

53  
classif

LIBRARY  
UNIVERSITY OF LILLE  
LILLE

ÉPOQUES ET MODES D'EMPLOI  
DES  
**ENGRAIS CHIMIQUES**

COMMENT EN TIRER LE MEILLEUR PARTI  
D'APRÈS LES RECHERCHES NOUVELLES

PAR

**V. ROUSSELLE**

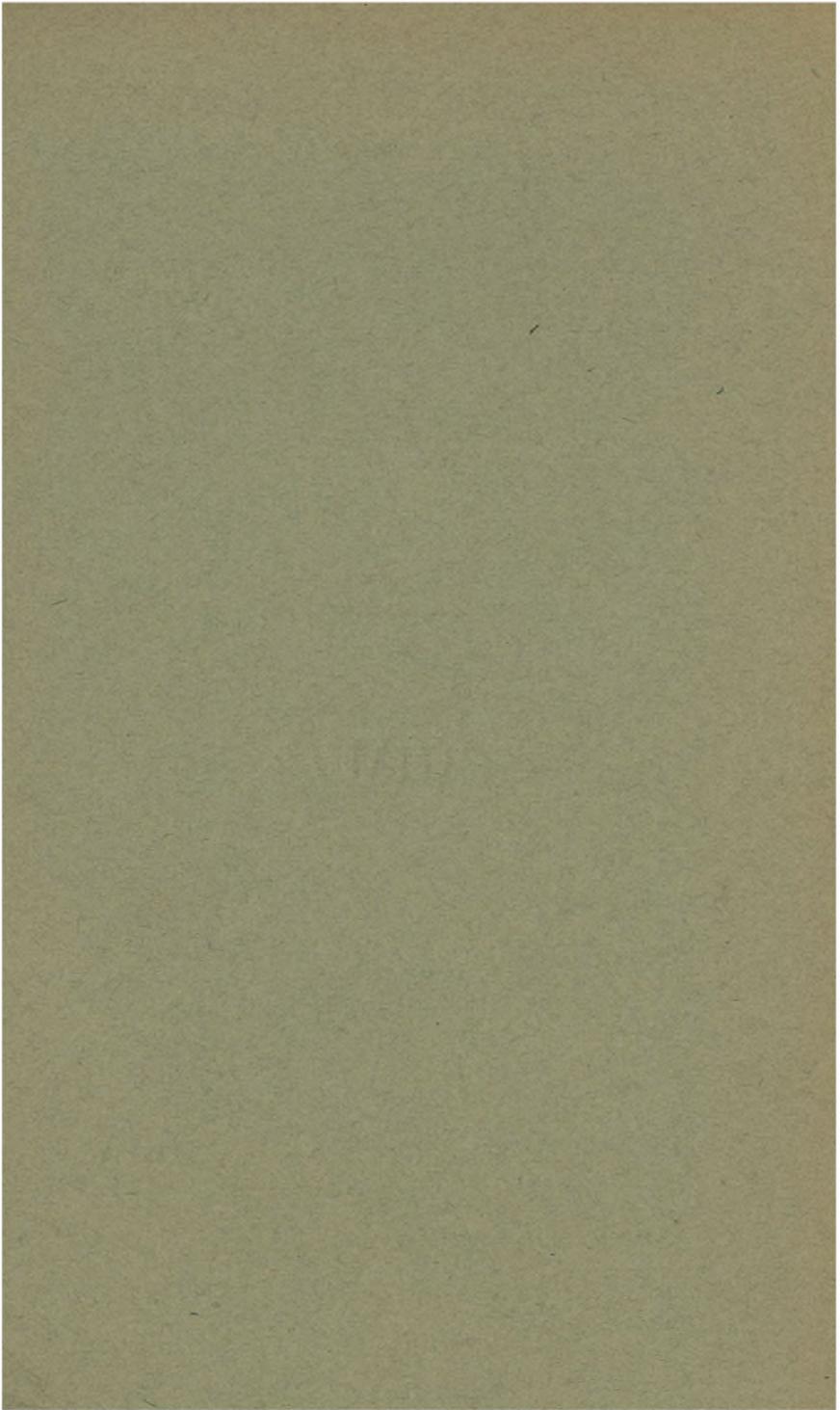
INGÉNIEUR AGRONOME



PARIS  
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, RUE HAUTEFEUILLE, 19

—  
1913



ÉPOQUES ET MODES D'EMPLOI  
DES  
ENGRAIS CHIMIQUES

OUVRAGES PUBLIÉS A LA MÊME LIBRAIRIE :

- ANDRÉ (C.), Professeur à l'Institut agronomique. — **Chimie agricole, Chimie végétale**, 1909, 1 volume in-18 de 568 pages, avec 14 figures; broché..... 5 fr.; cartonné..... 6 fr.
- ANDRÉ (C.). — **Chimie du sol**, 1913, 1 vol. in-18 de 356 p., avec fig., broché..... 5 fr.; cartonné..... 6 fr.
- GUILLEN (R.), Directeur du laboratoire de la Société des Agriculteurs de France. — **Analyses agricoles**, Terres, Engrais, Fourrages, Produits des Industries agricoles, 1910, 1 vol. in-18 de 500 pages, avec fig., broché..... 5 fr.; cartonné..... 6 fr.
- GAROLA (C.-V.), Directeur des Services Agricoles d'Eure-et-Loir. — **Engrais**, 4<sup>e</sup> édition. 1912, 1 vol. in-18 de 570 pages avec 98 fig. broché..... 5 fr.; cartonné..... 6 fr.
- PLUVINAGE (Ch.), **L'Industrie et le commerce des engrais et des anticryptogamiques et insecticides**, 1912, 1 vol. in-18 de 543 p., avec 269 fig., broché..... 5 fr.; cartonné..... 6 fr.
- VIVIER (A.), Directeur de la Station agronomique et du Laboratoire départemental de Melun. — **Analyses et essais des matières agricoles**, 1897, 1 vol. in-16 de 470 pages, avec 88 figures, cartonné..... 5 fr.
- GAIN (Ed.), Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy. — **Precis de chimie agricole**, 1895, 1 vol. in-16 de 436 pages, avec 93 figures, cartonné..... 5 fr.
- HALPHEN (G.), Chimiste au Laboratoire du Ministère du Commerce, et ARNOULD (V.), Chimiste au Laboratoire municipal. — **La Pratique des essais commerciaux et industriels. Matières minérales**, 2<sup>e</sup> édition, 1906, 1 vol. in-18 de 366 pages, avec 50 figures, cartonné..... 5 fr.
- HALL (A.-D.), Directeur de la station agronomique de Rothamsted, et DEMOLON (A.), chargé de cours à l'Ecole d'agriculture de Montargis. Préface de G. WERY. — **Le Sol en agriculture**, propriétés physiques, chimiques et biologiques, 1905, 1 vol. in-16 de 432 pages, avec 21 figures, cartonné..... 4 fr.
- GOUPIL (P.). — **Tableaux synoptiques pour l'Analyse des Engrais et des Amendements**, 1900, 1 vol. in-16 de 80 pages, avec figures, cartonné..... 1 fr. 50
- LARBALETRIER (A.), Professeur à l'Ecole départementale d'agriculture du Pas-de-Calais. — **Les Engrais et la Fertilisation du sol**, 1891, 1 vol. in-16 de 352 pages, avec 74 figures, cartonné..... 4 fr.
- PAGNOUL, Correspondant de l'Institut. — **Méthode pour l'analyse rapide de la Terre arable**, particulièrement au point de vue de sa richesse et de sa fertilité actuelles, 1903, in-8, 116 pages, avec figures..... 2 fr. 50
- MIEGE (E.), **Les Nouveaux engrais azotés**, 1913, in-8, 158 p., avec figures..... 3 fr. 50

