, puis en 1820, Berthier avait signalé en France l'existence de phosphate de chaux sur la plage du Pas-de-Calais, près de Wissant, et au cap de la Hève, près du Havre, sous forme de nodules disséminés au milieu des galets.

En 1822, le docteur Buckland annonça la présence de nombreux débris animaux, riches en phosphate de chaux, dans le Yorkshire. Plus tard, en 1829, ce savant éminent lut, à la Société géologique de Londres, un mémoire très important dans lequel il fit connaître la découverte faite par lui de nombreux coprolithes, ou *fossil faeces*, dans le lias de Lyme-Regis (Dorsetshire). M. Buckland avait encore trouvé ces mêmes coprolithes dans plusieurs couches du terrain oolithique, dans le grès vert, dans la craie et dans diverses couches sédimentaires. Ces découvertes, restées stériles avant les expériences du duc de Richmond, acquirent bientôt un extrême intérêt. Successivement, M. Acton et M. Nesbit, indiquèrent en Angleterre des gisements de phosphate de chaux fossile, en rognons, dans diverses localités. En 1847, on remarqua que les os ne produisaient aucun effet sur des terres assez fertiles reposant sur un sous-sol de grès vert supérieur et inférieur. Cela devait faire soupçonner que le phosphate

de chaux se trouvait naturellement dans ces terrains ; ils furent analysés par M. Desbit, qui y découvrit une proportion inaccoutumée d'acide phosphorique. La roche, concassée et lessivée, laisse apparaître des nodules renfermant 28 % d'acide phosphorique.

En 1848, M. Paine, de Farnham, sur les propriétés duquel avaient été trouvés les nodules, annonça que ces rognons de phosphate de chaux avaient été employés avantageusement par lui pour remplacer les os pulvérisés.

C'est cette exploitation que vit Dufrénoy, quelques années plus tard ; il constata le bon effet obtenu sur les cultures, mais sans pouvoir connaître la dépense qu'occasionne son emploi, et sans, par conséquent, pouvoir décider l'avantage qui en résulte.

Les géologues avaient décrit depuis longtemps un gisement de phosphate de chaux en Estramadure ; il fut visité de nouveau en 1843 par MM. Daubeny et Widdrington, qui étudièrent les circonstances dans lesquelles il pourrait être avantageusement exploité.

Dès 1847, M. Desbit avait recherché, en commun avec M. Morvis, si les gisements de phosphate de chaux observés en Angleterre ne se continuaient pas en France ; il en avait découvert de nombreux. Ces recherches, continuées en 1855, furent l'objet d'un brevet exploité plus tard par de Molon et C. Thurneyssen.

MM. Mengy et Delanoue avaient également recherché des gisements de phosphate de chaux, et l'un deux, M. Delanoue, exposa, dans la collection des sous-sols de Valenciennes, un certain nombre d'échantillons à l'Exposition Universelle de 1855, où Bandement, professeur au Conservatoire des arts et métiers, les vit et apprécia dès lors cette découverte à sa juste valeur.

Toutefois, la possibilité d'exploiter les gîtes reconnus était encore peu certaine, quand de Molon et C. Thurneyssen présentèrent à l'Académie, sur ce sujet, un mémoire fort intéressant, d'où il résultait qu'il existe dans les départements de l'Est de la France plusieurs gisements de coprolithes ou nodules susceptibles d'une facile exploitation.

Au lieu d'être accueillie avec la satisfaction qu'elle semblait mériter, cette communication rencontra une grande méfiance. Toutefois, si, dans les discussions *a priori* qui s'établirent au

sein de plusieurs corps savants et dans la presse, les nodules trouvèrent des adversaires, ils eurent aussi des défenseurs. L'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Elie de Beaumont, rédigeait un remarquable mémoire sur les gisements géologiques de phosphore, il soutint de l'autorité de sa science les premiers essais tentés avec les nodules, tandis qu'à la Société centrale d'agriculture, E. Baudement leur apportait le concours de son éloquence persuasive et de son fin bon sens.

En 1857, enfin, Bobierre et M. Dehérain adressaient à l'Académie diverses notes dans lesquelles ils montraient que les expériences de laboratoire permettaient de prévoir que les nodules pulvérisés auraient sans doute une influence très heureuse sur les cultures établies dans les terres récemment défrichées, riches en débris organiques ; ce que la suite a pleinement justifié.

Quand il eut été démontré que ces phosphates minéraux ont, en effet, une haute valeur comme matière première de la fabrication des superphosphates ou même comme engrais, après une simple pulvérisation, leur recherche devint plus active et, contrairement à ce qu'on avait cru d'abord, on reconnut que les phosphates sont très abondants à la surface du globe.

On trouva en France les remarquables gisements de phosphorite du Lot qui fournirent à une exploitation active pendant un certain nombre d'années. On découvrit des apatites en Norvège et au Canada ; d'immenses gisements de nodules épars sur le sol en un très grand nombre de points de la Russie, plus récemment des sables phosphatés à Beauval dans la Somme, à Orville dans le Pas-de-Calais, en Tunisie, en Algérie, des gisements de nodules sont signalés et entreront prochainement en exploitation.

Enfin, une source nouvelle de phosphates a été offerte par le traitement de fontes phosphorées, et le produit désigné sous le nom de scories de déphosphoration entre largement aujourd'hui dans la consommation ; la quantité de phosphates exploitable est donc énorme ; non seulement l'agriculture est actuellement abondamment pourvue, mais, en outre, la dissémination des phosphates étant reconnue, il est certain que de nouvelles recherches amèneront la découverte de gisements suffisants pour subvenir pendant de longues années aux besoins agricoles.

Nous n'avons que fort peu de chose à ajouter à cet excellent

résumé historique ; les premiers gisements connus, ceux du Lot (phosphorite concrétionnée) sont aujourd'hui presque épuisés et produisent à peine 5000 tonnes par an ; ceux des Ardennes, presque aussi anciens, ne tarderont pas à l'être, mais il fournissent encore 60 à 65.000 tonnes. Les gisements du Pas-de-Calais fournissent 2000 tonnes ; il en est de même de l'exploitation des nodules jaunes de la Côte-d'Or, dits de l'Auxois (Semur), de l'Yonne (Pourrain, Saint-Aubin-Châteauneuf), du Cher (Saint-Amand, la Guerche, etc.), de l'Indre (Argenton, La Châtre, Calon, etc.), des Deux-Sèvres (Niort, Saint-Maixent), etc.

Il ne reste plus guère du gisement de Beauval que les poches fermées par la craie sénonienne, dans lesquelles ce sable était venu autrefois s'accumuler ; avec le gros gisement d'Orville, et ceux, moins importants de Beauquène, Terraménil, Puschevillier, Tontancourt, Hem-Monam, Auxi-le-Château, Haravesne, Buireaux-Bois, cela représente une production annuelle de 300.000 tonnes, soit plus de la moitié.

Les gisements du Cateau donnant 10.000 tonnes ; dans l'Oise, à Hardivilliers, on en extrait environ 40.000 tonnes. Enfin, M. A. Gautier a récemment signalé dans les Causses de l'Hérault des gisements forts intéressants de phosphate bicalcique (brushite) et de phosphate d'alumine (minervite).

En Allemagne, les phosphates du Duché de Nassau, connus depuis longtemps, sont aujourd'hui à peu près épuisés.

En Belgique, on a découvert sur les territoires de Ciply, Cuesmes, Havré, Mesvin, Spiennes, près de Mons, un immense gisement de craie phosphatée analogue à celui d'Hardivilliers, mais plus étendu. En outre, au-dessus de la craie phosphatée, on rencontre dans un poudingue des nodules jaunes qui n'offrent pas pour l'exploitation une très grande importance. La production annuelle est de 300.000 tonnes.

On rencontre, en Norvège, des apatites cristallisées dans la Laponie ; en Russie centrale, sur tout le territoire compris entre Saint-Pétersbourg, Odessa et Orenbourg, s'étend un immense gisement de phosphates. On rencontre également en Podolie des gisements dont on ne connaît pas encore toute l'étendue ; le phosphate s'y présente sous la forme de gros galets sphériques ayant une texture fibreuse, concrétionnée, à partir du centre, d'aspect gris ou noir. Ils sont encore peu exploités.

On connaît depuis longtemps les phosphorites en nodules de la caroline du Sud ; ce gisement fournit annuellement 500.000 tonnes, dont les deux tiers sont consommés aux Etats Unis. Le Canada fournit lui-même 10.000 tonnes d'apatites cristallisées, colorées en vert. De 1881 à 1889, on a découvert plusieurs gisements dans la Floride, soit dans le fond des rivières, d'où on peut les draguer, soit dans la terre ; on peut en exploiter ainsi 450.000 tonnes.

Mais les contrées qui semblent à l'heure actuelle de beaucoup les plus riches en phosphates sont l'Algérie et la Tunisie, et leur qualité est aussi exceptionnelle. Le sol de la Tunisie semble entièrement phosphaté ; en effet, M. Ph. Thomas a constaté la présence du phosphate sur tout le territoire compris entre la latitude de Kairouan et les Chotts, ainsi que le long de la frontière algérienne.

M. G. Rolland a retrouvé les gisements dans le puissant massif qui sépare Kairouan de la Medjerda, et M. le Mesle au-dessus de la Medjerda, à la limite orientale de la Kroumirie.

Ce sont ces mêmes gisements que M. Wetterlé a découverts, qui s'étendent en amont de la Medjerda, dans la province de Constantine.

L'exploitation des phosphates algériens et tunisiens n'est pas encore très développée ; les seules exploitations importantes sont celles de Souk-Ahras et de Tébessa ; on sait quel bruit a été fait il y a peu de temps autour de celle-ci.

Pour l'étude des engrais minéraux phosphatés, nous les rangerons, suivant leur constitution, en apatites, sables phosphorés et nodules.

### 1. *Apatites et phosphorites.*

On rencontre cette sorte en amas, en filons quelquefois très puissants ; ils sont cristallisés, compacts ; aussi sont-ils plutôt réservés à la fabrication des superphosphates.

Les apatites de Nassau renfermaient de 58 à 79 % de phosphates, le reste étant formé de carbonate de chaux, d'oxyde de fer, d'alumine, de silice et de fluor.

Les apatites de Logrosan, en Estramadure, donnent, par an

50 à 60.000 tonnes ; on en a, d'ailleurs, découvert dans toutes les provinces d'Espagne et du Portugal ; ils ont, comme le montrent les analyses ci-dessous, des richesses très variables en phosphate de chaux :

Apatite de Seguridad .....	89,68 %
Phosphorite de Fortuna .....	78,16
— Cofianza .....	80,77
— Esmeralda .....	84,04
Moyenne des analyses de M. Petermann .....	66,47
— — M. Voelcker (riches) ..	74
— — — (pauvres) ..	56

Les apatites de Norvège contiennent 91 % de phosphate de chaux (Voelcker) 86 (Pétermann).

Voici les analyses de Voelcker :

	Apatite rose	Apatite blanche
Eau hygroscopique .....	0,43	0,19 à 0,30
» de constitution .....	0,40	0,20 à 0,23
Acide phosphorique .....	41,74 à 41,88	41,25 à 42,28
Chaux .....	53,45 à 54,12	53,35 à 56,62
Chlorure de calcium .....	1,61	0,41 à 2,16
Phosphate de fer et d'alumine ..	0,45 à 1,66	0,39 à 0,92
Parties insolubles .....	0,97 à 1,24	0,82 à 0,99
Alcalis .....	0,10	0,17
Magnésie .....	0,20	0,29

Les phosphorites du Tarn-et-Garonne, du Lot et de l'Aveyron, qui donnent par an environ 30.000 tonnes, contiennent 45 % de phosphate, proportion moins élevée que celle des premiers produits de l'exploitation.

Les phosphates du Gard (20.000 tonnes) titrent 60 à 84 %, ceux de la Podolie 75 à 88 %.

On trouve aussi au Canada des gisements importants d'apatites un peu dures, mais très riches, éminemment propres à la fabrication des superphosphates ; voici l'analyse de trois échantillons :

	I	II	III
Acide phosphorique .....	41,54	37,68	30,84
Chaux .....	54,74	51,04	42,72
Oxyde de fer, alumine, fluorures ..	3,03	6,88	13,32
Matière siliceuse insoluble .....	0,59	4,29	15,03
Humidité .....	0,10	0,11	1,09

## 2. Sables phosphatés.

Les sables phosphatés de la Somme et du Pas-de-Calais forment trois variétés : une presque blanche, donnant 80 à 85 % de phosphate de chaux, une seconde colorée en jaune par de l'oxyde de fer, avec 60 à 70 %, une autre, enfin, plus colorée, rouge, contenant 50 %, M. Lindet qui les a analysés, leur donne la composition suivante :

	N° 1	N° 2	N° 3
Phosphate de chaux.....	79,95	65,75	27,39
Carbonate.....	3,71	2,88	1,82
Silice.....	2,70	8,48	31,30
Alumine et fer.....	4,13	10,20	15,13

La craie phosphatée d'Hardivilliers contient 25 à 30 % de phosphate de chaux :

Phosphate de chaux...	26,20
Carbonate.....	62,50
Silice.....	0,73
Alumine et fer... ..	4,20

*Enrichissement des sables et craies phosphatés.* — On peut enrichir les sables et les craies phosphatés pauvres, ce qui se pratique peu en France, où les gisements riches permettent de les négliger.

On se contente, en général, le délayer de sable argileux dans un malaxeur à bras, de tamiser le liquide boueux obtenu à travers un tambour pour en séparer les silex, et de le diriger ensuite dans une série de caniveaux soit en bois, soit en maçonnerie, où le phosphate, plus dense, se dépose le premier ; l'argile, contenant encore malheureusement une certaine quantité de phosphate de chaux, est entraînée dans de grands bassins où elle se dépose à son tour. Ce procédé est très imparfait : on perd ainsi 40 à 45 % du phosphate contenu dans le sable argileux.

Il est bien préférable de procéder comme l'a indiqué M. Lasne, qui a monté à Doullens une usine appliquant sa méthode : l'eau boueuse renfermant le phosphate et l'argile, après avoir subi une première décantation dans un spitzkasten, est dirigée dans une batterie de trois caisses cylindriques, hautes de 4 mè-

tres environ, où elle circule de bas en haut. Le diamètre de ces caisses va en croissant depuis la première jusqu'à la troisième, de façon que le liquide boueux soit obligé, en passant d'une caisse à l'autre, de ralentir sa marche. Il perd alors une partie de la force vive dont il était animé, et laisse déposer le phosphate. Le liquide met alors à traverser l'appareil un temps d'autant plus long que le phosphate qu'il contient en exige davantage pour se déposer.

C'est également en utilisant la différence de densité du phosphate de chaux et du carbonate de chaux que l'on parvient, par une simple lévigation, à enrichir la craie et à éliminer une partie du carbonate de chaux.

On arrive ainsi à faire titrer à la craie d'Hardivillers 50 à 55 % : la craie, après avoir été broyée et délayée dans l'eau au moyen d'appareils spéciaux, est versée dans le décanteur, constitué par une caisse demi-cylindrique en tôle, longue de deux mètres, profonde d'un mètre, portée sur deux tourillons ; elle peut basculer pour déverser le produit qu'elle contient dans l'un ou l'autre des caniveaux placés à droite et à gauche de l'appareil. Dans la caisse, est disposé, soit un agitateur à bras, soit plutôt un gros serpent horizontal en cuivre, percé de trous, par lequel on peut projeter, à l'intérieur de la caisse, de l'eau dans toutes les directions. Le liquide boueux est introduit dans la caisse ; on l'abandonne pendant quelque temps au repos, puis on décante en basculant l'appareil d'un côté. On remet les produits lourds en suspension dans l'eau, soit en faisant arriver de l'eau dans la caisse et en mettant l'agitateur en mouvement, soit en envoyant de l'eau par le serpent percé de trous ; on décante encore les parties légères en inclinant la caisse du même côté, et l'on recommence l'opération six, sept et huit fois ; puis on remet une dernière fois le produit en suspension et l'on sort le phosphate enrichi en basculant la caisse du côté opposé et en faisant tomber le produit qu'elle contient dans le caniveau destiné à le recevoir.

A Ciply, on se sert d'appareils perfectionnés : la craie, qui titre 18 à 20 %, est enrichie à deux degrés. Ou bien on porte le titre à 40 % en la soumettant délayée à un courant d'eau ascendant qui entraîne une partie du carbonate de chaux et laisse au fond de l'appareil, d'où il s'écoule peu à peu, le phosphate

plus lourd (colonne Solvay) ; ou bien on reprend cette craie enrichie à 40 %, pour l'amener à contenir 50-55 % de phosphate de chaux. A cet effet, on dirige le produit, délayé dans l'eau, sur une série de plans inclinés percés de trous avec une vitesse telle que les parties légères soient enchaînées, et que le phosphate, débarrassé d'une partie de son calcaire, se dépose et traverse les trous de ces plans inclinés (appareils Bouchez).

M. Beyer emploie, à l'usine d'Etaves (Aisne), le procédé suivant : la craie (titrant 30-35 %) est tout d'abord séchée, et passe ensuite dans un broyeur ventilateur. Le nuage de craie phosphatée est reçu dans un cylindre horizontal (détendeur) où il arrive tangentiellement. Le cylindre est garni sur les deux tiers de sa surface d'une toile métallique qui laisse poser les particules fines de carbonate de chaux, tandis que le phosphate de chaux, qui, grâce à sa dureté, n'a été que peu écrasé par le broyeur, et qui d'ailleurs est plus dense, retombe dans le cylindre. Il est repris par un nouveau jeu de broyeur et de détendeur, qui achève son enrichissement à 50-55 %.

On peut aussi traiter la craie par une solution d'acide sulfureux, qui transforme le carbonate de chaux en sulfite, puis attaque et dissout le phosphate de chaux. Le sulfite de chaux est presque insoluble dans l'eau, mais il est plus léger que le carbonate dont il provient, et la différence de densité entre le sulfite et le phosphate étant plus grande que celle qui existait entre le carbonate et le phosphate, il devient plus facile de séparer par lévigation les deux produits.

On a proposé d'autres procédés reposant tous sur la calcination préalable de la craie et la transformation du carbonate de chaux en chaux caustique. La craie, une fois cuite, peut être délayée dans l'eau et traitée de nouveau par lévigation. La chaux, étant plus légère que le carbonate de chaux primitif, se sépare aisément du phosphate de chaux. On pourrait, suivant le conseil de M. Lhôte, traiter cette craie cuite par de l'acide chlorhydrique étendu, qui dissout la chaux en formant du chlorure de calcium, et laisse le phosphate de chaux.

Ces réactions sont plus théoriques que pratiques, et ne se réalisent pas aussi facilement qu'on l'espérait ; on pensait en outre que ces phosphates calcinés, thermophosphates, devenaient plus

perméables aux agents du sol, par suite plus assimilables ; aussi a-t-on abandonné ces pratiques.

*Dessiccation.* — La craie et le sable renferment 20 à 25 % d'eau lorsqu'ils sortent du sol ; il en est de même lorsqu'on les a enrichis comme nous venons de l'indiquer ; aussi doit-on les dessécher. Cette opération se fait dans des formes dont il existe de nombreux modèles.

Les fours à plaques de fonte sont le plus généralement employés, quoiqu'ils laissent à désirer. Pour les construire, on creuse le sol sur une profondeur de 80 centimètres sur une longueur de 12 à 15 mètres et une largeur de 8 à 10 mètres. Puis on établit parallèlement à la longueur une série de petits murs en briques que l'on recouvre de plaques de fonte ; on forme ainsi une série de carneaux où l'on fait circuler les gaz chaux provenant d'un ou de plusieurs foyers extérieurs chauffés à la houille. Les carneaux aboutissent du côté opposé à une cheminée d'appel. On étale le phosphate d'un côté du four, parallèlement à la longueur ; à mesure qu'il se dessèche, on le pousse du côté de la cheminée et on en met de nouveau au côté libre ; mais cette manière de faire exige beaucoup de charbon et de main-d'œuvre.

Le four Solvay s'applique très bien à la dessiccation de la craie enrichie ; il est formé d'une caisse en maçonnerie de 15 centimètres de long sur 3 de large et 2 de profondeur, isolée du sol par des piliers en maçonnerie et fermée à la partie inférieure par une grille à barreaux rapprochés.

A l'intérieur, on dispose en échiquier deux rangées de tuyaux de fonte de 20 centimètres de diamètre où circulent les gaz chauds provenant d'un foyer de houille. On étale la craie à la partie supérieure où elle se maintient tant qu'elle est humide entre les tuyaux de fonte, grâce à sa plasticité. A mesure qu'elle se dessèche, elle glisse à la surface de ceux-ci, s'échappe à travers les barreaux de la grille et tombe à la partie inférieure du four.

Un autre four, dû au même inventeur, est formé d'un double foyer terminé par une longue cheminée de section carrée, formant carneau, et inclinée, dans laquelle se meut un tablier sans fin formé de plaques de tôle.

On dispose sur celles-ci le sable à dessécher, il est ainsi entraîné

et soumis à la chaleur du foyer ; au point où le tablier se réfléchit, le sable est presque déshydraté ; il tombe alors dans un autre appareil formé de plateaux superposés où il achève de se dessécher.

L'appareil le plus parfait pour cette dessiccation est sans contredit le séchoir Ruelle. Il est composé d'un four dont le foyer est surmonté de tuyaux en fonte recourbés en V où on envoie de l'air au moyen d'un ventilateur ; l'air ainsi chauffé pénètre en même temps que les gaz du foyer dans le séchoir proprement dit, constitué par un cylindre rotatif mis en mouvement au moyen d'une roue dentée et sur la surface intérieure duquel est fixé un ruban hélicoïdal de tôle ; ce cylindre en contient un second, d'un volume un peu moindre et construit de la même façon. C'est dans celui-ci, et à l'extrémité opposée au foyer, qui pénètre le sable humide : celui-ci est entraîné par l'hélice jusqu'à l'autre extrémité, où il passe, grâce à de petites fenêtres, dans l'espace annulaire, pour y accomplir le même trajet en sens inverse. Les gaz chauds du foyer pénètrent dans ce séchoir à la température de 450° et en sortent humides, à 100° : on les fait alors passer dans une chambre où se dépose le phosphate de chaux qu'ils peuvent entraîner.

### 3. — *Nodules ou pseudocoprolithes.*

Les nodules ont une origine manifestement organique, comme le prouve la quantité relativement considérable de substances carbonneuses qu'on y rencontre.

On rencontre ces phosphates dans les grès verts ; ils ont une couleur variant du gris au vert sale, quelquefois même plus foncés.

Voici la composition de quelques nodules, d'après M. Delatre :

	Chesnois Auboncourt	Grandpré Gaize	Grandpré Sables verts	Dombasles —	Les Islettes	Rarécourt —
Eau à 100° . . . . .	2,15	1,15	2,20	1,75	1,90	1,85
Matières volatiles	3,75	4,90	4,55	4,80	5,05	4,70
Acide phosphoriq.	16,69	23,46	19,57	18,23	18,74	17,58
— sulfurique..	0,79	0,89	0,85	0,79	1,20	0,85
— carbonique.	4,70	5,65	5,80	4,50	4,80	4,20
Fluor. . . . .	1,75	1,62	1,66	1,31	1,48	1,25
Chaux . . . . .	26,68	40,48	31,81	27,66	29,23	27,04
Magnésie. . . . .	—	0,50	0,36	—	0,39	—
Alumine. . . . .	2,47	2,15	3,36	2,30	2,57	2,47
Oxyde de fer. . . . .	3,77	2,87	4,39	5,85	5,46	4,95
Silice. . . . .	37,16	15,40	24,80	32,06	28,74	35,18
	<u>100,11</u>	<u>99,07</u>	<u>99,85</u>	<u>99,25</u>	<u>99,56</u>	<u>100,07</u>
Equivalent de l'a- cide phosphori- que en phospho- le de chaux. . . . .	36,43	51,22	42,73	39,79	40,90	38,37

soit, en moyenne, 41,86 de phosphate de chaux ; M. Dehérain, de son côté, a trouvé, après de très nombreuses analyses, 41,4. Les nodules anglais sont souvent plus riches, car M. Voelcker donne 52 à 57.

M. Yennelow a donné, pour les nodules de Spask, les chiffres suivants :

Argile et sable. . . . .	9,50	59,70
Acide phosphorique. . . . .	27,48	12,63
— carbonique. . . . .	3,95	1,98
— sulfurique. . . . .	1,08	0,44
Chaux. . . . .	42	18,54
Magnésie. . . . .	0,40	—
Oxyde de fer et alumine.	3,19	—

Les nodules du sud de la Tunisie, très friables, renferment environ 60 % de phosphate de chaux.

Les nodules des Ardennes sont ordinairement sous forme de rognons arrondis, lisses ou mamelonnés, d'une grosseur allant de celle d'une noix à celle du poing ; ils sont compacts, grisâtres ou brun verdâtre ; ils sont assez durs et on les rencontre tantôt isolés dans le sable, tantôt agglomérés. Les nodules du Cher et de l'Indre ont les mêmes dimensions ; ils sont ordinairement empâtés dans un limon ferrugineux et quelquefois dans un caire compact ; ils sont très friables.

Les nodules de la Côte d'Or sont blanc grisâtre ; ceux du Boulonnais sont formés de concrétions amorphes mélangées avec des débris de fossiles, surtout des ammonites ; ils sont très durs, ont souvent la contexture de la porcelaine et leur grosseur varie de celle d'une noisette à celle d'une orange ; ils sont de coloration brune avec des reflets bleuâtres.

Les nodules de Pernes sont poreux, brun verdâtre, sphériques et quelquefois assez volumineux. Exposés un certain temps à l'air, ils se débitent et s'écrasent très facilement.

Voici la composition de quelques-unes de ces variétés :

	Pernes	Cher		Boulonnais		
		I	II	Surques	Nabringhem	Fiennes
Eau à 100°.....	0,59	1,15	1,60	1,85	1,40	1,40
Matières volatiles au rouge sombre	—	1,75	2,80	4,85	5,60	5,30
Acide phosphoriqu.	20,97	18,61	29,29	17,01	23,52	20,72
— sulfurique..	1,20	0,27	0,72	0,89	1,06	0,89
— carbonique..	6,40	1,20	3,20	3,75	4,30	4,20
Fluor. ....	—	1,66	1,63	1,83	1,90	1,83
Chaux .....	44,46	25,25	40,32	26,15	34,77	33,71
Magnésie.....	0,50	—	0,07	traces	0,04	traces
Alumine.....	2,12	1,90	2,56	2 62	3,53	3,25
Oxyde de fer...	1,60	2,95	8,28	3,10	3,19	3,15
Silice.....	10,50	44,74	8,90	37,12	20,60	25,20
Equivalent de l'a- cide phosphori- que en phospho- te de chaux...	—	40,62	63,94	37,13	51,36	45,23

Comme les nodules ne se trouvent pas à une grande profondeur, on les extrait souvent à ciel ouvert ; si leur siège est moins superficiel, on creuse des galeries que l'on boise au fur et à mesure. Les nodules extraits sont lavés à la main ou mécaniquement, broyés dans des concasseurs, puis moulus.

*Enrichissement des nodules.* — Dans la Meuse et les Ardennes, on débarrasse les nodules des sables verts argileux qui les entourent, soit par criblage ou fanage, soit par lavage. Dans le premier cas, on les expose au soleil pour dessécher le sable argileux, puis on les passe à travers un crible à larges mailles, qui laisse passer le sable et les cailloux et retient les nodules. Si une

seule opération ne suffit pas, on la renouvelle une seconde fois.

On peut aussi placer le minerai dans des auges plates en bois dans lesquelles on fait circuler de l'eau ; on les agite au moyen d'un croc ou d'un râteau jusqu'à ce que tout le sable vert ait été entraîné.

Les nodules, comme les sables, sont humides et doivent subir la dessiccation, qui se fait dans les mêmes appareils.