00353

MUSEE  
15 JUIL 1947  
VILLE de LILLE

ÉPOQUES ET MODES D'EMPLOI

DES

# ENGRAIS CHIMIQUES

COMMENT EN TIRER LE MEILLEUR PARTI

D'APRÈS LES RECHERCHES NOUVELLES

PAR

**V. ROUSSELLE**

INGÉNIEUR AGRONOME

BMIC 68

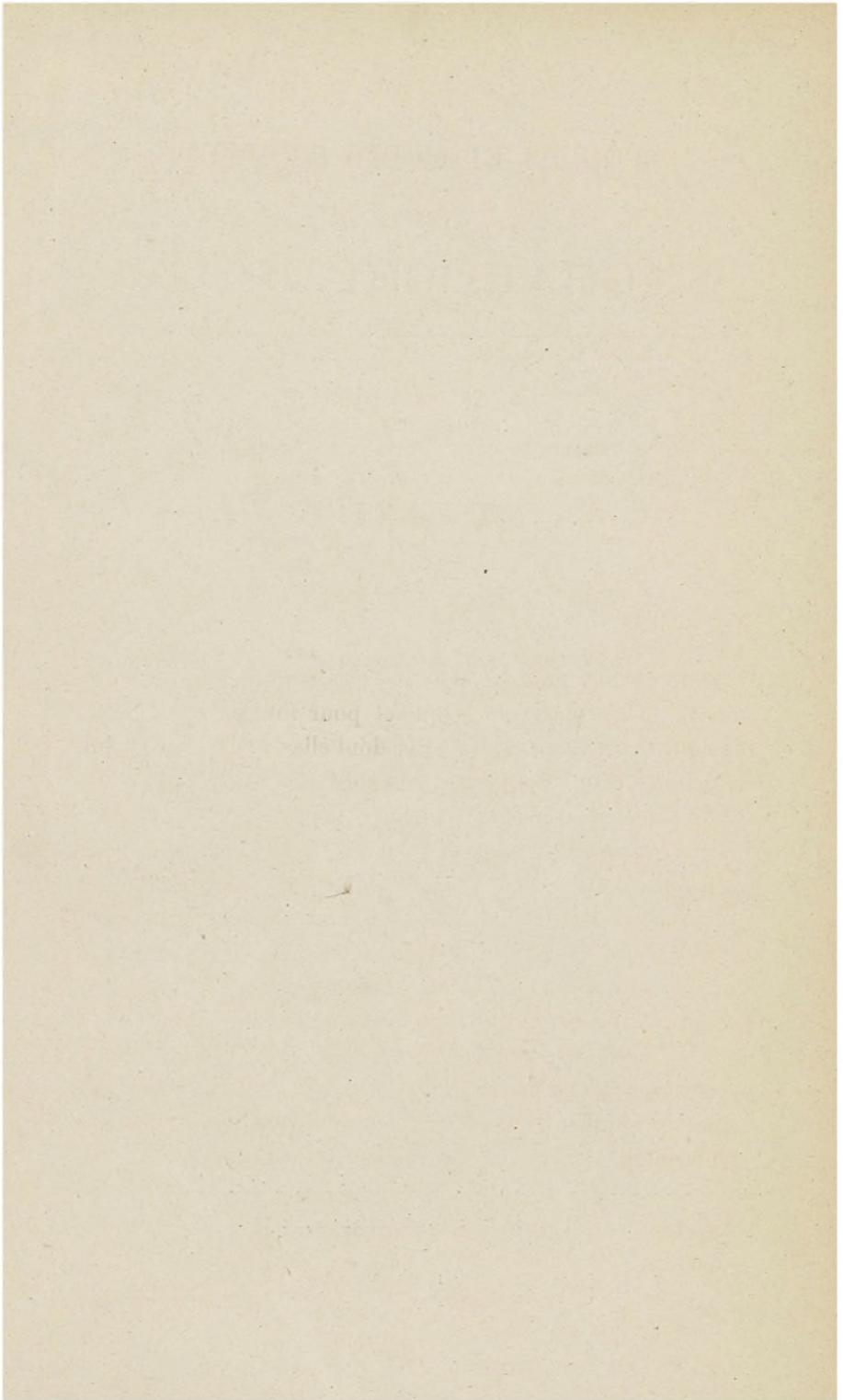


PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, RUE HAUTEFEUILLE, 19

—  
1913



# ÉPOQUES ET MODES D'EMPLOI

DES

## ENGRAIS CHIMIQUES

---

### INTRODUCTION

—

*Rôle des engrais.* — Les engrais sont des substances que l'agriculteur ajoute à son sol pour fournir aux plantes de culture les éléments nutritifs dont elles ont besoin et qui leur font défaut. Une partie de la substance constituant l'engrais doit pénétrer à l'intérieur de la plante. C'est par là que les engrais se distinguent des amendements, substances destinées à améliorer la nature physique ou chimique du sol sans devoir nécessairement être absorbées. En réalité, bien des engrais servent d'amendements et les amendements jouent dans une certaine mesure le rôle d'engrais.

Les plantes sont constituées surtout par les éléments *C, H, O*. Elles renferment en plus *N, P, S, Cl, Si, K, Ca, Mg*, et en plus petite quantité *Na, Fe, Mn, Bo*, etc. Pratiquement on n'utilise guère, comme engrais, que des substances renfermant de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse.

*Détermination des engrais à employer.* — Dans l'étude scientifique de l'emploi des engrais, on s'est surtout

préoccupé de rechercher les moyens de reconnaître s'il était utile d'apporter au sol un ou plusieurs de ces 3 éléments : azote, phosphore, potassium. Pour cette détermination, on a pensé à l'analyse chimique de la terre. On dose l'azote organique, on pourrait doser la potasse totale (par attaque à l'acide fluorhydrique), mais, le plus souvent, on dose l'acide phosphorique et la potasse de la terre (fine et sèche) qui se dissout dans l'acide azotique concentré après une attaque de 5 heures faite à la température du bain de sable. Cette méthode est « d'une insuffisance manifeste » (Dumont, la Terre arable). Surtout pour la potasse, « hormis les cas d'extrême richesse et d'extrême pauvreté, il faut se montrer prudent » dans l'interprétation (Bruno). On a autrefois pris pour base qu'un bon sol doit contenir 1 0/00 d'azote et d'acide phosphorique et 2 0/00 de potasse, ce qui correspond à 4.000 ou 8.000 kilos à l'hectare, (sur une profondeur de 30 cm.). Or, les récoltes absorbent une moyenne de 100 à 200 kilos de ces principes fertilisants.

L'interprétation précédente de l'analyse chimique comporte l'hypothèse faite plus ou moins explicitement qu'une fraction (1) à peu près constante de la quantité dosée est chaque année assimilable.

Le moyen le plus économique et le plus sûr de déterminer les exigences en engrais, d'un sol consiste à faire un essai méthodique des diverses substances à employer. Les conclusions tirées des essais ne seront valables, bien entendu, qu'à condition que les plantes soient placées dans des conditions normales pour leur végétation. Ce procédé a, d'ailleurs, l'avantage de permettre de nous rendre compte de la quantité d'engrais à employer, tandis que si l'analyse chimique peut, malgré tout, nous faire pressentir l'utilité de

(1) On aurait de meilleurs résultats en attaquant la terre avec des acides faibles comme l'acide oxalique qui dissout les enduits de revêtement (Dumont) ou pour ce qui concerne la potasse, l'eau chargée d'acide carbonique (Biéler).

l'apport de tel ou tel élément, nous ne connaissons pas de moyen de l'interpréter au point de vue des doses d'engrais à employer.

Une expérience absolument complète serait impossible à réaliser. Elle ne comporterait pas moins de 25 parcelles, davantage même, car il convient de faire en double un certain nombre d'essais afin d'avoir une idée de la précision de l'expérience. Ces essais peuvent être désignés ainsi :

*NPK, NPk, NpK, Npk NP, Np, NK, Nk, N  
nPK, nPk, npK, npk, nP, np, nK, nk, n  
PK, Pk, P, p, K, k, témoin sans engrais.*

ou *N, P, K*, désignent de hautes doses d'engrais azotés, phosphatés et potassiques, *n, p, k*, de faibles doses de ces mêmes engrais.

Mais, vu la connaissance préalable que l'on doit avoir de sa terre et vu aussi les besoins multiples des plantes, on pourra réduire de beaucoup le nombre des essais et se borner par exemple à :

*NPK, NPk, NP*

ou à

*NPk, nPk, nP*

ou, dans le cas de culture très peu intensive :

*npk, np, p, témoin sans engrais*

et

*np, n, p, témoin sans engrais.*

Nous avons l'intention non d'examiner quels engrais il convient d'utiliser, mais de quelle façon il est préférable d'employer les engrais dont on se sert. Logiquement, une telle étude devrait précéder celle de la détermination des engrais à employer, car pour que les conclusions d'un champ d'expériences tel que celui dont nous venons de parler soient valables, il faut évidemment que les engrais soient placés

dans des conditions telles qu'ils produisent leur effet maximum. Il est cependant naturel que les agronomes aient d'abord recherché plus particulièrement les espèces d'engrais à utiliser, car il fallait, avant tout, persuader les agriculteurs de l'utilité de leur emploi.

*Engrais solubles, insolubles et insolubilisés.* — Au point de vue de leurs propriétés physiques et de leurs rapports avec le sol, on peut diviser les engrais en 4 catégories.

1° Engrais solubles : nitrates, sels ammoniacaux, sels de potasse et, dans une certaine mesure, superphosphates.

2° Engrais insolubles : engrais organiques, scories et phosphates naturels.

1° Engrais non retenus par le pouvoir absorbant du sol : nitrates.

2° Engrais retenus plus ou moins par le pouvoir absorbant du sol : tous les engrais, sauf les nitrates.

Il semble évident a priori que les bases sur lesquelles doit reposer une théorie scientifique de l'emploi des engrais doivent être très différentes, suivant que l'on a affaire à une catégorie d'engrais ou à l'autre.

Si l'on prend pour point de départ le fait suivant, base de la détermination de l'engrais à employer par l'analyse chimique : 10 grammes d'un échantillon représentant d'une façon parfaite la terre fine d'un champ ont donné, à l'analyse, 2 centigrammes d'acide phosphorique et le sol est fertile sans l'emploi d'engrais phosphatés, ce qui implique que  $1/80$  (0 mgr. 4) environ de cet acide phosphorique est rendu assimilable chaque année. Si on en déduit que pour placer un sol dans des conditions aussi favorables il faudra que, dans chaque lot de 10 gr. de la terre du champ il y ait 0 mgr 4 d'acide phosphorique utilisable, on est amené à faire l'épandage des engrais de manière à ce qu'ils soient répartis le plus uniformément possible dans le sol.

Mais des expériences de MM. Berthault et Bretignière

ont montré que des engrais mis en lignes ont donné de meilleurs résultats que les mêmes engrais répartis d'une manière uniforme.