*Mouture des phosphates.* — Cette mouture, surtout nécessaire aux nodules, doit être appliquée aux autres sortes de phosphates lorsqu'ils sont trop volumineux, de façon à les amener à un degré de finesse tel qu'ils puissent, soit être assimilés rapidement si on doit les employer en nature, soit être facilement attaqués par l'acide sulfurique pour leur transformation en superphosphates. Ils doivent passer à travers un tamis numéro 70.

On concasse d'abord les nodules dans un broyeur à mâchoires ou à cylindres en fragments de la grosseur d'une noisette, puis on les pulvérise au moyen d'une paire de meules horizontales en pierre. Enfin, le produit est bluté. Les sables et les craies sont d'abord tamisés, et le résidu du blutage est traité de la même façon.

#### 4. *Scories de déphosphoration.*

Le phosphore existe en plus ou moins grande quantité dans la plupart des minerais de fer ; sa présence dans la fonte ne présente pas d'inconvénients, mais, sauf certains cas spéciaux, il est très nuisible à la bonne qualité de l'acier et doit être éliminé dans la fabrication de celui-ci. Cette élimination s'est faite longtemps au moyen du convertisseur Bessemer, qui tend à être abandonné aujourd'hui : dans cet appareil, la fonte est liquéfiée, puis on y injecte un fort courant d'air qui oxyde le phosphore, le soufre et le silicium qui entrent en combinaison avec la chaux pour former une scorie ou laitier. Celui-ci forme une masse noire lourde, qui surnage l'acier et se sépare par refroidissement : on l'abandonne à l'air, où elle se débite peu à peu, si elle n'est pas

trop chargée de silice. On les concasse, puis on les broie pour les livrer à l'agriculture, au lieu de les rejeter comme on le faisait jusqu'en 1882.

On ne peut employer pour ce broyage les meules de pierre ou même les meules métalliques, qui seraient rapidement détériorées par les grains d'acier emprisonnés dans la scorie. On se sert alors d'un broyeur à boulets.

Ce broyeur est formé d'un tambour rotatif A de 0<sup>m</sup>,80 de diamètre, garni extérieurement de barreaux d'acier très rapprochés; autour de ce tambour est disposée une toile métallique F qui sépare les parties moulues et rejette, par le jeu de colimaçons, les gros fragments à l'intérieur du broyeur. Le travail du broyage est effectué par une série de boulets d'acier, de grosseurs différentes, qui roulent à l'intérieur du tambour rotatif et écrasent progressivement les fragments de scories qui pénètrent par le tuyau D.

La valeur de ces scories réside dans leur acide phosphorique, qui s'y trouve en proportion très variable, mais sous une forme partiellement attaquable par les réactifs neutres. Or, on admet que les phosphates sont d'autant plus facilement assimilables qu'ils sont plus solubles dans ces réactifs. Aussi, les scories de déphosphoration donnent-elles des résultats comparables aux superphosphates dans les sols où les phosphates naturels n'ont que peu ou pas d'action.

Voici quelques analyses de ces résidus :

	Scorie du Creusot	Scorie de Westphalie	
Acide phosphorique.	17,90	19,33	
Chaux.....	58,50	47,60	
Silice.....	10,35	6,20	
Fer.....	12,60	9,74	} à l'état de protoxyde
Manganèse.....	0,30	9,50	
	<u>99,65</u>		
Acide carbonique...		1,72	
Soufre.....		0,56	
Argile, sable.....		2,68	
Alcalis, magnésic...		2,07	

*Analyses de M. Grandeau.*

Acide phosphorique.....	7	à	20 %.
Chaux.....	36	à	45
Magnésie.....	3	à	8
Silice.....	6	à	8
Protoxyde de fer.....	12	à	22
— manganèse.....	4	à	6
Acide sulfurique.....	0,2	à	0,6
Alumine.....	1	à	12

La quantité de ces scories consommée actuellement en France est de 50.000 tonnes par an.

*5. Phosphates d'origine animale.*

Ils comprennent les os, le noir animal et les guanos ; nous avons déjà étudié ces engrais à propos des engrais animaux, nous ne faisons que les rappeler ici.

*6. Superphosphates.*

Les superphosphates sont des engrais artificiels obtenus au moyen des phosphates naturels. Ceux-ci sont en effet des phosphates tribasiques, c'est-à-dire des sels dans lesquels l'acide phosphorique est complètement saturé par les bases ; or, de tels phosphates, quand la base est la chaux, ce qui est précisément le cas, sont totalement insolubles dans l'eau. Il n'en est plus de même si l'acide phosphorique est incomplètement saturé et qu'on ait affaire à des phosphates acides ; la fabrication des superphosphates tend à l'obtention de tels produits. Elle prend chaque jour une importance plus grande.

Grâce au bas prix des matières premières, des fabriques d'acide sulfurique s'installent de tous côtés dans le but unique de fabriquer ces engrais. D'autres adjoignent cette fabrication à la leur ; ainsi, la Compagnie de Saint-Gobain l'a développée d'une façon très active ; elle produisait en 1878, 20.000 tonnes ; en 1889, 110.000 tonnes et en 1892 elle a dépassé 200.000 tonnes. La production totale de la France dépasse actuellement 500.000 tonnes.

C'est Liebig qui a proposé de traiter les phosphates de chaux tricalciques par l'acide sulfurique pour les ramener à l'état de phosphates acides. La réaction n'est pas complète et l'on obtient un mélange de phosphate acide, de phosphate non attaqué, de sulfate de calcium et même (Dehérain) d'un peu d'acide phosphorique libre.

D'après Frémy, il y aurait deux phases dans cette préparation : 1° Mise en liberté des deux tiers de l'acide phosphorique; 2° Attaque du phosphate tricalcique resté intact par l'acide ainsi formé.

M. Millot a démontré que, lorsqu'on attaque du phosphate de chaux par l'acide sulfurique en employant la quantité d'acide suffisante pour transformer en plâtre la chaux du carbonate et les deux tiers de celle du phosphate, on constate toujours, après refroidissement de la masse, la présence d'acide phosphorique libre et qu'il reste du phosphate et du carbonate non attaqués.

La proportion d'acide phosphorique mise en liberté varie suivant les cas, elle est d'autant plus forte que : 1° les poudres sont moins fines, les grains se recouvrant d'une couche de sulfate de chaux qui empêche l'attaque immédiate de l'intérieur des grains; 2° l'acide est plus concentré et, par conséquent, la température plus élevée; 3° le phosphate est d'une texture plus ou moins facilement attaquant à l'acide.

Cet acide mis en liberté dans la masse en présence de phosphate inattaqué réagit sur ce dernier, la proportion de phosphate acide et, par conséquent, la solubilité augmente. Ce n'est que lorsque l'acide manque et que le phosphate est très attaquant qu'il se forme du phosphate bicalcique.

M. Kolb a en outre montré que, si on emploie des poudres sèches et de l'acide relativement concentré, les réactions ne sont pas les mêmes qu'avec de l'acide étendu. Il ne se forme pas de phosphate acide : le phosphate monocalcique même en solution se décompose partiellement et donne un précipité de pyrophosphate bicalcique; 2° entre 120 et 150°, le plâtre devient anhydre et celui-ci décompose le phosphate monocalcique en absorbant l'eau nécessaire à ce dernier; 3° si on met l'acide sulfurique en présence de phosphate monocalcique et tricalcique, l'acide laisse le phosphate tricalcique intact et décompose l'autre.

Aussi, la composition des superphosphates varie-t-elle avec le degré de concentration de l'acide employé et avec la nature des phosphates originels. Voici, par exemple, des analyses dues à M. Voelcker :

	Coprolithes et poudre d'os	Minéral	Coprolithes	Poudre d'os
Eau.....	22,83	19,26	8,96	24,33
Matière organique.....	4,88	16,12	9,53	5,04
Bi-phosphate de chaux (soluble) ..	8,28	6,38	17,80	17
Equivalent au phosphate bicalcique	(12,91)	(9,94)	(27,87)	(26,52)
Phosphates insolubles.....	16,21	22,16	7,80	9,89
Magnésie.....	5,33	5,16	}	49,46
Sels alcalins.....				
Sulfate de chaux.....	37,42	25,10		39,25
Matières siliceuses insolubles. ..	4,85	5,82	6,45	1,68
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

On recherche pour la fabrication des superphosphates les produits pauvres en alumine et en fer. M. Millot a en effet montré que le phénomène connu sous le nom de rétrogradation, sur lequel nous reviendrons, est dû à la présence de l'alumine et du fer et à la formation de phosphates complexes insolubles. Aussi, les nodules ne sont-ils pas utilisés dans ce but ; on les a abandonnés pour les sables et les craies phosphatés, qu'on traite seuls aujourd'hui par l'acide sulfurique.

La craie, même pauvre en phosphates, est, aujourd'hui, assez appréciée ; son emploi permet de travailler plus rapidement et de faire produire aux appareils un rendement plus considérable. Pour qu'un superphosphate fasse prise rapidement et puisse être manipulé, séché et expédié en quelques jours, il faut en effet qu'il renferme une assez grande quantité de sulfate de calcium. Dans ces conditions, par suite du dégagement d'acide carbonique provenant de l'action de l'acide sur le carbonate de calcium, le produit se boursofle, lève, et la masse une fois solidifiée peut être aisément désagrégée. Or, certains phosphates sont pauvres en carbonate de calcium et donnent un superphosphate quelquefois riche en acide phosphorique, mais qui se travaille mal : aussi le fabricant y ajoute-t-il de la craie phosphatée, ce qui l'appauvrit mais lui donne une plus grande rapidité de prise.

La première difficulté à résoudre dans cette fabrication est la détermination exacte de la quantité d'acide à employer. Si, en effet, on emploie un excès d'acide, on a un produit très chargé d'acide phosphorique libre, qui ne sèche pas ; si, au contraire, on n'en a pas mis assez, une partie des phosphates n'est pas attaquée.

On peut faire une analyse complète du phosphate à traiter, déterminer la chaux combinée à l'acide carbonique, au fluor et à l'acide phosphorique, puis calculer la quantité d'acide sulfurique à employer pour se combiner à la chaux unie à l'acide carbonique et au fluor et enlever les deux tiers de la chaux à l'acide phosphorique. Cette quantité théorique doit être augmentée de la moitié de celle qui serait nécessaire pour se combiner au dernier équivalent de chaux, afin de donner un peu d'acide phosphorique libre.

On peut encore, suivant le conseil de M. Kieulen, introduire 20 grammes de phosphate finement pulvérisé dans un ballon jangé d'un litre, y ajouter un excès d'acide sulfurique à 33°, par exemple 40 centimètres cubes renfermant 20 grammes d'acide, et chauffer deux heures au bain-marie à 50° ; on laisse alors refroidir et complète le volume à un litre. On en prélève 50 centimètres cubes, représentant 1 gramme de phosphate et 1 gramme d'acide, et on titre l'excès d'acide avec la potasse normale, jusqu'à trouble persistant. L'acide sulfurique en excès est ainsi neutralisé et il ne reste plus que l'acidité due au phosphate ; connaissant la quantité d'acide neutralisé, on le retranche de la quantité primitive et on a la proportion d'acide nécessaire à l'attaque de 1 gramme de phosphate.

La fabrication des superphosphates comprend un certain nombre d'opérations que nous allons passer en revue. On commence d'abord par réduire la matière première en poudre fine après l'avoir desséchée au four ; cette pulvérisation se fait au moyen de meules ou de broyeurs suivant la dureté du produit.

Les nodules sont concassés à une grosseur déterminée par l'écartement des deux plaques d'un concasseur ; on obtient ainsi des morceaux de 1 à 2 centimètres qu'on fait passer entre des cylindres à surface très résistante (fonte trempée) tournant autour d'axes métalliques. Les coussinets de l'un sont fixes, les

autres mobiles et maintenus par un ressort : on évite ainsi le bris de l'appareil dans le cas d'une résistance trop forte.

On obtient ainsi un produit de la grosseur d'un grain de blé qu'on blute dans des blutoirs en toile métallique ; de là, la poussière est transportée dans les malaxeurs.

Ceux-ci peuvent être continus ou discontinus. On employait autrefois de préférence les premiers, dans lesquels le phosphate et l'acide, arrivant en tête, cheminaient le long de l'appareil, mélangés par des agitateurs, et sortaient à l'extrémité à l'état de superphosphates. On a reconnu que l'arrivée du phosphate et de l'acide était irrégulière et que le superphosphate obtenu n'avait pas une composition homogène. Aussi les a-t-on abandonnés pour se servir de malaxeurs discontinus.

Ceux-ci sont généralement formés d'une cuve hémisphérique en fonte de 1<sup>m</sup>,30 à 3 mètres de diamètre dans laquelle se meut un agitateur à palettes destinées à brasser le mélange. Deux ouvertures sont ménagées dans le couvercle : l'une est destinée à l'introduction de la matière première et de l'acide ; la seconde donne accès dans une cheminée d'appel à fort tirage pour l'évacuation des vapeurs produites. 100 à 200 kilogrammes de phosphate sont ainsi versés dans le malaxeur ; on met les agitateurs en mouvement, et en quelques minutes le superphosphate est fabriqué. Les opérations se succèdent avec une telle rapidité que l'on peut, à l'aide d'un malaxeur de ce genre, opérer aussi rapidement qu'avec un appareil continu.

A la partie inférieure de la cuve est ménagée une ouverture au moyen de laquelle on peut évacuer le superphosphate terminé soit dans des wagonnets soit, par des conduits, dans des chambres en maçonnerie.

Nous signalerons aussi le malaxeur employé à l'usine Rohart, à Aubervilliers. Il est formé d'un cylindre horizontal muni d'un agitateur semblable à un batteur de machine à battre ; il est surmonté d'un tuyau communiquant avec la cheminée et présente une ouverture, fermée par une toile, pour l'introduction des phosphates. L'acide sulfurique est fourni par un vase à écoulement constant ; une ouverture inférieure permet de faire écouler le produit terminé.