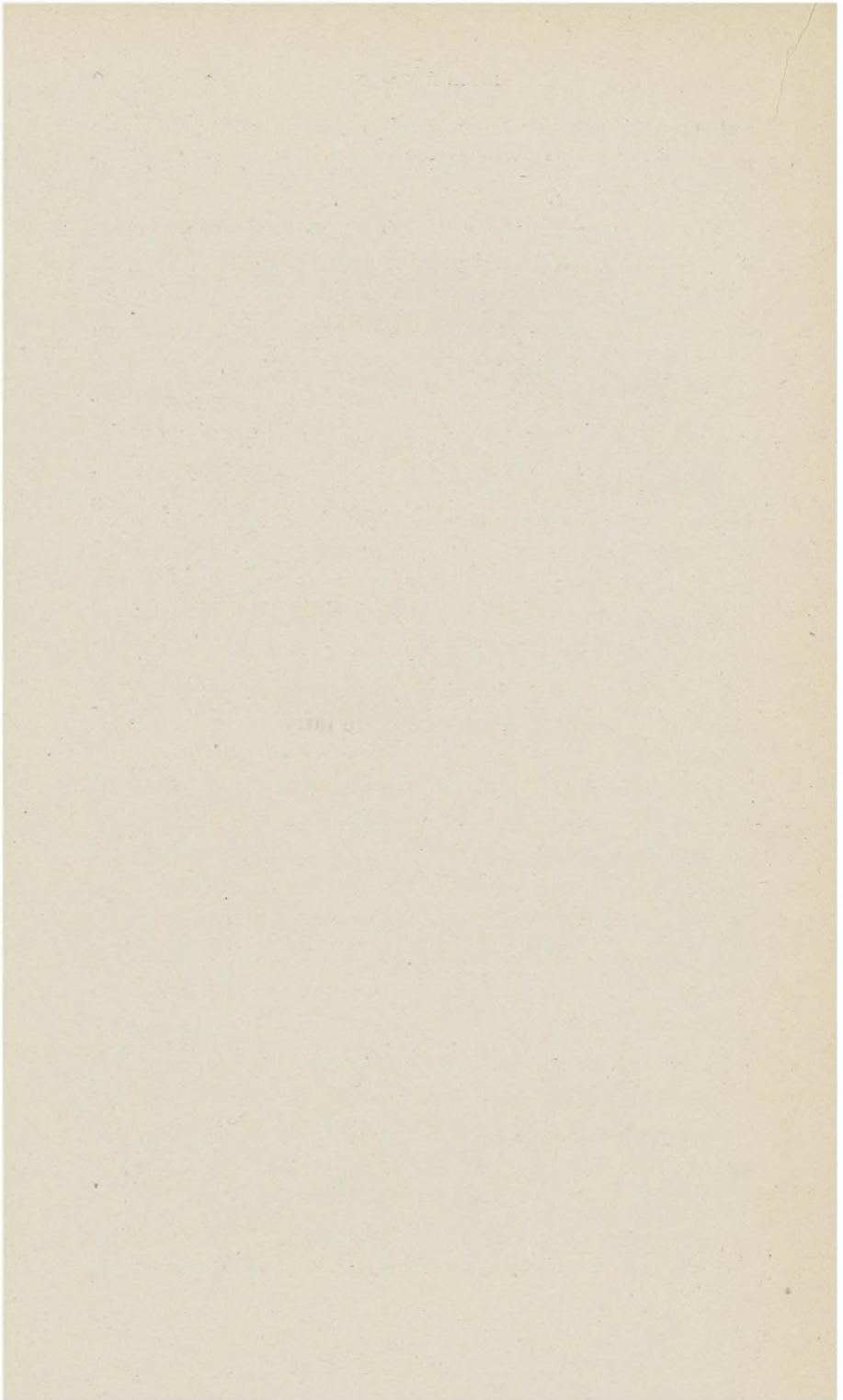
Puisque les engrais phosphatés et potassiques s'insolubilisent dans le sol, étant retenus par le pouvoir absorbant, qu'ils « ne se perdent pas dans le sous-sol », comme on dit souvent, on conclut parfois qu'on n'a rien à perdre en employant des doses massives de ces engrais. Cette conclusion est inexacte, les substances phosphatées et potassiques qui existent naturellement dans le sol ou qui y ont été apportées ne sont utiles qu'à condition d'être assimilables.

Des expériences récentes de MM. Muntz et Gaudechon ont montré que les « phosphates assimilables perdent, dès la 2<sup>e</sup> et surtout la 3<sup>e</sup> année, leur activité fertilisante ».

On voit que pour tous les engrais, retenus ou non par le sol, la question de leur mode d'emploi présente un grand intérêt pratique.

La question de l'emploi des nitrates étant la plus importante, nous l'examinerons tout particulièrement.





## LE MODE D'EMPLOI DES ENGRAIS EN GÉNÉRAL

### LES ENGRAIS, LEUR ABSORPTION, LEURS EFFETS

*Éléments à fournir au sol.* — L'agriculteur a à se préoccuper des éléments nutritifs qu'il doit ajouter à sa terre. Il déterminera ces éléments par l'expérience directe en s'aidant des indications qui lui sont fournies par la Science agricole. (Voir en particulier Garola, Engrais. *Encyclopédie agricole.*)

Il aura aussi à se préoccuper de la forme sous laquelle il est plus avantageux de faire l'addition d'un élément :

La valeur commerciale d'un engrais est déterminée par sa richesse en azote nitrique, ammoniacal ou organique, en acide phosphorique soluble ou non au citrate, en potasse soluble. D'autres circonstances peuvent influencer la valeur agricole de l'engrais; on sait qu'un même engrais, a une valeur différente suivant la nature des sols.

L'azote, le phosphore, le potassium ne sont pas les seuls éléments que la plante puise dans le sol, le soufre est apporté en même temps que d'autres éléments par les superphosphates et sulfates de potasse et d'ammoniaque, les engrais phosphatés apportent de la chaux. Quant aux autres éléments on ne se préoccupe pas en pratique de leur restitution. On peut alors se demander s'il y a lieu de faire pour un élément quelconque

un bilan de l'importation et de l'exportation d'une terre.

On a dit souvent que le poids d'une récolte était limité par l'assimilation de l'élément mis en moindre quantité. Pris à la lettre ceci reviendrait à dénier toute valeur fertilisante aux éléments originels de la terre, et à nier les doubles décompositions du sol. Pratiquement, la conclusion déduite de la loi du minimum (nécessité d'employer plusieurs espèces d'engrais chimiques) est souvent exacte.

On a préconisé l'emploi d'autres éléments, en particulier l'emploi du manganèse. L'utilité de ces éléments que la plante renferme en petite quantité nous conduit à la remarque suivante :

La détermination des éléments utiles aux plantes a été faite en procédant soit à l'analyse chimique de la plante, soit en essayant des cultures en milieu de composition connue. Les éléments qui se trouvent en quantité extrêmement petite peuvent échapper à l'analyse, mais on peut se demander pourquoi la plante cultivée dans un vase d'expérience a pu vivre sans leur apport. En admettant que les liquides employés soient impurs, il serait surprenant que ces impuretés soient précisément des substances utiles. Il est plus vraisemblable d'admettre que ces substances utiles soient déjà renfermées en quantité suffisante dans la jeune plante ou dans la graine. Ceci expliquerait la pratique des changements de semences.

L'agriculteur peut, il est vrai, renouveler ses semences pour acquérir une variété nouvelle, préférable à celle qu'il cultive déjà. Les agriculteurs de Brie, de Beauce, d'Ile-de-France, de Picardie se procurent leurs semences de céréales dans le Nord de la France, pays où les rendements sont très bons. Les agricul-

teurs de l'Est au contraire se procurent leurs semences d'avoine dans des régions où la culture est difficile. Si les plantes gardent les caractères qu'elles ont acquis dans les régions où on les cultive, il est rationnel de rechercher les semences des pays de culture prospère, sauf si l'on vise uniquement la rusticité (pays où la culture ne s'est pas améliorée); on recherchera alors les semences des régions peu favorisées. Mais beaucoup de praticiens sont partisans d'un renouvellement systématique des semences. En prenant des graines venues dans une terre de nature différente, on a des plantes qui peuvent tenir de la réserve des graines des éléments utiles puisés par leurs parents dans leur sol d'origine, éléments qui communiqueraient aux plantes des propriétés avantageuses.

*Actions secondaires des engrais.* — Le rôle des engrais étant de fournir aux plantes de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse, l'utilisation de l'engrais sera parfaite quand l'excédent de récolte obtenu sera égal au quotient de la quantité de l'élément fertilisant apportée par la teneur moyenne en cet élément de la plante cultivée. Ainsi M. Mamelle a obtenu dans ses expériences faites à Grignon comme coefficient d'utilisation de l'azote nitrique sur blé 78 0/0. Mais si l'on recherche le coefficient d'utilisation de l'azote du nitrate de soude employé dans la culture de l'avoine, on le trouve souvent supérieur à 100 0/0. — Ainsi, d'après M. Grandeau, 100 kilos de nitrate donnent en moyenne un excédent de 400 kilos. M. Garola a obtenu en 1887 un excédent de 7 quintaux 5 d'avoine (15 hectols. environ) pour 28 kilos d'azote (1). Comme d'après cet auteur 28 hectols. absorbent 71 kilos d'azote, 15 hectols. nécessitent l'absorption de 38 kilos de cet élément, le

(1) GAROLA, Engrais, 4<sup>e</sup> éd., 1912. (*Encyclopédie agricole.*)

coefficient d'utilisation était alors de 135 0/0. En moyenne 30 kilos d'azote donnaient 640 kilos de grain (environ 13 hectols.) nécessitant plus de 33 kilos d'azote (rendement encore supérieur à 100 0/0). On doit donc conclure que :

Ou bien une récolte se développant par suite d'un apport d'engrais azoté est plus pauvre en azote qu'une récolte venant dans un terrain renfermant peu d'azote ;

Ou bien que l'engrais a une action multiple. Pour ce qui concerne le nitrate de soude, cet effet peut tenir :

1° A l'action stimulante et bienfaisante de l'élément sodium ;

2° A une meilleure alimentation en eau, résultant de l'action de cet engrais sur le sol ;

3° Au fait que la plante se développant bien dans son jeune âge, acquiert un système racinaire puissant qui lui permet de puiser plus facilement la nourriture dont elle a besoin dans la suite.

La détermination du coefficient d'utilisation des engrais permettrait de mettre en évidence l'importance des actions secondaires des engrais.

L'engrais peut agir :

1° Sur la constitution physique de la terre. Les sels de chaux augmentent la perméabilité. Le nitrate de soude maintient la terre plus humide.

2° Sur la composition chimique de la terre. Il se produit des doubles décompositions. L'apport d'un sel de chaux ou d'un sel de soude solubilise la potasse du sol.

3° L'engrais peut apporter, outre l'azote, l'acide phosphorique et la potasse, d'autres éléments utiles aux plantes.

4° L'engrais peut influencer les transformations microbiennes qui se produisent dans la terre. La nitri-

fication ne se fait bien qu'en milieu légèrement alcalin. D'où l'utilité, dans certains sols, d'un apport de chaux basique ou carbonatée. Mais dans la modification des substances azotées le phénomène le plus important est non le passage de l'azote ammoniacal sous forme nitrique, mais le passage à l'état ammoniacal (1). Ce qui le montre c'est la faible quantité d'azote ammoniacal que l'on trouve dans les terres auxquelles on n'a pas ajouté d'engrais ammoniacaux, la nitrification des composés ammoniacaux y est donc plus rapide que l'ammonisation. La transformation de l'azote organique en azote ammoniacal peut se faire par voie chimique, et prend alors l'allure d'un phénomène de dissociation (Hébert), ou par voie microbienne (Muntz et Coudon). On peut penser qu'un apport d'ammoniaque sera une cause de retard de cette transformation, qu'elle se produise par un procédé chimique ou microbien. C'est peut-être pour cette raison que le sulfate d'ammoniaque agit mal dans certaines terres.

5° Les engrais, d'après une théorie de Whitney et Cameron, agiraient seulement comme antitoxines. (La théorie ne s'applique pas aux engrais azotés.) Il y aurait d'après eux un état d'équilibre déterminé entre l'eau du sol et les matières minérales de ce sol, état qui dépendrait de la nature physico-chimique de la masse de terre et ne pourrait être modifié par l'apport de quelques quintaux d'engrais. La quantité de substances solubles serait d'ailleurs suffisante pour satisfaire aux besoins des plantes. M. Schlœsing a d'ailleurs constaté qu'on n'arrivait jamais à épuiser une terre en potasse solubilisable lorsqu'on faisait passer un courant d'eau à travers cette terre (C. R. 1903).

(1) La chaux vive, facilitant l'ammonisation, est parfois préférée pour le chaulage de terres riches en matières organiques.

Mais quand il traite une terre cultivée il obtient dans les 1<sup>res</sup> dissolutions sensiblement moins de potasse qu'avec une terre reposée. Or, la plante doit avoir à sa disposition les engrais solubles au moment où elle en a besoin, le fait d'une vitesse de dissolution différente justifie donc utilité d'un apport d'engrais considérés alors comme substances plus rapidement solubilisées que celles contenues naturellement dans le sol. Si la terre ne renfermait que des matières minérales l'échange des ions entre l'eau et les substances minérales devrait être instantané, comme dans l'électrolyse, mais il existe dans le sol des matières organiques qui peuvent réagir sur les principes fertilisants et les réactions de la chimie organique sont des réactions lentes.

D'après Nernst, dans les réactions en système hétérogène de même que dans la dissolution des solides, la vitesse de réaction ou de dissolution est déterminée uniquement par la diffusion dans l'intérieur de la solution, raison qui fait penser que les réactions qui se produisent dans la terre doivent être lentes. (Nous avons, dans nos essais, constaté une certaine lenteur de dissolution du nitrate de soude placé dans la terre.) (Voir page 51.) Mais l'action antitoxique des engrais considérée comme action secondaire des engrais pourrait être réelle. On sait que certaines plantes de la famille des légumineuses ne donnent pas de bons résultats lorsqu'ils reviennent sur un sol ayant porté la même espèce il y a quelque temps, que certaines essences fruitières ne réussissent pas là où a poussé un arbre de même espèce. Il faut donc admettre que les racines de ces plantes ou bien ont enlevé de la terre quelque chose qui est particulièrement utile aux plantes semblables ou y ont laissé quelque chose qui leur est nui-

sible. Si elles ont enlevé quelque chose d'utile, c'est une substance qui n'est pas restituée par les engrais ordinairement employés. Si elles ont laissé une toxine, son action est plus énergique que celle des toxines laissées par les céréales et la plupart des plantes de culture.

6° On peut se demander si l'action si bienfaisante du fumier de ferme et de toutes les substances qui apportent de l'humus (action que les engrais chimiques n'ont pas) est due uniquement au rôle d'amandement qu'ont ces substances (actions physiques et apport de ferments) (1) ou bien est due aussi à ce qu'ils servent d'aliments carbonés aux plantes. L'absorption de la matière organique du fumier « est vraisemblable, elle n'est pas encore démontrée » (André, Chimie végétale). En pratique, on apporte bien des fois sous forme d'engrais chimique plus d'acide phosphorique que les plantes n'en absorbent, mais il est rare qu'il en soit ainsi des engrais azotés. Le fumier pourrait donc être considéré comme engrais azoté de fond. Mais la pratique montre les avantages d'un apport de fumier avant une culture de légumineuses (2), plantes qui demandent cependant peu d'azote au sol, et plaide ainsi en faveur de l'absorption de la matière carbonée de cet engrais.

Les actions secondaires des engrais doivent être prises en considération dans la détermination du mode d'emploi des engrais,

*Mécanisme de l'absorption des engrais.* — Les éléments utiles aux plantes apportés par les engrais salins

(1) Mitscherlich voit dans l'hygroscopicité un moyen de mesurer la valeur d'un sol au point de vue physique (voir page 61). Or une fumure moyenne n'augmenterait l'hygroscopicité que de 7 0/0 dans des conditions très favorables, augmentation insuffisante pour expliquer le bon effet des fumures organiques.

(2) Expérience de M. Garola à Cloches (8 récoltes de luzerne) : engrais chimiques, excèdent de 14 quintaux 45 ; fumier et engrais chimiques, 13 quintaux 3 ; fumier seul, 17 quintaux 2.

se trouvent dans le sol à l'état de molécules ou à l'état d'anions et de cations. Du nitrate de soude et du superphosphate en présence d'un corps contenant de la potasse donneront

1° des ions  $No^3$ ,  $So^4$ ,  $Po^4H$ , etc ;

2° des ions  $K$ ,  $Na$ ,  $Ca$ ;

3° des molécules  $No^3Na$ ,  $No^3K$ ,  $(No^3)^2Ca$ , etc., sans compter les combinaisons possibles avec les matières organiques (humophosphates). On s'explique donc facilement que le nitrate de soude soit facilement utilisé bien que la plante ne renferme que peu de sodium. En admettant l'absorption unique de molécules  $(No^3)^2Ca$ , sitôt qu'une de ces molécules est absorbée l'équilibre chimique est rompu et il y a nouvelle formation de nitrate de chaux. L'absorption de l'azote peut se faire tout aussi bien que  $No^3$  soit primitivement uni à une base ou à l'autre. Toutefois il y a à considérer l'action stimulante des ions, et celle de  $Na$  serait plus grande (Hober).

On a observé que chez beaucoup de plantes la quantité d'azote renfermée était supérieure à celle des bases, il en résulterait que la plante ou absorbe des ions  $No^3$  sans absorption d'ions métalliques en quantité correspondante, ou qu'il y a excrétion des racines.

D'après M. Mazé les racines des plantes, de même que les stomates (lors des pleurs), rempliraient une fonction d'excrétion. Les racines émettraient entre autres substances du malate de soude, les excrétions des racines solubiliseraient les matières minérales et organiques du sol.

Les racines secrètent des liquides acides qui attaquent la craie, le marbre ; ces liquides peuvent solubiliser certaines substances du sol (action solubilisante

qui s'ajoute à celles qui se produisent déjà dans la terre).

La force d'attaque de ces sécrétions peut être différente avec les espèces et toutes les plantes n'ont pas la même aptitude à tirer partie des substances du sol. Ainsi MM. Muntz et Gaudechon ont montré que le pois, qui ne contient que 0,36 de phosphore pour 100 de matière sèche, était plus sensible à l'action des engrais phosphatés que le colza, qui en contient 0,42 0/0.

Un point très important de l'alimentation des plantes est la question de savoir à quel moment de son existence la plante utilise les engrais. M. Garola a déterminé à diverses époques de leur vie la composition de plantes cultivées dans des pots de 33 cm. de haut et de diamètre de 40 et 25 cm. (c'est-à-dire en l'absence de sous-sol). Il a calculé également la quantité de substances absorbées journalièrement par 1 gramme de racines pendant les diverses périodes de la vie du végétal. (Voir *Engrais* Encyclopédie agricole.)