La fabrication des superphosphates est très insalubre pour les ouvriers ; il se dégage des vapeurs irritantes d'acide sulfurique,

d'acide fluorhydrique et de l'acide carbonique. La plus grande partie est entraînée par les cheminées des appareils, mais on s'est en outre préoccupé des vapeurs qui peuvent leur échapper; aussi les pièces où se fait cette fabrication et les caves où le superphosphate fait prise sont-elles reliées à un aspirateur. Sur le trajet des vapeurs, on dispose une colonne de bois dans laquelle tombe une pluie d'eau que les vapeurs sont obligées de traverser de bas en haut. Pour répartir cette eau et augmenter la surface d'absorption, on remplit cette colonne de coke; dans beaucoup d'usines, on remplace le coke par une série de grillages en bois sur lesquels l'eau vient ruisseler.

On a longtemps hésité à dessécher les superphosphates, car la chaleur favorise la rétrogradation; mais on tend à le faire aujourd'hui, en employant des fours et des procédés spéciaux qui réduisent cet inconvénient au minimum. Ce sont, soit des fours fixes à plaque de fonte, soit des étuves, soit des fours au milieu desquels circulent d'une façon continue des plaques de tôle montées sur une chaîne sans fin et chargées de superphosphates, etc. (appareil Solvay), soit enfin des tours à étages, analogues aux tourailles de brasserie, sur lesquelles le phosphate se dessèche peu à peu.

On a essayé, pour la fabrication des superphosphates, d'autres procédés que l'emploi de l'acide sulfurique. On a proposé, par exemple, l'emploi de l'acide phosphorique, qui produit un enrichissement du produit naturel; on attaque des phosphates pauvres par l'acide sulfurique, on dilue d'eau le produit boueux, de façon à le faire passer au filtre-pressé; on recueille le liquide; qui renferme, après lavage, de 7 à 8 % d'acide phosphoriques on concentre cet acide et on le fait agir sur le phosphate.

*L'American phosphate and chemical Company* a breveté un procédé qui consiste à diluer l'acide sulfurique, non pas avec de l'eau, mais avec une solution phosphorique obtenue comme ci-dessus, à recueillir au filtre-pressé la solution phosphorique qui s'est ainsi concentrée, à diluer à l'aide de cette nouvelle solution de l'acide sulfurique destiné à attaquer une nouvelle quantité de phosphate, et ainsi de suite, de façon à avoir finalement une solution d'acide phosphorique à 30° B. Les eaux de lavage des tourteaux rentrent dans le travail.

*Superphosphates azotés.* — Nous avons déjà parlé du procédé de M. Aimé Girard qui consiste à utiliser les animaux morts en les traitant par l'acide sulfurique concentré; on obtient ainsi un acide sulfurique azoté, que l'on emploie avec avantage à la fabrication du superphosphate; dans les fabriques où ce procédé est appliqué, l'acide sulfurique est chauffé et passe méthodiquement dans une série de vases en plomb remplis de chiffons de laine, de débris de cornes, de sabots, etc.

*Superphosphates d'os.* — Ils peuvent être préparés, soit avec de la poudre d'os verts, soit avec de la poudre d'os dégelatinés. Ils sont plus assimilables que celles-ci; ils présentent, sur les superphosphates ordinaires, le double avantage de contenir de l'azote et de ne pas rétrograder, grâce à l'absence de l'alumine et du fer.

Comme, pendant leur préparation, il ne se dégage pas sensiblement de gaz odorants ou nuisibles, l'attaque de l'os est effectuée sur le sol; on y étale la poudre et on la dispose au moyen de râtaux en couronne, comme on fabrique le mortier. On introduit l'acide au centre et on le fait absorber peu à peu par les parties les plus voisines. Si on emploie un mélange de poudre d'os verts et d'os dégelatinés, on place les premiers à la partie interne de la couronne, car leur attaque est plus difficile.

On met les superphosphates d'os en tas, pour que le sulfate de chaux se solidifie, puis on les sèche et les pulvérise comme les autres.

*Rétrogradation des superphosphates.* — Nous avons vu que, dans la fabrication des superphosphates, une partie seulement du phosphate était complètement décomposée, avec formation de sulfate de calcium et d'acide phosphorique libre, et qu'il restait du phosphate non attaqué. Or, l'acide phosphorique réagit peu à peu sur le phosphate non attaqué et se combine aux bases qu'il renferme, chaux, alumine ou oxyde de fer. Ainsi, la proportion d'acide phosphorique change.

Les réactions ultérieures diffèrent alors suivant la nature du phosphate naturel qui a servi de point de départ; s'il ne renfermait que de la silice et du phosphate tribasique de chaux, l'acide phosphorique libéré agit sur le phosphate resté intact et en solubilise une partie.

C'est ce que montrent les expériences de Millot ; celui-ci, prenant comme point de départ une apatite renfermant :

Acide phosphorique ..	36,25
Chaux .....	51
Magnésie.....	0,14
Silice.....	8,70
Acide carbonique et fluor.....	3,91

et l'attaquant par des doses variables d'acide sulfurique à 53°, obtint les résultats suivants :

Sur 100 de phosphate, on a employé :

Sur 100 d'acide phosphorique total	Acide à 53° 80 % Eau 20	Acide à 53° 90 % Eau 10	Acide à 53° 100 % Eau 10
Au bout de 2 jours :			
Acide phosphorique soluble..	63 40	76 89	64 04
— — insoluble.	36 60	23 11	35 96
Au bout d'un mois :			
Acide phosphorique soluble..	77 80	87 07	89
— — insoluble.	22 20	12 93	14
Au bout de 3 mois :			
Acide phosphorique soluble..	79 50	90	92
— — insoluble.	20 50	10	8

En prenant au contraire des nodules renfermant du fer, tels que l'échantillon suivant :

Acide phosphorique...	18 25
Chaux.....	28
Magnésie.....	1 12
Silice et alumine.....	37 83
Acide carbonique.....	8
Fer total.....	3 30
Eau et matière organique	3 50

et les attaquant avec de l'acide sulfurique à 53° (100 parties par 80 parties d'acide et 20 parties d'eau), on eut :

	2 <sup>e</sup> jour	Après 8 jours	Après 2 mois	Après 2 ans 1/2
Acide phosphorique soluble..	7,18	9,45	3,50	1,10
— — insoluble.	2,68	0,40	5,75	8,36
Total....	9,86	9,85	9,25	9,46
Chaux insoluble.....	3,51	—	1	0,66

Cette diminution de l'acide phosphorique soluble, due à sa combinaison avec l'alumine et l'oxyde de fer, s'appelle *rétrogradation*, et l'acide phosphorique qui s'est ainsi combiné est dit *acide phosphorique rétrogradé*.

Notons encore qu'à cette action spéciale de l'alumine et du fer sur l'acide phosphorique soluble s'ajoutent encore d'autres actions qui ont pour effet d'insolubiliser l'acide phosphorique à l'état de phosphate tricalcique.

Il ne faudrait pas croire cependant que l'acide phosphorique libre est directement utilisé par les végétaux ; il leur est au contraire tout à fait nuisible. Mais, dès qu'il se trouve dans le sol il se combine à la chaux de la craie, à l'alumine et à l'oxyde de fer des argiles pour donner, non plus des combinaisons dures, compactes comme les phosphates naturels, mais du phosphate précipité, facilement attaqué par l'acide carbonique, par les acides organiques, et même par les carbonates naturels, en un mot, un phosphate aisément assimilable.

Il est facile de séparer les différentes formes suivant lesquelles on représente l'acide phosphorique dans un superphosphate, savoir phosphorique soluble, acide phosphorique rétrogradé et acide phosphorique insoluble ; nous verrons plus loin comment on procède à cette opération. Nous dirons seulement que, commercialement, on réunit les deux premières formes pour les désigner sous le nom d'*acide phosphorique assimilable* (totalement soluble dans le citrate de fer ammoniacal), car M. Petermann a montré que l'acide phosphorique rétrogradé a à peu près la même valeur agricole que l'acide phosphorique soluble, elle-même un peu moindre que celle de l'acide phosphorique précipité.

Voici le résultat d'une expérience qu'il a faite avec des pois :

	Grains (gr.)
Sans fumure . . . . .	46,24
Acide phosphorique sol. dans l'eau . . . . .	50,48
— rétrogradé . . . . .	49,58
Phosphate précipité . . . . .	54,20
— chauffé (devenant insoluble dans le citrate d'ammoniaque . . . . .	47,41

Il faut bien remarquer que l'acide phosphorique insoluble a encore une valeur agricole marquée, particulièrement sur certains sols.

### 7. *Phosphates précipités.*

Si à du phosphate solubilisé on ajoute de la chaux ou du carbonate de chaux, on obtient un précipité de phosphate tricalcique ou de phosphate bicalcique; celui-ci est soluble dans le nitrate et possède donc la valeur agricole d'un phosphate soluble.

Le phosphate naturel employé pour cette préparation est, soit de la poudre d'os, soit des phosphates minéraux.

Ces phosphates sont avantageux pour les terres qui ne renferment pas de calcaire et, par suite, ne pourraient saturer l'acide libre des superphosphates.

### 8. *Emploi des engrais phosphatés.*

On trouve dans le sol des proportions très variables d'acide phosphorique total, et il s'y rencontre sous deux formes très différentes, soit en combinaisons très stables, soit uni à des protoxydes en des corps décomposables par l'acide carbonique ou les acides organiques, soit enfin uni à des sesquioxydes, mais soluble dans le citrate de fer ammoniacal.

D'après M. Dehérain, l'acide phosphorique réussit en général sur les terres 1° renfermant moins de 1 millième d'acide phosphorique total; 2° renfermant plus d'un millième d'acide phosphorique total, mais seulement moins de 0,0002 d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique; 3° ne contenant pas 500 kilogrammes à l'hectare d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique.

Au contraire, l'acide phosphorique est généralement inutile sur les sols donnant à l'analyse plus de 1 gramme d'acide phosphorique assimilable, et une épaisseur telle que l'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique, représente environ 100 kilogrammes à l'hectare. C'est ce qui a lieu, par exemple, au champ d'expériences de Grignon, sur les terres de la Limagne.

Dans certaines conditions de culture, cependant, l'acide phosphorique redevient non assimilable, et la terre bénéficie de l'apport des engrais phosphatés; c'est ce qui arrive si on cesse

l'apport du fumier. Si, au contraire, on emploie habituellement des engrais salins, et que les superphosphates soient très utiles, on peut trouver qu'ils sont sans action quant on substitue le fumier aux engrais salins.

En résumé, si les engrais phosphatés ne produisent guère d'effet sur les terres présentant une grande richesse initiale comme les terres volcaniques, sur celles qui reçoivent de copieuses fumures de fumier de ferme, ils sont au contraire efficaces toutes les fois qu'on cesse l'emploi du fumier pour y substituer les engrais salins ; ils sont encore utiles sur les terres provenant de la désagrégation de roches pauvres en acide phosphorique telles que les schistes, les gneiss ou les granites.

Certains composants du sol favorisent la dissolution des phosphates naturels, d'abord, l'acide carbonique, qui provient de la combustion de la matière organique ; en outre, sous l'influence de l'oxygène de l'air, le protoxyde de fer des nodules se transforme en sesquioxyde et cette modification favorise l'action dissolvante des acides du sol.

Les matières organiques du sol aident aussi à la dissolution des phosphates naturels ; c'est ce qu'ont pu constater MM. Fleischer et Kisling pour la tourbe, après un contact de neuf mois et des retournages fréquents à l'air : avec 116 kilogrammes de tourbe pour 2 kilogrammes de phosphorite renfermant 0<sup>gr</sup>,60 d'acide phosphorique, la solubilisation fut de 8 % ; avec 29 kilogrammes elle ne fut que de 0,6 %. Si on ajoute du sulfate de potasse, le maximum de dissolution est doublé.

On peut ainsi faire des composts qui réussissent particulièrement bien sur les terrains sablonneux et calcaires, ainsi qu'il résulte des expériences de M. Grandeau :

	Sol calcaire		Sol argileux	
	sans tourbe	avec tourbe	sans tourbe	avec tourbe
Récolte . . . . .	0,430	0,800	0,600	0,775
Acide phosphorique soluble par kgr. de terre	0,3	1 gr.	0,6	0,8

Il est probable que, si la tourbe favorise l'assimilation des phosphates, c'est grâce à la combinaison qu'ils contractent avec les matières ulmiques. Aussi, nombre d'agronomes ont-ils conseillé de mélanger de la poudre de nodules au fumier, supposant

que les carbonates alcalins, agissant à la température relativement élevée que produit la fermentation aérobie, sur la poudre des nodules, attaqueront les phosphates et les amèneront à l'état soluble. On doit calculer les quantités à mélanger sur la fumure de fumier et de phosphate qu'on juge utile de donner à l'hectare.

Si on veut par exemple distribuer 50.000 kilogrammes de fumier et 1.000 kilogrammes de phosphate fossile, il faudra répandre dans le tas un poids de phosphate qui soit le 1/50 du poids du fumier produit.

Le degré de finesse de la poudre de nodules joue un certain rôle ; il résulte en effet d'une expérience de M. Wagner qui a porté sur les scories de déphosphoration que, dans des cultures de lin, d'orge et de froment, l'action des superphosphates étant représentée par 100, celle de la poudre très fine de scories est égale à 61, celle de la mouture fine à 58, celle de la mouture grossière seulement à 13.

Il est absolument démontré aujourd'hui que les phosphates fossiles simplement réduits en poudre exercent sur les terres de défrièvement une influence des plus remarquables, jusqu'à doubler et tripler la récolte, ou même, comme l'a montré Rieffel, jusqu'à permettre d'obtenir des produits d'un sol qui, sans phosphates, ne donne rien. Sur les terres calcaires, au contraire, ils ne présentent aucune efficacité ; il est même beaucoup d'autres terres où il en est de même.

Pour ce qui est des superphosphates, ils ne conviennent pas, comme nous l'avons déjà dit, aux sols qui ne renferment pas de bases capables de neutraliser les acides qu'ils renferment, bases qui peuvent être, soit la chaux du calcaire, soit l'oxyde de fer et l'alumine des argiles. Il est même bon de s'en assurer et, pour cela, de mélanger à la terre des superphosphates dans la proportion où ils doivent être employés, et de chercher pendant combien de temps la réaction acide persiste.

Si, conseille M. Dehérain, après quinze jours ou trois semaines, elle est encore notable, il est prudent de ne pas employer les superphosphates, mais d'avoir recours à d'autres engrais phosphatés, et notamment aux scories de déphosphoration.

Mais ils exercent sur nombre de sols une influence si manifeste qu'il faut toujours les essayer et ne renoncer à leur emploi qu'au-

tant que, d'une part, on a reconnu par l'expérience qu'ils ne produisent pas d'effet, que, de l'autre, l'analyse a indiqué dans les sols sur lesquels ils n'ont pas marqué, des proportions notables d'acide phosphorique total et assimilable.

Quelle est la valeur comparée des superphosphates et des phosphates naturels ? Il était autrefois admis que le noir animal, la poudre de nodules convenaient aux sols riches en débris organiques, landes, vieilles prairies, bois défrichés, les superphosphates devant être, au contraire, employés sur les terres anciennement cultivées.

M. Jannesson s'inscrivit en faux contre ces données, et apporta des expériences à l'appui de son opinion ; et, s'il fut en contradiction avec M. Voelker, il rallia M. Raulin et M. Grandeau. Aussi fera-t-on bien d'essayer comparativement les phosphates insolubles et les superphosphates en se rappelant que les phosphates insolubles n'agissent que lentement et que c'est souvent l'année qui suit leur épandage que leur action devient sensible.

Il nous reste à examiner la valeur des scories de déphosphoration. Elles se montrent en général supérieures aux phosphates fossiles et même, si on les met en comparaison avec les superphosphates, elles donnent plus de grain, mais un peu plus de paille, comme l'a montré M. Andonard :

	Scories de déphosphoration quintaux	Phosphates fossiles quintaux	Différences faveur des soins quintaux
Blé du pays. Grain . . .	21,8	19,4	2,4
— Paille . . .	45,2	40,6	4,6
Avoine noire. Grain . . .	22,8	18,6	4,2
— Paille . . .	40,5	36,4	4,6
Prairie naturelle. Foin . .	45,5	42,5	3
— . . .	55,5	50,1	5,4
Blé Victoria. Grain . . .	24	20,4	3,6
— Paille . . .	44,5	46,6	2,1

Pour conclure, nous reproduirons les déductions de M. Dehé-  
rain, au sujet des engrais phosphatés qui conviennent aux dif-  
férents sols :

Sur les terres de défrichement, d'ordinaire riches en matières  
organiques, il faut toujours essayer les nodules pulvérisés : à  
la dose de 300 à 400 kilogrammes à l'hectare, ils produisent

souvent d'excellents effets ; le noir animal à la dose de 200 à 300 kilogrammes est également très efficace. Il faut éviter de distribuer simultanément à ces sols les phosphates et les amendements calcaires.

Les phosphates doivent être répandus d'abord, et, seulement l'année suivante, la marne ou la chaux.

Les scories de déphosphoration, renfermant de l'acide phosphorique beaucoup plus attaquable que celui des nodules, peuvent être employées également malgré la grande quantité de chaux qu'elles apportent au sol. On peut essayer 500 kilogrammes à l'hectare,

Sur les terres calcaires anciennement cultivées, les superphosphates sont absolument indiqués ; toutes les autres formes de phosphates sont peu efficaces ; on peut employer 300 kilogrammes à l'hectare pour les betteraves ou les pommes de terre ; généralement, 200 kilogrammes suffisent pour le blé. L'addition de ces phosphates à une bonne fumure de fumier de ferme est habituellement très avantageuse pour les terres où l'acide phosphorique est en faible quantité.

Pour les terres non calcaires anciennement cultivées, les scories de déphosphoration ou les phosphates précipités sont absolument indiqués ; la dose de 300 ou 400 kilogrammes à l'hectare est généralement suffisante.

### C. — Engrais potassiques.

La potasse existe dans tous les végétaux, mais en très petites quantités, et, dans la plupart des cas, la restitution en est inutile, car la déperdition n'existe pas pour elle comme pour l'azote, par exemple.

Les sols argileux renferment une quantité de potasse énorme ; aussi, pour eux, les engrais potassiques ont-ils peu d'action ; il en est de même, en général, des terres qui s'appuient sur des roches primitives, de celles qui dérivent des schistes, des marnes du liais, de la plupart des terres françaises, en un mot.

Les terres pauvres en potasse sont essentiellement la craie, les sables, les grès, qui constituent les sols de la Champagne, des Landes et des Vosges.

Aussi, l'emploi des engrais potassiques améliore-t-il la culture ; voici des résultats obtenus par M. de Rohans, par exemple :

	Blé	
	Grains	Paille
Engrais complet . . . . .	2.785 kil.	7.000 kil.
— sans azote . . . . .	2.670 —	5.430
— sans phosphate . . . . .	2.000 —	6.320
— sans potasse . . . . .	1.015 —	4.025

*Origine.* — La seule source de potasse était autrefois la cendre des végétaux ; en la lessivant, on pouvait en extraire le carbonate ; c'est ce qu'on fait encore en Norvège et en Russie.

Il en existe encore une certaine quantité dans les vinasses de betteraves, résidu salin des jus fermentés, dans les eaux-mères des marais salants, des mines de Stassfurth. Ces différentes sources fournissent généralement du chlorure de potassium, lequel, au contact du sol, se transforme en carbonate, tandis qu'il se forme du chlorure de calcium ; le sel extrait des mines de Stassfurth est un chlorure double de potassium et de magnésium connu sous le nom de carnallite ; sa composition moyenne est :

Chlorure de potassium . . . . .	15 à 20
— sodium . . . . .	22
— magnésium . . . . .	23,5
Sulfate de magnésie . . . . .	9
Eau . . . . .	28

On trouve encore dans le commerce du sulfate de potasse, provenant : 1° des résidus de la fabrication de l'iode à l'aide des varechs ; 2° du traitement par l'acide sulfurique du chlorure de potassium de Stassfurth.

*Emploi.* — Les pommes de terre et les betteraves étant les plantes qui renferment le plus de potasse (p. de terre 1 1/3 à 1/2 des cendres), on peut prévoir que la potasse leur sera indispensable.

L'effet qu'exercent les engrais potassiques est peu sensible ou nul sur les terres enrichies par une abondante fumure de fumier de ferme, qui apporte une grande quantité de potasse, tandis que l'influence est manifeste sur des terres pauvres.

Sur les terres de Grignon, par exemple, comme l'a montré M. Dehérain, l'effet est très minime :

	Hectol. de pommes de terre à l'hectare	Poids de l'hectolitre
Sans engrais de potasse . . . . .	160	57,5
1.000 kil. de sulfate de potasse et de magnésie . . . . .	240	63,3
1.500 kil. d'engrais de potasse . . . .	233	62,7
600 kil. de sulfate de potasse . . . .	187	60

Il en a été de même sur une terre de l'Oise (MM. Boursier et Saint. André). Au contraire, M. Genay a rencontré une terre où elle a été avantageuse :

*Rendement des années 1885 à 1888*

Sans engrais . . . . .	18.725 kil.
Engrais complet (1). . . . .	23.800
— sans azote. . . . .	21.025
— — acide phosphorique . . . . .	21.650
— — potasse . . . . .	20.975

Les engrais de potasse exercent en général peu d'influence sur la betterave, parce que celle-ci est habituellement cultivée dans des terres fertiles où la potasse ne fait pas d'effet ; de plus, comme elle bénéficie à un haut degré de la matière ulmique, on lui donne des fumures de fumier, ce qui contribue à enrichir le sol en potasse.

Il en est généralement de même pour le blé ; les engrais potassiques ont cependant donné de remarquables résultats à Rothansted, où, sous leur influence, la récolte est montée de 25 à 30 hectolitres à l'hectare.

D'après M. Mœrcker, l'avoine est une des plantes sur lesquelles les sels de potasse exercent le plus d'influence, même sur les meilleures terres.

La meilleure époque pour leur addition aux céréales semblent être l'automne, car le carbonate de potassium qui se forme est

1. Nitrate de soude, superphosphate et potasse.

bien retenu par le sol ; on emploie la dose de 200 kilogrammes à l'hectare.

Les sels de potasse exercent une influence heureuse sur les prairies ; si on les supprime, en effet, la récolte baisse sensiblement, comme le montrent les expériences suivantes de MM. Lawes et Gilbert :

*Moyenne par hectare et par an*

Foin récolté	Parcelle 7	Parcelle 8	Différence de 8 sur 7
1 <sup>re</sup> période (1856-61) mêmes engrais sur les deux parcelles	4.295 kil.	4.510	+ 215
2 <sup>e</sup> période (1862-75) la parcelle 8 reçoit de la soude au lieu de potasse.	4.492	3.470	- 1.022

Le fourrage était aussi devenu moins riche en azote ; de 1/5 pour 100 de foin, la proportion tombe à 1/3.

Voici, d'ailleurs, le résumé de leurs observations :

1<sup>o</sup> Avec ou sans engrais, la potasse détermine toujours un accroissement notable de récolte et si l'on vient à interrompre son emploi, le rendement diminue sans que l'azote soit sensiblement changé ; le fourrage est alors riche en albuminoïdes, mais il est composé d'espèces grossières et de mauvaise qualité ;

2<sup>o</sup> En présence de l'ammoniaque, la culture devient essentiellement herbacée, et la potasse est à peu près sans influence sur la composition botanique de l'herbage, mais avec elle la maturation s'effectue mieux et l'on obtient un meilleur produit ;

3<sup>o</sup> Sans ammoniaque, la potasse favorise d'une façon toute spéciale le développement des légumineuses et les caractères de la culture se modifient profondément aussitôt qu'on cesse de l'adjoindre aux engrais.

Les engrais de potasse exercent sur le tabac une certaine influence ; le poids de la récolte, ni la teneur des feuilles en nicotine ne sont augmentés, mais la combustibilité est beaucoup accrue ; dans ce sens, le sulfate de potasse est beaucoup plus avantageux que le chlorure, car il est réduit dans le sol.

Il est, enfin, une dernière plante pour laquelle l'emploi de la potasse présente un certain intérêt, c'est la vigne ; dans les ré-

gions tempérées, l'avantage n'est pas très grand ; mais dans les cultures bien plus abondantes des contrées méridionales, les sels de potasse peuvent devenir utiles quand la fumure usitée est composée de tourteaux ou de chiffons de laines, qui ne renferment pas habituellement de quantités notables de potasse. Cette influence est d'ailleurs variable avec la nature du sol du vignoble.

En résumé, on peut conseiller avec M. Dehérain aux cultivateurs d'essayer les engrais de potasse sur de petites surfaces de façon à savoir l'effet qu'ils produisent ; s'ils réussissent, on pourra étendre leur emploi.

#### D. — Sel marin.

On a vu pendant longtemps que l'emploi du sel marin, si répandu dans l'eau de mer, pouvait être utile aux végétaux terrestres, et l'on avait même prétendu que la soude, si voisine de la potasse, pourrait remplacer celle-ci dans la culture.

Il n'en est rien ; MM. Berthault et Paturel ont même montré que le sel était plutôt pour eux une substance toxique, mais à des doses beaucoup plus élevées que celles qui seraient employées.

Le sel marin serait peut-être utile par son chlore, car il pourrait se transformer dans le sol du chlorure de potassium ; mais, s'il était répandu sur une terre pauvre en potasse, il n'aurait aucune chance d'être assimilé.

#### E. — Sels de fer.

L'emploi des sels de fer est également très discuté ; les uns, Müntz, Grandeau, Wrightson et Munro, Gaillot, ont eu de mauvais résultats ; les autres, Griffiths, Delachardony s'en sont loués. Peut-être peut-on expliquer cette contradiction en admettant, avec M. Bernard, que le sulfate de fer, en passant au maximum sous l'influence de l'oxygène de l'air, réagirait sur le calcaire du sol pour le dissoudre, et diminuerait ainsi l'excès de cet élément nuisible à certains sols ; l'emploi du sulfate de fer serait donc avantageux dans les sols calcaires, et seulement dans ceux-là.

On a aussi employé avantageusement une matière appelée cendres de Picardie, résidus de l'oxydation des pyrites dans la fabrication du sulfate de fer, et qui ont la composition suivante :

<i>Cendres noires :</i>		
Matières organiques . . . . .	20,2	} sels solubles : 34 %
Sulfate de proloxyde . . . . .	15,1	
— sesquioxyde . . . . .	6,3	
— d'alumino . . . . .	12,6	
Azote . . . . .	0,47	

*Cendres rouges :*  
 Azote : 0,5 à 0,6 %  
 Mat. organiques : 16 à 24 %  
 Sulfates de fer : 16 %

On en répand 10 à 12 hectolitres par hectare, et elles ne réussissent que sur certains terrains.

### F. — Engrais chimiques.

On désigne habituellement sous ce nom, qui pourrait tout aussi bien s'appliquer à toute la série des engrais minéraux que nous venons d'étudier, des mélanges salins plus ou moins complexes, très variables et très répandus dans le commerce. Leurs éléments principaux sont, naturellement, la potasse, l'ammoniaque, les acides nitrique et phosphorique, à l'état de combinaison ; nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque, superphosphates, chlorure, sulfate et carbonate de potassium.

Lorsque toutes ces substances se trouvent réunies, on a un *engrais complet* ; dans le cas contraire, c'est un *engrais incomplet* ; la composition des engrais du commerce est habituellement calculée suivant les besoins de la plante à cultiver ; il ne devrait cependant pas en être ainsi, et leurs mélanges gagneraient à être appropriés au sol qui doit les recevoir, ce qui n'empêcherait pas de tenir compte de la plante à cultiver.

L'étude des engrais chimiques, commencée en 1844, par M. Lawes, a été développée en France par M. G. Ville, qui a fait à leur sujet de remarquables travaux, qui ont beaucoup contribué à la vulgarisation de leur emploi.

Il semblerait donc que, pour déterminer la composition de l'engrais chimique à répandre sur un sol déterminé, il n'y aurait

qu'à en faire l'analyse chimique ; cependant, une substance peut exister dans une terre déterminée et n'y être pas sous une forme assimilable, d'où une amélioration à apporter, se traduisant par l'apport d'un corps apte à lui faire subir les modifications nécessaires pour sa transformation.