La plante sera d'autant plus exigeante en engrais que la rapidité de l'absorption des éléments nutritifs sera plus grande, et qu'elle possédera au moment de leur absorption moins de racines. Aussi des plantes qui végètent rapidement comme le lin demandent une terre bien fumée et l'on se trouve très bien d'une fumure superphosphate pour cette plante dans des terres où les engrais phosphatés réagissent peu.

Si, à un certain moment de l'existence de la plante, l'unité de surface des radicelles doit absorber une quantité importante d'acide phosphorique, de potasse, de chaux, comme l'incorporation de ces principes nutritifs au sol se fait à l'avance, on devra en employer une quantité suffisante pour qu'il y en ait suffisamment qui soient assimilables au moment où la plante en a besoin.

Si l'élément pris en plus forte quantité est l'azote on a la ressource de faire une application de nitrate à une époque telle que la plante ait de l'azote à sa disposition lorsque le besoin de cet élément se fait sentir.

Le fait de la difficulté de s'alimenter que peuvent ressentir les plantes peu enracinées explique dans une certaine mesure l'insuccès parfois constaté des labours profonds. Supposons que le sol cultivé renferme une quantité  $A$  de quelque chose d'utile, la profondeur de ce sol étant  $N$  cm. la terre renferme une quantité proportionnelle à  $\frac{A}{N}$  de cette matière bienfaisante. Par l'incorporation au sol d'une partie du sous-sol ( $n$  centimètres) on modifie ce sous-sol et il naît  $a$  de la même matière utile (1). Il y a enrichissement de l'ensemble vu que l'on possède actuellement  $A + a$ . Mais le pourcentage est diminué, car il est

$$\frac{A + a}{N + n} < \frac{A}{N}$$

si

$$\frac{A}{N} > \frac{a}{n}$$

ce qui sera généralement le cas (à moins que le sous-sol ait une composition très différente de celle du sol et qu'il se produise par le mélange des réactions bienfaisantes).

Il en résulte que la jeune plante pourra avoir de la difficulté à s'alimenter. On peut remédier à cet inconvénient par une forte application d'engrais, mais on n'est pas sûr d'apporter avec ces engrais (surtout si on

(1) Pour préciser, supposons que  $A$  est proportionnel à la quantité de matière organique du sol,  $a$  à celle du sous-sol, et que la matière du sol et celle du sous-sol ont une action semblable.

ne peut forcer la dose qu'en engrais chimiques) tout ce qui est utile aux récoltes.

La différence de pourcentage est :

$$\frac{A}{N} - \frac{A+a}{N+n} = \frac{An+aN}{N(N+n)} = \frac{A - a\frac{N}{n}}{N(1 + \frac{N}{n})}$$

Des deux terres dont on augmente la profondeur de labour dans une même proportion  $(\frac{N}{n})$ , celle qui souffrira momentanément le plus de cette opération sera celle qui aura la plus faible profondeur de sol (N). Ce sont donc les débuts de l'amélioration qui seront difficiles, ceci expliquerait qu'elle n'ait été réalisée que dans les pays de culture intensive, là où on possédait déjà une profondeur de sol assez grande.

*Effets des engrais.* — Les engrais permettent aux plantes de mieux se développer et par suite sur un procédé permettant à l'agriculteur d'augmenter ses rendements. Il utilisera ceux qui sont avantageux économiquement.

D'après M. Ray, les engrais sont, « suivant les cas, aliments, stimulants ou poisons ». On sait qu'à partir d'une certaine concentration les divers éléments sont toxiques, ceux qui le deviennent plus rapidement sont le chlore et le magnésium. Quand la concentration augmente, l'azote sous forme ammoniacale est plus vite toxique que sous forme nitrique. Au point de vue pratique le problème qui se pose à l'agriculteur consiste à amener sa terre par un procédé économique, dans un état se rapprochant le plus possible des terres donnant de bons rendements. Or, ces terres sont à la fois riches en matières organiques, en substances phosphatées ; on

y trouve des nitrates. Il ne devra pas modifier d'une façon inconsidérée la nature de sa terre pour « substituer au sol un substratum sans nom, dépourvu des qualités physiques indispensables et de l'équilibre chimique non moins nécessaire à l'égard duquel il est pratiquement impossible de remplacer la nature » (Ray). Il convient donc, quand on est amené à employer de très fortes quantités chimiques, de fractionner les doses, de les enfouir à des profondeurs différentes, et d'apporter le même élément au moyen de diverses substances.

On se demande souvent si l'engrais chimique ne diminue pas la qualité des produits. A ce point de vue il règne encore dans les campagnes (surtout là où l'on n'emploie les engrais qu'en petite quantité) bien des préjugés. Tout les fléaux auraient pour cause l'emploi des « chimiques ». Il est regrettable que ces préjugés soient entretenus par des personnes dont la mission serait de les combattre et d'inculquer en même temps aux campagnards les principes de l'hygiène du bétail.

Il est à remarquer que c'est précisément sur les cultures industrielles, là où il est le plus facile de constater non seulement la quantité mais aussi la qualité des produits, que les engrais chimiques sont les plus employés. Il n'y a pas lieu de se demander si l'emploi d'une forte dose d'un engrais déterminera une modification de la qualité des produits par suite de l'absorption plus grande de l'élément correspondant *N*, *P* ou *K*, ou d'un autre élément, mais si l'action stimulante de cet élément peut provoquer dans une certaine mesure une production plus grande de telle matière organique. Si la théorie des mutations est exacte, si ces mutations sont provoquées par une modification du milieu, cette modification même d'ordre parasi-

taire doit toujours se ramener, en fin de compte, à une modification d'ordre physico-chimique et il y a donc eu dans l'évolution des plantes des cas où les conditions physico-chimiques de milieu ont modifié la qualité de celles-ci.

A la question de l'effet des engrais se rattache celle de l'épuisement du sol par les récoltes. Cet épuisement peut ne pas être déterminé seulement par la mesure de l'absorption des éléments *N*, *P*, *K*, *Ca* par les récoltes. Il est influencé par le système racinaire de la plante et par son mode d'existence. Plus une plante occupe le sol longtemps, plus elle l'épuise, les praticiens sont d'avis que le blé épuise plus que le seigle, les cultures dérobées passent pour être particulièrement épuisantes. Ceci doit tenir à l'absorption d'eau de ces plantes, le manque d'eau empêchant la réalisation de modifications bienfaisantes du sol. L'influence de l'eau résulte d'expériences faites à Rothamstedt (Hall, *le Sol en agriculture*).

## RÉCOLTE A L'HECTARE

	Blé après jachère	Blé chaque année	Différence.
15 années d'infiltration au-dessous de la moyenne..	21.979 kg.	1.969 kg.	948 kg.
15 années d'infiltration au-dessus de la moyenne...	1.915 kg.	1.773 kg.	142 kg.

On peut se demander (surtout dans le cas de terrains sujets à souffrir de la sécheresse) si les cultures dérobées faites en vue de récupérer des nitrates ont non seulement un avantage économique, mais même un avantage technique. On les a abandonnées d'ailleurs dans bien des contrées. Cette observation ne s'applique pas, bien entendu, aux engrais verts faits à la place de la jachère, qui peuvent rendre des grands services dans les sols pauvres en matières organiques.

**LA PROFONDEUR D'ENTERREMENT DES ENGRAIS**

Pour que l'engrais soit facilement utilisé, il faut qu'il soit à la portée d'un grand nombre de racines jeunes. Or, à mesure que la plante se développe, ses racines s'enfoncent à une profondeur variable :

1° avec l'espèce ;

2° avec la nature des terres et le climat. « Les plantes qui croissent dans les climats arides s'enracinent presque perpendiculairement à la surface du sol, alors que dans les climats humides.... elles se ramifient latéralement » (Whitsoe).

On aura toutefois intérêt à avoir des plantes s'enracinant profondément, elles souffriront moins de la sécheresse si celle-ci survient.

La profondeur à laquelle il convient d'enterrer les engrais variera avec la plante cultivée. On enterrera plus les engrais destinés à la betterave que ceux destinés aux céréales. Petermann a obtenu de meilleurs résultats sur betteraves en sol sablo-argileux (de Gembloux) en enterrant un mélange de 650 kilos de superphosphate et de 500 kilos de nitrate de soude (pour 1 ha.) à 22 centimètres qu'en l'enterrant à 12 centimètres ou en le recouvrant simplement par un hersage.

Une pratique qui s'est répandue dans certaines régions de culture de la betterave à sucre consiste à enterrer une partie du superphosphate par un labour profond et le reste au scarificateur.

Pour les cultures de céréales, plantes pour lesquelles on fait des labours peu profonds, la seule question qui se pose en pratique est de savoir si on enterrera les engrais par un labour léger ou par un hersage. On se contente parfois de herser le superphosphate, et c'est

la seule façon qui permet d'enterrer les engrais mis en couverture au printemps sur les blés. Ce mode d'emploi du superphosphate ne paraît pas rationnel.

M. Schlœsing a constaté (1) que le superphosphate mélangé avec de la terre était insolubilisé au bout de 2 jours, la pénétration de l'engrais phosphaté mis en couverture se fera donc difficilement, elle n'aura pas lieu si on opère par temps sec.