Aussi y a-t-il avantage à employer la méthode d'essai conseillée par M. Ville ; on cultive la plante considérée sur des carrés de terre de même surface avec les différents engrais, en gardant un carré témoin ; comme engrais, on emploie un engrais complet, et des engrais incomplets, l'un sans azote, un autre sans acide phosphorique, un troisième sans potasse, le dernier sans chaux. On trouve ainsi qu'un élément donne le rendement maximum ; c'est celui que M. Ville appelle *dominante* de la plante en expérience. Le tableau suivant résume les dominantes des mieux connues de quelques espèces.

Plantes	Dominante	Sel chimique correspondant
Betterave . . . . .	Azote	Nitrate de potasse — de soude Sulfate d'ammoniaque
Prairies naturelles. . . . .		
Colza . . . . .		
Froment . . . . .		
Orge. . . . .		
Avoine . . . . .		
Seigle . . . . .		
Chanvre . . . . .		
Maïs . . . . .		
Sarrazin . . . . .		
Turneps. . . . .	Acide phosphorique	Superphosphate de chaux Phosphate précipité — naturel
Rutabagas . . . . .		
Sorgho . . . . .		
Navets . . . . .		
Topinambours . . . . .		
Luzerne. . . . .		
Trèfle . . . . .		
Féverolles . . . . .		
Haricots . . . . .		
Pois. . . . .		
Sainfoin . . . . .	Potasse	Chlorure de potassium Carbonate — Sulfate — Nitrate —
Vescos . . . . .		
Lin . . . . .		
Pommes de terre . . . . .		

Voici, en outre, quelques chiffres à l'appui de ces conclusions :

	Récolte à l'hectare							
	Froment	Chanvre	Betterave	Colza	Pomme de terre	Vigne (raisin)	Trelle 2 coupes sèches	Pois
Engrais complet . . .	9570	11150	50000	10000	27950	12000	8169	6890
— sans azote . . .	4317	4740	36000	6000	20850	6200	10220	6335
— sans phosph . . .	7533	8220	42000	7250	16000	7300	8229	5360
— — potasse . . .	7524	5220	37000	5550	10500	0	635	4760
— — chaux . . .	8200	10470	47000	8200	20500	7800	9071	6520
Terre sans engrais	3425	2175	23000	1240	7500	0	873	2920

M. G. Ville a même poussé très loin cette recherche de la dominante, en faisant des cultures sur du sable calciné, sur un sol absolument inerte, par conséquent ; il en a présenté les résultats d'une façon saisissante, en représentant la récolte par une plante d'une grandeur et d'une épaisseur proportionnelles, et, mieux encore, lorsque cela était possible, pour une plante unique, par la photographie.

Il a ainsi pu étudier l'influence des engrais chimiques sur l'aspect extérieur de la coloration des plantes, les plantes nourries au maximum ayant un port et une floraison remarquables, une couleur intense et franche, qu'il mesurait par des procédés précis.

En résumé, il faut tenir compte, dans la composition d'un engrais chimique, des conditions suivantes : 1° la composition chimique du sol ; 2° élever la dose de la dominante tant que son emploi est rémunérateur ; 3° y associer toujours les autres éléments, mais dans la proportion strictement nécessaire pour assurer les bons effets de la dominante.

Voici, à titre d'exemples, des mélanges proposés par M. Georges Ville :

*Engrais complet n° 1*

pour colza, chanvre, froment, avoine, seigle, prairie

Titres en engrais de fertilité :					°/o dans l'engrais	A l'hectare	
Az.	P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	K <sup>2</sup> O	CaO	}	Superphosphate de chaux	33,34	400
6,5	5	8	17		Nitrate de potasse . . .	16,66	200
					Sulfate d'ammoniaque . . .	20,83	250
					— de chaux . . . . .	29,17	350
						<hr/>	<hr/>
						100,00	1200

*Engrais homologues n° 1*

Même destination aux mêmes doses

					°/o	à l'hect.	
Az	P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	K <sup>2</sup> O	CaO	}	Superph. de chaux . . . . .	33,34	400 kil
6,6	5	8,33	13		Chlor. de potassium à 80° . . .	16,66	200
					Sulfate d'ammoniaque . . . . .	32,50	390
					— de chaux . . . . .	17,50	210
						<hr/>	<hr/>
						100,00	1.200

*Engrais complet n° 2*

pour choux, betteraves, carottes, jardinage

					°/o	à l'hect.	
Az	P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	K <sup>2</sup> O	CaO	}	Superphos. de chaux . . . . .	33,34	400 kil.
6,5	5	8	15		Nitrate de potasse . . . . .	16,66	200
					— soude . . . . .	25	300
					Sulfate de chaux . . . . .	25	300
						<hr/>	<hr/>
						100	1.200

*Engrais homologue n° 2*

mêmes destination aux mêmes doses

					°/o	à l'hect.	
Az.	P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	K <sup>2</sup> O	CaO	}	Superph. de caux. . . . .	33,34	400
6,5	5	8,33	14		Chlor. de pot. à 80° . . . . .	16,66	200
					Sulfate d'ammoniaque . . . . .	11,66	140
					Nitrate de soude . . . . .	26	300
					Sulfate de chaux . . . . .	13,34	160
						<hr/>	<hr/>
						100	1.200

*Engrais complet n° 3*  
pour pommes de terre, tabac, lin, vigne

						°/o	à l'hect.
Az	P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	K <sup>2</sup> O	CaO	}	Superph. de chaux. . . .	40	400
4	6	14	19		Nitrate de potasse. . . .	30	300
					Sulfate de chaux . . . .	30	300
						<u>100</u>	<u>1.000</u>

*Engrais complet n° 4*  
pour vigne, tabac, arbres fruitiers, plantes d'ornement

						°/o	à l'hect.
Az	P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	K <sup>2</sup> O	CaO	}	Superph. de chaux. . . .	40	600
4,6	6	15,5	17		Nitrate de potasse. . . .	33,34	500
					Sulfate de chaux . . . .	26,64	400
						<u>100</u>	<u>1.500</u>

*Engrais complet n° 5*  
pour maïs, topinambours, sorghos, navets, canne à sucre

						°/o	à l'hect.
Az	P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	K <sup>2</sup> O	CaO	}	Superph. de chaux. . . .	50	600
2,5	7,5	8	22		Nitrate de potasse . . . .	16,66	200
					Sulfate de chaux . . . .	33,34	400
						<u>100</u>	<u>1.000</u>

*Engrais incomplet n° 1 (sans potasse)*  
pour colza, céréales, prairies

					°/o	à l'hect.	
Az	P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	CaO	}	Superph. de chaux. . . .	40	400	
7	6	17		Sulfate d'ammoniaque . . . .	35	350	
				— de chaux . . . .	25	250	
						<u>100</u>	<u>1.000</u>

*Engrais incomplet n° 6*  
pour trèfle, sainfoin, luzerne, légumineuses

						°/o	à l'hect.
P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	CaO	}	Superp. de chaux. . . .	40	400		
6	22		Chlor. de potaz. à 80° . . . .	20	200		
			Sulfate de chaux . . . .	40	400		
						<u>100</u>	<u>1.000</u>

Bien d'autres formules ont été données encore par différents auteurs ; le cadre de notre livre ne nous permet pas de les reproduire, et nous renverrons pour elles aux ouvrages suivants : Fagot et Tiévet : *Guide élémentaire pour l'emploi des engrais chimiques* ; Wagner : *La question des engrais* ; Garola : *De l'emploi des engrais*. Leur emploi tend aujourd'hui à se répandre en horticulture, et nous donnerons, d'après M. Larbalétrier, les quelques formules suivantes :

Engrais pour les plantes à feuillage :

Nitrate de soude . . . . .	3 gr.
Superphosphate . . . . .	4
Chlorure de potassium . . . . .	1
Plâtre . . . . .	1
Sulfate de fer . . . . .	2

300 grammes par mètre carré

Engrais pour les plantes à fleurs en massif :

Nitrate de soude . . . . .	2 kg.
Superphosphate . . . . .	10
Chlorure de potassium . . . . .	2
Plâtre . . . . .	4
Sulfate de fer . . . . .	2

Même dose.

Engrais pour fraisiers (M. de Paris):

Nitrate de soude . . . . .	0 <sup>k</sup> ,500
Sulfate d'ammoniaque . . . . .	0 500
Chlorure de potassium . . . . .	1
Superphosphate . . . . .	3
Sulfate de chaux . . . . .	2

Pour un are.

Engrais pour rosiers et arbustes (G. Ville) :

Superphosphates . . . . .	40
Carbonate de potasse . . . . .	20
Plâtre . . . . .	40
	<hr/>
	100

60 à 100 grammes par pied.

Engrais pour plantes d'appartement (G. Ville) :

Superphosphate . . . . .	33
Nitrate de potasse . . . . .	17
— soude . . . . .	25
Plâtre . . . . .	25
	<hr/>
	100

3 grammes par kilogramme de terre, pour les pots .  
12 kilogrammes par are, en pleine terre.

Même destination (Grandeur)

Nitrate de chaux . . . . .	100 gr.
— potasse . . . . .	15
Phosphate de potasse . . . . .	25
Sulfate de magnésie . . . . .	25

5 grammes par litre d'eau pour arroser une fois par mois sans mouiller les feuilles.

*Emploi.* — L'emploi exclusif des engrais chimiques est fort rare, car, même lorsqu'on ne spéculé pas sur les animaux, on trouve facilement à se procurer du fumier. Cet emploi aurait, d'ailleurs, plusieurs inconvénients : ils exercent une action fâcheuse sur les propriétés chimiques de certains sols et, souvent, ne présentent qu'une efficacité nulle ou très faible. Ils sont cependant très précieux quand ils sont judicieusement employés et qu'on les utilise concurremment avec le fumier ou les engrais verts, qui, eux-mêmes ont besoin de cette addition, car ils manquent précisément des mêmes éléments que le sol d'où ils proviennent plus ou moins directement.

Cela ressort bien des chiffres suivants, provenant de cultures de blé faites à Blaringhem en une année :

	Grain	Paille
Avec fumier seulement . . . . .	3.640	5.900
— — — — —	3.750	6.000
Avec fumier, sulfate d'ammoniaque	4.900	8.800
et superphosphate . . . . .		
	4.800	8.600
Avec fumier, azotate de soude et	4.750	10.100
superphosphate . . . . .		
	4.750	8.490

Avec fumier, sulfate d'ammoniaque	{ 4.650	8.400
superp. et chlorure de potassium	} 4.750	9.500

Comment calculerons-nous donc la quantité d'engrais nécessaire à une récolte d'un poids déterminé d'une plante quelconque. Il faut, pour cela, savoir la composition de celle-ci ; elle nous est donnée par le tableau ci-contre, que nous reproduisons d'après l'ouvrage de M. Dehérain :

Si l'on veut, par exemple, obtenir une récolte de 35.000 kilogrammes de betteraves, il faudra que la terre renferme 35 fois les chiffres de chacun des éléments contenus, non seulement dans 1.000 kilogrammes de racines, mais encore dans 500 kilogrammes de feuilles, proportion qui existe dans cette plante, soit :

	Racines	Feuilles	Total
Azote . . . . .	$1,6 \times 35 = 56$	$3 \times 17,5 = 52,5$	108,5
Acide phosphorique . . . . .	$1,1 \times 35 = 38,5$	$1 \times 17,5 = 17,5$	56
Potasse . . . . .	$4 \times 35 = 140$	$4 \times 17,5 = 70$	210
Chaux . . . . .	$0,5 \times 35 = 17,5$	$3,6 \times 17,5 = 63$	80,5

Il est plus difficile de déterminer comment on peut arriver à donner ces quantités ou, plutôt, celles qui manquent au sol. On ne peut se borner à répandre une quantité de fumier et d'engrais chimique telle que la somme de leur azote, par exemple, corresponde à ces exigences.

Il faut, en effet, tenir compte des éléments que peut fournir le sol et, aussi, de ce que les engrais ajoutés ne donnent pas tous leurs principes sous une forme assimilable.