Mais on n'aura peut-être pas toujours intérêt à enterrer trop profondément les engrais phosphatés. Les scories en couverture sur les prés agissent bien, et la pratique a montré que les phosphates naturels devaient être peu recouverts.

M. Grandeau a conclu de ses travaux, que si les terres noires de Russie étaient fertiles, c'est que les éléments fertilisants y existaient combinés avec la matière organique du sol. On aurait donc intérêt à faciliter de telles combinaisons et à placer les engrais dans la couche de sol vivante, enrichie en matières organiques.

Nous examinerons plus loin la question de l'enterrement du nitrate de soude.

A la question de la profondeur d'enterrement se rattache celle de l'action des engrais sur la germination. « Tant que la plante possède un poids moindre que celui de la graine initiale, l'azote ne varie pas. Sitôt que la plante dépasse le poids de la graine l'azote augmente..., l'acide phosphorique... augmente parallèlement à cet azote » (André, *Chimie végétale*). La plante n'a besoin d'engrais qu'après sa germination. Pendant la germination, les engrais hygroscopiques (nitrates, sels de potasse) peuvent gêner la germination en provoquant un appel d'eau vers les gros cristaux.

(1) C. R. 1892.

Il en résultera dans le cas d'un sol peu humide que :

- 1° Entre les points où il est tombé du sel, la terre contient trop peu d'eau pour que les plantes germent ;
- 2° Autour des points où sont tombés les cristaux d'engrais, la solution saline très concentrée est toxique.

Ces faits ont été constatés par MM. Muntz et Gaudichon. Dans une terre de jardin à 9,8 0/0 d'eau placée dans des cristallisoirs de 25 cm. de diamètre, ils plaçaient en 4 points différents 2 gr. de sel, et semaient du blé et de l'avoine et recouvraient d'une plaque de verre. Après quelques semaines, aucun grain n'avait germé, dans un cristallisoir témoin sans engrais, 34 sur 36 germaient.

On n'observe pas ces faits dans la pratique parce qu'on emploie des quantités d'engrais moindres et qu'à l'époque des semailles la terre est souvent humide. Toutefois, au sujet de son expérience sur betteraves, déjà citée, Petermann dit : « L'application de l'engrais dans les lignes en même temps que la plantation de la graine retarde la levée de quelques jours. »

Si les praticiens ont parfois remarqué de bons résultats en enterrant le nitrate dans les lignes de betteraves, les avantages tiennent non à ce qu'il a une influence sur la levée, mais à ce qu'il a été employé tôt, ce qui est souvent très bon, et à ce qu'il a été mis en lignes. Nous reviendrons sur la question de la fumure de la betterave.

Il en résulte que lorsque la terre est peu humide :

- 1° Il ne convient pas d'épandre du nitrate en couverture, ni des sels de potasse en même temps que l'on sème des graines de prairies artificielles. Ces engrais doivent être enterrés avant ce semis ;

- 2° Le nitrate employé pour les cultures dérobées

doit ou bien être enterré par un labour avant le semis de ces plantes, ou alors être mis en couverture après la levée de ces plantes. Cette 2<sup>e</sup> application ne donnera d'ailleurs de bons résultats que si le temps est suffisamment humide. Suivant le climat, on fera l'une ou l'autre application, ou les deux, en fractionnant la dose.

### L'ÉPOQUE D'EMPLOI DES ENGRAIS

Nous rechercherons l'époque la plus favorable de l'emploi des engrais en partant de cette idée qu'il convient que les racines des plantes trouvent à leur contact les éléments nutritifs sous forme assimilable. La question est complexe, car on peut penser que la présence d'éléments nutritifs à un endroit déterminé du sol sera cause que les racines des plantes se développeront mieux en ce point. Les êtres vivants se développent bien là où ils trouvent des conditions favorables, les tiges des plantes se tournent vers la lumière, les racines des arbres pénètrent très facilement dans les champs voisins, se développent bien dans les tuyaux de drainage. C'est probablement une des raisons pour lesquelles la majeure partie des racines des plantes se trouve dans le sol cultivé.

La racine de la plante a besoin d'eau, d'air, de matières nutritives, elle se dirigera vers l'endroit où se trouvent ces corps. Mais les engrais ne sont utiles à la plante que sous forme assimilable, il conviendra donc de distinguer :

1<sup>o</sup> Les engrais toujours assimilables. Les nitrates sont seuls dans ce cas. Leur azote reste sous forme nitrique, les phénomènes de dénitrification étant très

rare dans la terre arable. Sur une moyenne de 30 ans, on a retrouvé dans la récolte et les eaux de drainage 91 kilos d'azote sur 96 kilos d'azote nitrique employés (Expériences de Lawes et Gilbert à Rothamstedt).

2° Les engrais solubles que le sol insolubilise. C'est le cas du superphosphate et des sels de potasse. Les engrais solubles sont fixés par le pouvoir absorbant de la terre. La façon dont s'exerce ce pouvoir absorbant n'est pas déterminée (1). L'acide phosphorique peut s'unir aux alcalino-terreux, au fer, à des matières organiques. Chacune de ces combinaisons peut avoir une valeur différente au point de vue de la nutrition du végétal; la combinaison phospho-organique étant probablement préférable, la combinaison avec les alcalino-terreux plus favorable que celle avec le fer.

Il est difficile d'établir sur ces bases une théorie de l'emploi des engrais absorbés par la terre même de répondre à la question de savoir si ces engrais doivent, comme le fumier, être enterrés le plus tôt possible après leur épandage. Au contact des éléments de la terre, il doit tendre à s'établir un équilibre entre les divers corps, mais cet équilibre (en admettant que rien ne contribue à le modifier) met plus ou moins de temps à s'établir. A défaut d'indications plus précises il semble qu'il conviendra de mettre en contact le plus tôt possible les engrais phosphatés avec la matière organique du sol.

3° Les engrais insolubles devront subir des transformations dans le sol avant d'être assimilables. Leur effet est d'autant meilleur en général qu'ils sont de finesse plus grande. Le fait de les soumettre aux actions

(1) Meines Erachtens ist auch die Theorie der chemischen Absorption der Nahrstoffe durch den Boden noch keineswegs geklärt (Mitscherlich-Bodenkunde).

désagrégeantes des intempéries ne peut que leur profiter; d'où le conseil d'employer les scories ou phosphates naturels avant l'hiver. Quant aux engrais organiques (et peut-être pour tous les engrais insolubles ou insolubilisés) il convient de les employer dans les mêmes conditions que le fumier de ferme, les conditions de bonne utilisation étant les mêmes, avec cette réserve toutefois que, le fumier servant non seulement d'engrais mais aussi d'amendement, il y a un résultat obtenu avec le fumier qu'il est inutile de rechercher avec les autres engrais.

Nous examinerons plus loin l'époque à laquelle il est préférable d'épandre le nitrate. Mais puisque nous avons parlé dans ce chapitre des actions secondaires des engrais nous devons signaler que l'application hâtive de nitrate contribuera à provoquer un enfoncement plus grand des racines, ce qui présente de grands avantages dans un terrain sujet à souffrir de la sécheresse. On peut penser que dans leur jeune âge les racines recherchent surtout des éléments nutritifs solubles, elles auront tendance à s'enfoncer si les nitrates sont en profondeur (pourvu que celle-ci ne soit pas trop grande). Quand la saison avance c'est l'humidité qui manque le plus au végétal, il est utile que les plantes soient alors bien enracinées, de manière que toute l'énergie fournie à la plante puisse être consacrée aux modifications chimiques et aux migrations qui se produisent lors de la maturation, et que rien ne soit distrait pour la production de nouvelles racines.

Une expérience de Lawes et Gilbert plaide en faveur de ces considérations (1) :

(1) Nous avons déjà signalé l'utilité de varier les fumures. Dans un travail classique de Warrington, où il compare le nitrate de soude et le sulfate d'ammoniaque après avoir indiqué que, à Rothamstedt, la produc-

		Humidité p. 100 dans les diverses couches d'une terre de prairie (année 1870 très sèche)		
		Sans engrais	Engrais minéraux et	
			Sels ammoniacaux	Nitrate de soude
	centimètres	—	—	—
Premiers	22,5	40,83	43,00	42,16
Seconds	—	43,34	40,18	41,80
Troisièmes	—	19,23	16,46	15,65
Quatrièmes	—	22,71	18,96	16,30
Cinquièmes	—	24,28	20,54	17,18
Sixièmes	—	25,07	21,34	18,06
Moyenne	—	19,24	16,75	15,13

Le fait que la plante a pu puiser facilement l'eau du sous-sol en cette année sèche s'est ajouté aux bons effets de l'engrais pour en augmenter l'efficacité.

	Foin à l'hectare :		
	1870	Moyenne de 1856 à 1870.	Déficit en 1870
Sans engrais	725 kilos	2771 kilos	2046 kilos
Engrais minéraux et sels ammoniacaux	3625	6527	2902
Engrais minéraux et nitrate de soude	7000	7250	250

Les engrais phosphatés sont enterrés en général avant les semailles. La seule question d'intérêt prati-

tion du blé était avec sulfate d'ammoniaque de 74,8 p. 100 de celle avec nitrate et à Woburn 95,7 p. 100, il cite les cas suivants :

	1882 (année humide)	Différences	1887 (année sèche)	Différences
Nitrate de soude	29,34	2,34	26,83	10,53
Sulfate d'ammonia- que	31,68			
Nitrate de soude (quantité double)	32,34	6,89	39,46	6,54
Sulfate d'ammonia- que (quantité dou- ble)	39,23			

Avec les petites quantités, quand la différence est en faveur du sulfate elle est faible, en faveur du nitrate elle est forte. Avec de fortes doses les différences se compensent presque. Le sulfate d'ammoniaque semble donc peu intéressant pour les faibles fumures, pour les hautes doses les deux engrais peuvent être utilisés à la fois si la terre nitrifie bien.

que à se poser à leur sujet est de savoir si on les utilisera à très haute dose et pour plusieurs années, ou si on fera des applications annuelles.

M. Garola a obtenu à la suite d'une seule application d'engrais phosphatés de bons résultats pendant 4 années consécutives, la 5<sup>e</sup> année la fumure étant épuisée pratiquement. Toutefois il conclut : « Il n'est même pas à conseiller, dans les terres pauvres comme les nôtres, d'attendre aussi longtemps pour réitérer les additions d'engrais phosphatés. »

Le même auteur a remarqué que, dans la terre de limon de Beauce additionnée d'engrais phosphatés, la quantité d'acide phosphorique, soluble au citrate, était après 7 mois très notablement augmentée.

« L'efficacité relative des engrais (dit M. Garola) déterminée par nos expériences culturales est bien comparable à celle que nous avons déduite ici (de leur solubilisation). Le tableau suivant en fait foi :

	Assimilabilité relative d'après les expériences culturales, l'étude actuelle	
Superphosphate	100	100
Scories	95	87
Phosphates minéraux	33	23

D'après M. Dumont, il se forme sur les particules de terre des enduits qui protègent les éléments originels de la terre contre une attaque ultérieure, les actions dissolvantes ne s'exercent plus ensuite que sur les revêtements. Il se peut donc que, quelle que soit la forme de phosphate employée, elle perde au bout d'un certain temps une grande partie de sa valeur fertilisante, étant englobée dans des matières inertes.

MM. Muntz et Gaudechon ont étudié pendant trois ans les effets et l'absorption de l'acide phosphorique incorporé à l'avance au sol sous forme de phosphate

monocalcique, bicalcique ou tricalcique à la dose considérable de 666 kilos d'acide phosphorique à l'hectare. Ils faisaient chaque année une culture principale (blé, colza, fèves, orge, pois, lupin ou avoine) et une culture dérobée.

Voici quelques-unes de leurs conclusions :

« Si le superphosphaté a la première année une supériorité sur les autres formes, cette supériorité ne se maintient pas les années suivantes. »

« La 3<sup>e</sup> année on peut dire que l'assimilabilité du phosphore de ces engrais devient comparable à celle du phosphore préexistant dans le sol. »

« Les engrais phosphatés, ayant subi des traitements chimiques, perdent bientôt leur efficacité... il ne s'agit pas ici du phénomène... de rétrogradation... mais d'une véritable dégradation. »

Acide phosphorique ( $P^{205}$ ) prélevé par les récoltes (en grammes)

	Phosphate monocalcique	Phosphate bicalcique	Phosphate tricalcique	Témoin
Année 1908	21,65	18,82	18,82	10,40
— 1909	10,80	9,85	8,58	6,42
— 1910	5,32	5,34	5,82	5,52
Total	37,77	34,01	33,22	22,34

Il avait été ajouté 50 gr. de  $P^{205}$  à chacune des 3 premières séries de 5 pots.

En principe il convient donc de faire des applications annuelles de superphosphate au lieu de faire une forte application pour plusieurs années. De même il n'y a pas avantage à épandre avant l'hiver le superphosphate destiné aux cultures de printemps. En pratique d'ailleurs on épand le superphosphate destiné à ces cultures au moment des façons culturales préparant la terre pour les semailles (quelquefois une partie avant le

premier labour dans le cas d'une culture de betteraves).

Il en est autrement pour les scories. Dans les terres où ces engrais réussissent bien il est probable que ces engrais se modifient favorablement, ainsi que M. Garola l'a constaté avec les limons de Cloches et de Houville. Les praticiens ont d'ailleurs constaté que les scories épandues sur les prés ne donnaient leur plein effet que l'année suivant leur application.

Mais il y a un autre point de vue à considérer : c'est l'aptitude qu'ont les diverses plantes à tirer parti des éléments nutritifs du sol. « Ce ne sont pas les plantes dont la teneur en phosphore est la plus élevée (disent MM. Muntz et Gaudechon) qui sont les plus sensibles à l'action des engrais phosphatés ».

Il serait intéressant de rechercher l'action des engrais suivant l'espèce de plantes cultivée. Il est malheureusement impossible de déduire des conclusions d'après la série des résultats d'expériences sur les engrais publiés jusqu'à ce jour, ces essais n'étant pas faits dans les mêmes conditions. Nous devons nous borner à des déductions générales tirées de faits observés dans la pratique.

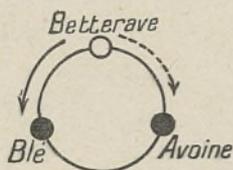
La betterave est une plante très exigeante demandant beaucoup d'engrais. On lui donne généralement ces engrais sous forme très assimilable. Est-ce uniquement parce que la culture de cette plante étant souvent faite sous forme intensive, on regarde moins à la dépense ou est-ce aussi à la suite d'une nécessité reconnue ?

Nous pensons qu'il y a nécessité à employer des engrais très assimilables pour cette plante, car là où l'on n'emploie pas d'engrais chimiques : 1° on lui réserve une très forte fumure au fumier ; 2° on la cultive à de

grands emplacements (il en est de même pour la pomme de terre). Cette nécessité de fumer très fort ou d'espacer les plantes témoigne d'une difficulté de la plante à s'alimenter. L'espacement n'est d'ailleurs qu'un mauvais remède pour la raison que nous indiquerons dans le paragraphe suivant.

Au contraire l'avoine est une plante très peu exigeante (tout au moins en engrais non azotés); on sait que les fermiers, en fin de bail, ont tendance à faire revenir plusieurs fois de suite cette plante sur la même parcelle et qu'elle donne tout de même des résultats dans une terre épuisée.

Au point de vue d'une bonne utilisation des fumures l'assolement triennal : plante sarclée, blé, avoine, est donc bien conçu (1). On fait une forte fumure avec la plante sarclée, le blé peut se contenter des résidus laissés par la plante sarclée. Il est vrai que l'arrière action est complexe, mais dans l'ensemble l'action des engrais doit intervenir et un agriculteur de la Brie la résumait ainsi devant M. H. Hitier : « Aussi longtemps que la culture de la betterave ne me coûtera pas, dût-elle ne rien me rapporter, je continuerai à le faire, tant sont grands les avantages de cette culture pour les récoltes de céréales et fourragères qui lui succèdent dans l'assolement » (2). Quant à l'avoine, étant la plante la moins exigeante, sa place doit être logiquement en dernier lieu, ce qui ne veut pas dire qu'il convienne de la laisser manquer de soins, ce qui arrive trop souvent.



(2) Hitier, Plantes industrielles.

(1) Nous nous demandons comment s'est propagée cette idée qu'il faudrait modifier dans l'assolement triennal la place de la plante sarclée de manière à séparer 2 plantes salissantes : le blé et l'avoine, comme si dans une rotation autour d'un cercle sur lequel sont placées 2 boules noires et 1 blanche, les noires ne se succédaient pas toujours.

La pratique d'apporter le fumier de ferme et une forte quantité d'engrais phosphatés avant la betterave ou toute autre plante sarclée exigeante est donc justifiée. Toutefois dans les terres où le superphosphate agit bien et où il a une supériorité manifeste sur les autres engrais phosphatés, il conviendra de rajouter chaque année une faible dose de cet engrais, afin que la plante soit assurée d'avoir toujours de l'engrais assimilable à sa disposition. Une telle application sera nécessaire si, à une certaine époque de la vie de la plante, la quantité d'acide phosphorique absorbée par gramme (ou unité de surface) de racelles est grande (Voir Garola-Engrais).

Enfin on emploiera à doses massives les engrais qui jouent un rôle d'amendement important. Tel peut être le cas des scories (1), si ces produits sont bon marché, leur emploi peut constituer un chaulage économique.

#### LE MODE D'ÉPANDAGE DES ENGRAIS

Il nous reste à examiner une dernière question relative à l'emploi des engrais : leur mode d'épandage. Nous n'examinerons pas si l'épandage à la main est préférable ou non à l'épandage au distributeur. C'est là une question d'ordre économique, et le cultivateur examinera quel est le procédé le moins cher qui lui permet de répartir uniformément l'engrais. Si l'on emploie 500 kilos d'engrais à l'hectare, il importe que chaque mètre carré en reçoive à peu près 50 grammes ; mais il est nécessaire que chaque décimètre carré en reçoive 0 gr. 5 ? Chacune des plantes à récolter doit occuper la même superficie du champ (la régularité de la plan-

(1) Malgré tout, le rôle des scories est surtout de fournir aux plantes des substances non azotées ; bien qu'elles facilitent la nitrification, elles avantagent plus les légumineuses que les graminées.

tation est un des facteurs qui influent sur la récolte, comme l'a montré A. Girard pour la pomme de terre (1) ; elle doit également avoir la même quantité d'engrais à sa disposition, soit  $e$ , mais si cette plante occupe  $n$  cm<sup>2</sup>, il n'est pas nécessaire que chaque centimètre carré reçoive  $\frac{e}{n}$ .