La terre fournit de l'azote nitrique, dans une proportion moyenne qui ressort des chiffres suivants :

*Azote nitrique par hectare et par saison*

Terres fortes		
Angleterre. — Rothamsted (terre épuisée)	moyenne de 3 ans	15 kil.
Pas-de-Calais. — Wardrecques (bon état)	— 2 —	59,5
Nord. — Blaringhom	— 2 —	66,3
Terre forte riche en matières organiques		
Puy-de-Dôme. — Marmilhat (moyenne 2 ans)	—	44,5
— Palbost	—	27,2
Terre légère		
Seine-et-Oise (1890) (bon état)	—	44,6
— (moyenne de 2 ans — épuisée)	—	32,1

Teneur en principes fertilisant de 1000 kil. de plantes de grande culture

Nature des récoltes		Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Rapport du poids des organes
Betteraves à sucre.	Racines.	1,6	1,1	4	0,5	1
»	Feuilles.	3	1	4	3,6	0,5
Betteraves fourragère.	Racines.	1,8	0,8	4,3	0,4	1
»	Feuilles.	3	0,8	4,3	1,7	0,5
Carottes.	Racines.	2,1	1,1	3,2	0,9	1
»	Feuilles.	5,1	1	3,7	8,6	0,3
Panais.	»	3,8	2,1	4,7	»	»
Navets ou turneps.	Racines.	2	1,1	2,5	0,8	1
»	Feuilles.	3	1,3	3,2	0,6	0,6
Rubatagas.	Racines.	2,5	1,4	4	0,9	1
»	Feuilles.	3,5	2,6	3,6	8,4	0,23
Pommes de terre.	Tubercules.	3,2	1,8	5,6	0,2	1
»	Fanes.	5	1	3	5	0,17
Topinambours.	Tubercules.	3,2	1,4	3,5	0,5	1
»	Fanes sèches.	4,3	0,7	4,1	9,1	2
Froment.	Grain.	21,04	8,94	5,5	0,6	1
»	Pailles.	4,8	3,04	5	2,6	2
Seigle.	Grain.	17,6	8,2	5,4	0,5	1
»	Paille.	4	2,5	8	3,6	2
Orge.	Grain.	15,2	7,2	4,8	0,5	1
»	Paille.	4,8	1,9	0,3	3,3	2
Avoine.	Grain.	19,2	5,5	4,2	1	1
»	Paille.	4	2,8	9,7	3,6	2
Mais.	Grain.	16	5,5	3,3	0,3	1
»	Paille.	4,8	3,8	16,6	5	1
Sarrasin.	Grain.	17,2	6,1	4,5	1	1
»	Paille.	7,8	1,8	12,3	19	1,5
Haricots.	Grain.	41,5	9,4	14	2	1
»	Tiges sèches.	10,4	3,8	10,7	18,6	1
Pois.	Grains.	35,8	8,8	9,8	1,2	1
»	Tiges sèches.	10,4	3,8	10,7	18,6	2
Féverolles.	Grains.	40,6	11,6	12	1,5	1
»	Tiges sèches.	16,3	4,1	20	13,5	1
Lentilles.	Grains.	38,1	5,2	7,7	1	1
»	Tiges sèches.	10,1	4,8	5,2	20	1
Colza.	Grain.	31	16,4	8,8	5,2	1,5
»	Paille.	5	2,7	9,7	10,1	1,6
»	Silques.	8,3	3,6	5,7	33,8	0,7
Pavot (œillette).	Grain.	28	16,4	7,1	18,5	1
»	Paille.	4	2,3	20	15	2,5
Lin.	Grain.	32	13	10,4	2,7	1
»	Tiges.	4,8	4,3	10	8,3	6,6
Trèfle rouge.	Foin.	20	5,6	19,5	19,2	»
Luzerne.	id.	20	5,1	15,2	28,8	»
Sainfoin.	id.	18	4,7	17,9	14,6	»
Vesce.	id.	22,7	6,2	20	19,3	»
Prairie naturelle.	id.	13,1	3,5	16	7,7	»

Pour ce qui est de la fabrication de l'azote du fumier qui se transforme en nitrates, on peut l'évaluer, par tonne, à :

Wardrecques . . . . .	0,35
Marmilhat . . . . .	0,39
Palbost . . . . .	0,31
Grignon . . . . .	0,58

soit, pour une fumure de 30 tonnes :

Wardrecques . . . . .	10,5
Marmilhat . . . . .	11,7
Palbost . . . . .	9,3
Grignon . . . . .	17,4

et, pour le total de l'azote nitrique :

Wardrecques . . . . .	$60 \times 10,5 = 70,5$
Marmilhat . . . . .	$30,2 + 11,7 = 41,9$
Palbost . . . . .	$27,2 + 9,3 = 36,5$
Grignon . . . . .	$44,5 + 17,4 = 53,9$

Cette somme totale est loin d'atteindre le chiffre que nous avons reconnu nécessaire ; il ne faut pas songer à combler la différence avec du nitrate de soude, car il en faudrait une quantité dont l'achat serait de beaucoup trop onéreux.

Mais il y a en outre de l'azote organique ; celui du sol ne semble guère être utilisé ; il en est autrement de celui qu'apporte le fumier, et M. Dehérain admet que, dans une terre légère, le tiers de cet azote est utilisé, et, dans une terre forte, seulement le quart.

Reste enfin à évaluer la fraction de l'azote contenu dans les engrais verts enfouis qui sera assimilée ; on peut compter sur environ la moitié.

Reprenons donc notre calcul, pour la terre de Grignon, par exemple :

Exigences de la récolte . . . . .	108,5
La terre fournit : azote nitrique . . . . .	40
30.000 kil. fumier renferment 150 kil.	
donnant $\frac{150}{3} = 50$ azote nitrique et	
organique . . . . . 4 . . . . .	50
5.000 kil. de fumure verte renfermant	
50 kil. d'azote en fournissant $\frac{50}{2}$ . . . . .	25
	<hr/>
	115

Nous avons donc la quantité d'azote qui nous est nécessaire ; si nous avons voulu obtenir 40.000 kilogrammes de betteraves, soit 140 kilogrammes d'azote, il nous manquerait au contraire 25 kilogrammes que nous devrions combler par du nitrate de soude, et ajouter, par conséquent, 200 kilogrammes de celui-ci, qui apporteraient 32 kilogrammes d'azote.

Il est certain que ces chiffres sont tout à fait approximatifs, car, si le fumier de ferme est plus abondant, si les engrais verts donnent une récolte plus forte, il n'est plus nécessaire d'une aussi grande quantité de nitrate.

Le calcul de l'acide phosphorique est analogue ; il nous en faut 56 kilogrammes ; or, le fumier (30.000 kilogrammes) nous apporte 90 kilogrammes d'acide assimilable ; mais, comme sa répartition ne se fait pas uniformément dans le sol, il faut souvent ajouter des superphosphates ; nous avons déjà étudié ce point, sur lequel nous n'insisterons pas.

Pour la potasse, la terre fournit habituellement la quantité complémentaire indispensable ; nous renvoyons également au chapitre y consacré.

Il arrive souvent que, pour le blé, on ne donne pas de fumure directe de fumier ; quand on le fait succéder aux betteraves, il suffit de donner au printemps une faible fumure de nitrate de soude. Si l'on veut obtenir, par exemple, 28 quintaux de grain correspondant à 56 quintaux de paille, il faut, en azote :

Grain.	. . . . .	2,8	×	21	=	58,8
Paille	. . . . .	5,6	×	4,8	=	26,88
						85,68

or, la terre ayant reçu les feuilles de betterave, renfermant (v. ci-dessus) 52<sup>k</sup>,5 d'azote, dont peut-être la moitié aura été utilisée, soit 26 kilogrammes environ ; on aura donc :

Azote fourni par la terre	. . . . .	40
— les feuilles	. . . . .	26
		66

Il suffira de 200 kilogrammes de nitrate de soude pour apporter l'appoint nécessaire.

## CHAPITRE VIII

---

### Législation et analyse des engrais.

---

Etant donné le développement pris en ces dernières années par le commerce des engrais, il n'est pas étonnant qu'on ait essayé de les frauder, soit pour augmenter le bénéfice, soit pour en diminuer le prix, dans un but de concurrence. Aussi le législateur s'est-il préoccupé de réprimer cet abus ; nous reproduisons dans ce chapitre les dispositions légales se rapportant au commerce des engrais. Nous n'avons pas besoin d'insister sur la nécessité de vérifier la valeur d'un engrais par l'analyse chimique ; la commission officielle chargée de signaler les meilleures méthodes à employer à cet effet a rédigé un long rapport qui les résume ; nous ne saurions mieux faire que de le donner intégralement, en signalant quelques modifications nécessaires.

---

### Loi concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais.

---

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté,

Le Président de la République promulgué la loi dont la teneur suit :

Article premier. — Seront punis d'un emprisonnement de six jours à un mois et d'une amende de 50 à 2000 francs ou de l'une de ces deux peines seulement, ceux qui, en vendant ou en mettant en vente des engrais ou amendements, auront trompé ou tenteront de tromper l'acheteur, soit sur leur nature, leur composition ou le dosage des éléments utiles qu'ils contiennent, soit sur leur provenance, soit par l'emploi pour les désigner ou les qualifier, d'un nom qui d'après l'usage est donné à d'autres substances fertilisantes.

En cas de récidive, dans les trois ans qui ont suivi la dernière condamnation, la peine pourra être élevée à deux mois de prison et 4.000 francs d'amende.

Le tout sans préjudice de l'application du paragraphe 3 de l'article premier de la loi du 27 mars 1851, relatif aux fraudes sur la quantité des choses livrées, et des articles 7, 8 et 9 de la loi du 23 juin 1857 concernant les marques de fabrique et de commerce.

Art. 2. — Dans les cas prévus à l'article précédent, les tribunaux peuvent, en outre des peines ci-dessus portées, ordonner que les jugements de condamnation seront, par extraits ou intégralement, publiés dans les journaux qu'ils détermineront et afficher sur les portes de la maison et des ateliers ou magasins du vendeur et sur celle des mairies de son domicile et de celui de l'acheteur.

En cas de récidive dans les cinq ans, ces publications et affichages seront toujours prescrit.

Art. 3. — Seront punis d'une amende de 11 à 15 francs inclusivement ceux qui, au moment de la livraison n'auront pas fait connaître à l'acheteur, dans les conditions indiquées à l'article 4 de la présente loi, la provenance naturelle ou industrielle de l'engrais ou de l'amendement vendu et sa teneur en principes fertilisants.

En cas de récidive dans les trois ans, la peine de l'emprisonnement pendant cinq jours au plus pourra être appliquée.

Art. 4. — Les indications dont il est parlé à l'article 3 seront fournies, soit dans le contrat même, soit dans le double de commission délivrée à l'acheteur au moment de la vente soit dans la facture remise au moment de la livraison.

La teneur en principes fertilisants sera exprimée par les poids d'azote, d'acide phosphorique et de potasse contenus dans 100 kilogrammes de marchandise facturée telle qu'elle est livrée, avec l'indication de la nature ou de l'état de combinaison de ces corps, suivant les prescriptions du règlement d'administration publique dont il est parlé à l'article 6.

Toutefois, lorsque la vente aura été faite avec stipulation du règlement du prix d'après l'analyse à faire sur échantillon prélevé au moment de la livraison, l'indication préalable de la teneur exacte ne sera pas obligatoire, mais mention devra être faite du prix du kilogramme de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse contenus dans l'engrais, tel qu'il est livré, et de l'état de combinaison dans lequel se trouvent ces principes fertilisants, la justification de l'accomplissement des prescriptions qui précèdent sera fournie, s'il y a lieu, en l'absence de contrat préalable ou d'accusé de réception de l'acheteur, par la production, soit du copie de lettres du vendeur, soit de son livre de factures régulièrement tenu à jour et contenant l'énoncé prescrit par le présent article.

Art. 5. — Les dispositions des articles 3 et 4 de la présente loi ne sont pas applicables à ceux qui auront vendu, sous leur dénomination usuelle, des fumiers, des matières fécales, des composts, des gadoues ou boues de ville, des déchets de marchés, des résidus de brasserie, des varechs et autres plantes marines pour engrais, des déchets frais d'abattoirs, de la marne, des faluns, de la tangué, des sables coquilliers, des chaux, des

plâtres, des cendres ou des suies provenant des houilles ou autres combustibles.

Art. 6. — Un règlement d'administration publique prescrira les procédés d'analyse à suivre pour la détermination des matières fertilisantes des engrais; et statuera sur les autres mesures à prendre pour assurer l'exécution de la présente loi.

Art. 7. — La loi du 27 juillet 1867 est et demeure abrogée.

Art. 8. — La présente loi est applicable à l'Algérie et aux Colonies.

La présente loi délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des Députés, sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 4 février 1888

Signé : CARNOT.

Par le Président de la République :

*Le Ministre de l'Agriculture,*

Signé : VIETTE.

---

**Règlement d'Administration publique  
pour l'application de la loi  
relative à la répression des fraudes  
dans le commerce des engrais.**

---

Le Président de la République française sur le rapport du Ministre de l'Agriculture.

Vu la loi du 4 février 1888, concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais, et notamment l'article 6, ainsi conçu :

Art. 6. — Un règlement d'administration publique prescrira les procédés d'analyse à suivre pour la détermination des matières fertilisantes des engrais et statuera sur les autres mesures à prendre pour assurer l'exécution de la présente loi. » :

[ Le Conseil d'Etat entendu,

Decrète :

Article premier. — Tout vendeur d'engrais ou amendement autre que l'un de ceux mentionnés à l'article 5 de la loi du 4 février 1888, est tenu

d'indiquer soit dans le contrat de vente, soit dans le double de la commission délivrée à l'acheteur au moment de la vente, soit dans une facture remise ou envoyée à l'acheteur au moment de la livraison ou de l'expédition de l'engrais ou amendements

1° Le nom dudit engrais ou amendement;

2° Sa nature ou la désignation permettant de la différencier de tout autre engrais ou amendement;

3° Sa provenance, c'est-à-dire le nom de l'usine ou de la maison qui l'a fabriqué ou fait fabriquer, s'il s'agit d'un produit industriel ou le lieu géographique d'où il est tiré, s'il s'agit d'un engrais naturel, soit pur, soit simplement trié et pulvérisé.

Art. 2. — Les indications prescrites par l'article qui précède doivent être complétées par la mention de la composition de l'engrais ou amendement.

Cette composition doit être exprimée par les poids des éléments fertilisants contenus dans 100 kilogrammes de la marchandise facturée, telle qu'elle est livrée, et dénommés ci-après :

Azote nitrique;

Azote ammoniacal;

Azote organique;

Acide phosphorique en combinaison soluble dans l'eau;

Acide phosphorique en combinaison soluble dans le citrate d'ammoniaque;

Acide phosphorique en combinaison insoluble;

Potasse en combinaison soluble dans l'eau;

Pour l'azote organique et la combinaison soluble dans l'eau, l'origine et l'indication de la matière première dont ils proviennent doit être mentionnée;

Dans tous les cas, la teneur par 100 kilogrammes d'engrais ou amendement est exprimée en azote élémentaire (Az), en acide phosphorique anhydre (Ph 0<sup>h</sup>) et en potasse anhydre (KO).

Les mots « pour cent » dans l'indication du dosage doivent être exprimés en toutes lettres.

Art. 3. — Lorsque la vente est faite avec stipulation du règlement du prix d'après l'analyse à faire sur un échantillon prélevé au moment de la livraison, l'indication de la composition de l'engrais ou amendement telle qu'elle est exigée par l'article 2 qui précède n'est pas obligatoire; mais le vendeur est tenu de mentionner, en outre des prescriptions de l'article premier :

Le prix du kilogramme d'azote nitrique;

Le prix du kilogramme d'azote ammoniacal;

Le prix du kilogramme d'azote organique;

Le prix du kilogramme d'acide phosphorique en combinaison soluble dans l'eau;

Le prix du kilogramme d'acide phosphorique en combinaison soluble dans le citrate d'ammoniaque;

Le prix du kilogramme d'acide phosphorique en combinaison insoluble;

Le prix du kilogramme de potasse en combinaison soluble dans l'eau. Pour l'azote organique et la potasse en combinaison soluble dans l'eau, l'origine ou l'indication de la matière dont ils proviennent doit être mentionnée.

Les prix se rapportent toujours au kilogramme d'azote élémentaire (Az) d'acide phosphorique anhydre (Ph 0<sup>n</sup>) et de potasse (KO).

Art. 4. — Les infractions aux dispositions de la loi du 4 février 1888 et à celles du présent règlement d'administration publique seront constatées par tous officiers de police judiciaire et agents de la force publique.

S'il y a doute ou contestation sur l'exactitude des indications mentionnées dans les contrats de vente, factures ou commissions destinées à l'acheteur, il peut être procédé, soit d'office, soit à la demande des parties intéressées, à la prise d'échantillon et à l'expertise de l'engrais ou amendement vendu.

Art. 5. — Quand il est procédé d'office à la prise d'échantillon, celle-ci est faite par le maire de la localité ou son adjoint ou le commissaire de police, soit dans les magasins ou les entrepôts, soit dans les gares ou ports de départ ou d'arrivée.

Art. 6. — Au cas où il est procédé à la prise des échantillons, à la demande des parties intéressées, les échantillons sont prélevés contradictoirement par les parties au lieu de la livraison.

Si le vendeur refuse d'assister à la prise d'échantillon ou de s'y faire représenter, il y est procédé, à la requête et en présence de l'acheteur ou de son représentant, par le maire ou le commissaire de police du lieu de la livraison.

Art. 7. — Les échantillons sont toujours pris en trois exemplaires; chacun d'eux est enfermé dans un vase en verre ou en grès vernis, immédiatement bouché avec un bouchon de liège sur lequel le magistrat qui aura procédé à la prise d'échantillon attachera une bande de papier qu'il scellera de son sceau.

Une étiquette engagée dans l'un des cachets porte le nom de l'engrais ou amendement, la date de la prise d'échantillon et le nom de la personne ou du fonctionnaire ou agent qui requiert l'analyse.

Art. 8. — Chaque prise d'échantillon est constatée par un procès-verbal qui relate :

- 1° La date et le lieu de l'opération;
- 2° Les noms et qualités des personnes qui ont procédé;
- 3° La copie des marques et étiquettes apposées sur les enveloppes de l'engrais ou amendement;
- 4° La copie du contrat de vente, du double de la commission ou de la facture;
- 5° La marque imprimée sur les cachets et la couleur de la cire;
- 6° Le nombre des colis dans lesquels ont été prélevés des échantillons ainsi que le nombre total des colis composant le lot échantillonné.
- 7° Enfin toutes les indications jugées pour établir l'authenticité des échantillons prélevés et l'identité industrielle de la marchandise vendue.

Art. 9. — Des trois exemplaires de chaque échantillon d'engrais ou d'amendement, l'un est remis ou envoyé au vendeur, l'autre est transmis

à un chimiste-expert pour servir à l'analyse, le troisième est conservé en dépôt, au greffe du tribunal de l'arrondissement, pour servir, s'il y a lieu, à de nouvelles vérifications ou analyses.

Dans le cas où la prise d'échantillon a lieu d'un commun accord ou à la requête de l'acheteur, les parties peuvent convenir du choix du chimiste-expert.

En cas de désaccord, ou en cas de prise d'échantillon d'office, le chimiste expert est désigné par le juge de paix du canton, sur la réquisition du magistrat qui a procédé à l'opération, ou à son défaut de la partie la plus diligente.

L'échantillon est remis au chimiste-expert; en même temps transmission est faite à celui-ci de la copie des énonciations de provenance et de dosage formulées par le vendeur, conformément aux articles 1, 2 et 3 du présent décret.

Art. 10. — L'expertise est faite par l'un des chimistes-experts désignés par le ministre de l'Agriculture et dont la liste est révisée tous les ans dans le courant du mois de janvier.

Les frais de l'expertise sont réglés par un tarif arrêté par le Ministre.

Art. 11. — L'analyse de l'échantillon doit être effectuée dans un délai de dix jours, au plus, à partir de la remise de l'échantillon au chimiste-expert.

Art. 12. — L'analyse doit être faite d'après les procédés indiqués ci-après :

### I. — Préparation de l'échantillon.

L'échantillon doit être amené à un état d'homogénéité parfaite.

### II. — Dosage des éléments utiles.

#### 1<sup>o</sup> Azote

a) *Azote nitrique.* — On transforme l'acide nitrique en bioxyde d'azote au moyen de l'ébullition avec du protochlorure de fer et on compare le volume du bioxyde d'azote obtenu au volume que donne une quantité connue de nitrate pur.

b) *Azote ammoniacal.* — On distille en présence d'un alcali la matière additionnée d'eau, en se servant d'un appareil à serpentín ascendant.

L'ammoniaque est recueillie dans l'acide titré.

c) *Azote organique.* — On le détermine par le chauffage de la matière avec la chaux sodée, qui le transforme en ammoniaque qu'on reçoit dans une liqueur titrée. Les nitrates qui peuvent se trouver dans l'engrais sont préalablement enlevés.

On dose encore l'azote organique en traitant la matière par l'acide sulfurique additionné d'un peu de mercure; l'azote amené ainsi à l'état de sulfate d'ammoniaque, est dosé comme il est dit au paragraphe qui précède s'il y a lieu aussi d'exclure l'azote nitrique.

2<sup>o</sup> *Acide phosphorique.*

a) *Acide phosphorique total.* — On dissout l'engrais ou amendement dans l'acide chlorhydrique et on maintient en dissolution l'oxyde de fer et l'alumine ainsi que la chaux par du citrate d'ammoniaque. On précipite l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, qu'on calcine pour le transformer en pyrophosphate, et on pèse.

Si la chaux est en trop forte proportion on l'élimine au préalable par l'oxalate d'ammoniaque.

b) *Acide phosphorique en combinaison soluble dans l'eau.* — On traite la matière par l'eau distillée en évitant un contact prolongé, on filtre et dans la solution filtrée, on précipite l'acide phosphorique et on dose celui-ci comme il est dit dans le paragraphe précédent (a).

c) *Acide phosphorique en combinaison soluble dans le citrate d'ammoniaque.* — On traite la matière à froid par le citrate d'ammoniaque alcalin, en laissant le contact se prolonger pendant 12 heures et on précipite dans la solution l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

Pour les trois dosages a, b, et c, au lieu de précipiter directement l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco magnésien on peut, au préalable, le précipiter par le nitromolybdate d'ammoniaque en dissolution nitrique. Le précipité obtenu est dissout dans l'ammoniaque et on détermine l'acide phosphorique en le transformant, comme dans les cas précédents, en phosphate ammoniaco-magnésien.

3<sup>o</sup> *Potasse en combinaison soluble dans l'eau.*

a) *Dosage à l'état de perchlorate.* — La potasse est amenée à l'état de perchlorate; celui-ci est lavé à l'alcool séché et pesé.

b) *Dosage par le platine réduit.* — La potasse est précipitée à l'état de chlorure doublée de platine et de potassium; ce précipité, lavé à l'alcool est traité par le formiate de soude, qui précipite le platine métallique dont on prend le poids après lavage et calcination.

De la quantité du platine, on déduit le poids de la potasse.

c) *Dosage à l'état de chlorure double de platine de potassium.* — On amène les sels de potasse à l'état de chloroplatinate qu'on pèse après lavage à l'alcool et dissécaton.

Le Ministre de l'Agriculture règle, par une instruction, sur l'avis conforme du comité consultatif des stations agronomiques et des laboratoires agricoles, les détails de chacun des procédés d'analyse mentionnés comme ci-dessus.

Art. 13. — Le chimiste-expert, dans son rapport, indique les tolérances d'écart, qui lui paraissent admissibles, en tenant compte :

1<sup>o</sup> Du degré d'homogénéité dont l'engrais est susceptible ;  
2<sup>o</sup> Des changements qu'il a pu subir suivant sa nature entre la livraison et l'analyse :

3<sup>o</sup> Et enfin du degré de précision des procédés d'analyse suivis,

Il conclut en donnant son avis sur les circonstances qui ont pu indépendamment de la volonté du vendeur, modifier la composition de l'engrais.

Art. 14. — Le rapport du chimiste-expert est déposé au greffe du tribunal qui a procédé à la désignation de l'expert. Avis du dépôt est donné par l'expert aux parties intéressées, au moyen d'une lettre recommandée.

Si le vendeur conteste l'analyse, il doit faire la déclaration dans un délai de 8 jours à partir du jour du dépôt, le jour de la notification non compris. Dans ce cas, le troisième exemplaire de l'échantillon est soumis à une contre-expertise par un chimiste expert choisi sur la liste dressée par le Ministre et désigné par le président du tribunal de l'arrondissement où il a été procédé à la prise d'échantillon.

Art. 15. — Le chimiste-expert chargé de la contre-expertise, fait, dans les huit jours à partir de celui où l'échantillon lui a été, l'analyse de l'engrais ou de l'amendement et rédige son rapport dans les formes indiquées à l'article 13 ci-dessus.

Art. 16. Le rapport du chimiste-expert chargé de la contre-expertise est déposé au greffe du tribunal civil où il a été procédé à la prise d'échantillon.

Avis du dépôt est donné par l'expert aux parties intéressées au moyen d'une lettre recommandée.

Art. 17. — Les rapports des chimistes experts, l'ensemble des procès verbaux de prise d'échantillon sont transmis au procureur de la République pour y être donné telle suite que de droit.

Art. 18. Cette transmission a lieu par les soins du chimiste-expert dans les huit jours qui suivent l'expiration du délai imparti par l'article 15 pour contester l'analyse quand l'analyse n'a pas été contestée par le vendeur et par ceux du chimiste chargé de la contre-expertise, au cas où il a été procédé à cette opération dans les quarante-huit heures qui suivent la clôture du rapport.

Art. 19. — Le Ministre de l'Agriculture est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Bulletin des Lois*.

Fait à Paris le 10 mars 1899.

Signé : CARNOT.

Par le Président de la République,

*Le Ministre de l'Agriculture :*

Signé : Léopold FAYE.



# TABLE DES MATIÈRES

---

	Pages
CHAPITRE PREMIER. — Historique . . . . .	5
CHAPITRE II. — Quelques notions sur la nutrition des végétaux . . . . .	10
CHAPITRE III. — Amendements . . . . .	22
1. Marnes . . . . .	22
2. Chaux . . . . .	24
3. Tangué. Valeurs . . . . .	26
4. Résidus calcaires divers . . . . .	29
5. Plâtre . . . . .	29
6. Jaehère . . . . .	31
7. Ecobuage . . . . .	32
8. Limonages . . . . .	33
9. Drainage. Irrigations . . . . .	34
CHAPITRE IV. — Engrais végétaux . . . . .	35
1. Résidus des récoltes . . . . .	35
3. Plantes cultivées comme engrais. Engrais verts . . . . .	37
2. Plantes marines employées comme engrais . . . . .	39
4. Résidus industriels . . . . .	40
5. — végétaux. Terreau . . . . .	43
CHAPITRE V. — Engrais animaux . . . . .	45
1. Guanos . . . . .	45
2. Engrais de poisson . . . . .	48
3. Sang et chair desséchés . . . . .	49
4. Débris de laine . . . . .	51
5. Engrais de cuir, déchets animaux torréfiés . . . . .	51
6. Os et noir animal . . . . .	52
7. Valeur comparée des engrais animaux . . . . .	54
8. Matières excrémentielles . . . . .	56
9. Déjections des animaux . . . . .	69
CHAPITRE VI. — Engrais mixtes . . . . .	71
1. Eléments constitutifs du fumier . . . . .	71
2. Formation du fumier . . . . .	74

3. Composition du fumier . . . . .	77
4. Conservation du fumier et du purin . . . . .	80
5. Emploi du fumier et du purin . . . . .	82
6. Modifications du fumier enfoui . . . . .	87
7. Fumures mixtes. — Composts . . . . .	90
8. Gadoues. — Boues de ville. . . . .	91
<b>CHAPITRE VII. — Engrais minéraux . . . . .</b>	<b>92</b>
<b>A. — Engrais azotés Salins . . . . .</b>	
1. Sulfate d'ammoniaque . . . . .	93
2. Nitrate de soude. . . . .	97
<b>B. — Engrais phosphatés . . . . .</b>	
1. Apatites ou phosphorites . . . . .	110
2. Sables phosphatés . . . . .	112
3. Nodules ou pseudo coprolithes. . . . .	116
4. Scories de déphosphoration . . . . .	119
5. Phosphates d'origine animale . . . . .	121
6. Superphosphates. . . . .	121
7. Phosphates précipités . . . . .	130
8. Emploi des engrais phosphatés . . . . .	130
<b>C. — Engrais potassiques . . . . .</b>	<b>134</b>
<b>D. — Sel marin . . . . .</b>	<b>138</b>
<b>E. — Sels de fer . . . . .</b>	<b>138</b>
<b>F. — Engrais chimiques . . . . .</b>	<b>139</b>
<b>CHAPITRE VIII. — Législation et analyse des engrais . . . . .</b>	<b>150</b>

---

Courbevoie. — Imprimerie E. BERNARD et C<sup>ie</sup>, 14, rue de la Station.  
Bureaux à Paris : 29, quai des Grands-Augustins.



②  
A. Produits chimiques

B. Verrerie,  
porcelaine  
et  
accessoires  
②



C. V.  
D. P.  
E. P.  
d'histoire



MAÇONNERIE & FUMISTERIE INDUSTRIELLE

TÉLÉPHONE 402-61

ENTREPRISE GÉNÉRALE  
De Construction et d'Installat  
d'Usines

**MIN DÉROCI**

*Cheminées en Briques et en Tôl*  
**FOURNEAUX DE GENERAT**  
**FOUES** pour toutes industries  
**MASSIFS DE MACHINES**  
**SPECIALITÉ de RÉSERVOIRS** en cime.

21, Rue Labois-Rouillon — PA

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1  
Desir sur demande.