La loi de la conservation de l'énergie doit s'appliquer au monde végétal. Supposons que la plante capte une quantité d'énergie (2) déterminée par son état de développement. Cette énergie est utilisée soit à un travail chimique (élaboration de la matière sèche), soit à un travail physique (montée de l'eau et des engrais à travers les cellules jusqu'aux feuilles, organes de transpiration et d'élaboration et action des racines sur la terre dans laquelle elles pénètrent). Plus le travail physique est diminué, plus l'élaboration de matière sèche peut être grande, et c'est surtout à l'époque de la maturité qu'il est bon que la plante dispose d'une grande quantité d'énergie. Le défoncement du sol, en facilitant la pénétration des racines, a, comme on l'a remarqué, les meilleurs résultats ; on peut également hâter cet enfoncement à l'aide d'engrais, comme nous l'avons montré précédemment.

La présence d'engrais diminue la quantité d'eau nécessaire pour former le kilo de matière sèche, car « la plante emploie d'autant moins d'eau que sa croissance est plus énergique et plus rapide » (André, *Chimie végétale*). Mais la facilité avec laquelle circule l'eau sur les organes de la plante influe sur sa production. On sait que les branches d'arbres recourbées sont beaucoup moins vigoureuses que les branches droites, que

(1) Les avantages du semis en lignes tiennent surtout à ce que, avec cette façon d'opérer, chaque plante a sa part de sol, d'air, de lumière.

(2) Chaleur et lumière fournies par les radiations solaires.

la croissance des branches horizontales est moins rapide que celle des branches verticales. De même, la verse des céréales a des effets d'autant plus néfastes qu'elle précède de plus longtemps la maturation. Il doit en être de même pour les racines; si on oblige celles-ci à se ramifier énormément pour pouvoir absorber les engrais, la plante aura plus de difficulté à végéter (1).

M. Schlœsing a montré (C.R. 1892) que des engrais, mis en lignes distantes de 15 cm. et à une profondeur de 12 cm., ont donné de meilleurs résultats que les mêmes engrais répartis uniformément (par un arrosage). La fumure correspondait à 600 kilos de superphosphate d'os, 600 de nitrate de soude, 400 de sulfate de potasse et 240 kilos de sulfate de magnésie à l'hectare. La quantité de matières assimilées était plus grande quand les engrais étaient mis en lignes.

M. Berthault a constaté à Saint-Bon et à Grignon les bons effets de la localisation des engrais. Le docteur Rudelka a montré que l'emploi des engrais en lignes dans la culture de la betterave augmentait le rendement. Les différences étaient de 35 0/0 en faveur de l'épandage dans les lignes, le surplus de sucre obtenu, grâce à cet épandage, était de 4 quintaux 55. Les viticulteurs sont d'avis d'accumuler les engrais au pied des ceps ou en cuvette autour de ceux-ci.

Examinons l'influence du mode d'épandage au point de vue des actions secondaires de l'engrais. Les réactions, doubles décompositions que les engrais provoquent dans la terre seront retardées grâce à ce mode d'épandage, ce qui sera parfois un avantage. Si on emploie un mélange de superphosphate ou de plâtre et de nitrate de soude, comme on a affaire à des subs-

(1) M. Pagnoul a constaté que le développement radiculaire était plus grand en terre pauvre qu'en terre riche (*Annales agronomiques*, 1899).

tances modifiant diversement la consistance du sol (le nitrate diminuant la perméabilité et favorisant la capillarité, les sels de chaux faisant l'inverse), dans le mélange localisé, il y aura un état d'équilibre autre, entre  $Na$ ,  $Ca$ ,  $PO^4H$ ,  $NO^3$ ,  $SO^4$ ,  $CO^3$ , que celui qu'on obtiendrait avec les engrais épandus séparément, les actions se contrebalanceront.

Pour certains engrais cependant, il conviendra peut-être de faire un épandage uniforme, c'est le cas des engrais devant servir aussi d'amendement, comme les scories, et des engrais organiques qui doivent subir des modifications d'ordre microbien et qu'il sera peut-être avantageux d'étaler pour qu'ils soient en contact avec le plus grand nombre possible de ferments.

## RAPPORTS DU NITRATE AVEC LE SOL

Durant ces dernières années, l'emploi du nitrate était dominé par la préoccupation unique d'éviter les déperditions de cet engrais dans le sous-sol. La présence de nitrates dans les eaux de drainage inquiétait les agronomes, vu le prix élevé de l'élément fertilisant azote. D'où les conseils suivants :

1° Ne faire l'application du nitrate que tardivement et en plusieurs fois ;

2° De faire des cultures dérobées de manière à récupérer les nitrates formés en été par suite de la décomposition des matières organiques du sol.

L'idée sur laquelle était basé l'emploi fractionné du nitrate de soude était que cet engrais soluble, une fois placé dans la terre, s'y diffusait dans un rayon assez étendu et avait de lui-même tendance à s'enfoncer dans le sous-sol. On concluait à des applications mensuelles dès le départ de la végétation, applications que l'on cessait quand on approchait de l'époque de la maturité des plantes. De nombreuses remarques faites par les praticiens ont montré que cette manière de faire n'était pas toujours la meilleure. Dans son ouvrage sur les Engrais (*Encyclopédie agricole*), M. Garola signale le fait que la diffusion (enfouissement) du nitrate n'a lieu que par les pluies. Enfin MM. Muntz et Gaudechon ont montré que la diffusion (déplacement sous l'action unique des forces moléculaires) des engrais salins dans le sol était extrêmement lente.

Les mouvements du nitrate dans le sol (que nous allons examiner) sont dus aux phénomènes suivants :

- 1° La diffusion (négligeable);
- 2° L'entraînement par les eaux.

Cet entraînement se fera de haut en bas lors des précipitations atmosphériques et de bas en haut sous l'influence de la capillarité et de l'évaporation.

*Diffusion du nitrate de soude.* — Comme nous venons de le signaler, la diffusion des engrais salins est très faible et en pratique ce phénomène est négligeable. Il n'y a à cela rien qui doive étonner, ceci est conforme aux principes généraux de la physique. La notion de lenteur de la diffusion dans la nature a été vulgarisée par M. Brunhes (*La Dégradation de l'Energie*) :

« Prenons deux couches d'air et d'acide carbonique superposées... L'acide carbonique plus lourd étant au dessous... Si, à partir d'un instant donné, on abandonne les gaz à eux-mêmes, on trouvera que 7 secondes plus tard le mélange contient 8 0/0 d'acide carbonique à 2 centimètres au-dessus du plan initial de séparation... Pour avoir la même concentration à une distance double, il faudra 4 fois plus de temps; à une distance décuple, il faudra 100 fois plus de temps... La diffusion du sel marin dans l'eau donnera lieu aux mêmes remarques; les calculs étant faits une fois pour toutes pour un mélange donné seront valables pour tout autre mélange, à condition que l'on connaisse pour les deux couples de corps le coefficient de diffusion... Deux nappes d'eau pure et d'eau salée étant contiguës, on rencontrerait à 2 centimètres du plan de séparation et du côté de l'eau pure une solution ayant 8 0/0 de la concentration de l'eau salée au bout d'un jour ». Pour avoir la même concentration à 20 centimètres il faudrait donc 100 jours. Ceci s'applique également au

nitrate de soude, les coefficients de diffusion du chlorure de sodium et du nitrate de soude dans l'eau étant très peu différents (1,11 et 1,03 à 18°) (1).

A plus forte raison la diffusion sera lente dans un milieu discontinu comme le sol.

On sait, en effet, que la diffusion est proportionnelle à la section du liquide traversé, et cette section (S) sera toujours très réduite en certains points comme le montre la figure ci-contre.

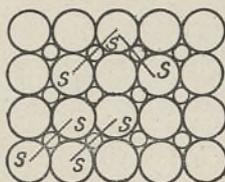


Fig. 1.

MM. Muntz et Gaudechon ont montré expérimentalement la lenteur ou l'absence de diffusion dans le sol :

« Une terre de jardin légère contenant 15,6 0/0 d'eau, on a reçu en un point déterminé 2 gr. de nitrate de soude qu'on a enfoui à 1 cm. de profondeur. Au bout de 6 jours., on a trouvé :

	Pour 100 de terre.
Points ayant reçu du sel.....	2,34
A 25 mm. de ces points.....	0,04
A 50 mm. — .....	0,04
Terre témoin.....	0,04

également au bout de 6 jours, on n'a constaté aucun cheminement de la solution salée vers les couches inférieures.

Cependant, dans les sols mouillés si l'on prolonge la durée, nous constatons une certaine diffusion à une petite distance de l'endroit où les sels ont été placés. Ainsi, dans une terre meuble contenant 16,1 0/0 d'eau nous avons pu constater, au bout d'un mois, qu'une petite quantité de sel avait apparu à 20 mm. du point

(1) Pour sucrer une boisson contenue dans un vase au fond duquel se dissout du sucre on doit agiter le liquide. C'est une conséquence de la lenteur de la diffusion.

où il avait été enfoui, mais à 40 mm. il n'y en avait aucune trace.

L'eau de pluie se borne à opérer un déplacement de haut en bas de la solution salée sans diffusion latérale sensible. » (Muntz et Gaudechon, CR., 1909.)

**Pénétration du nitrate.** — La diffusion du nitrate étant négligeable, le déplacement de cet engrais est dû à l'entraînement par l'eau.

Une expérience classique de M. Schløsing (1) montre de quelle façon les solutions se déplacent dans le sol. L'eau qui pénètre dans une terre humide chasse devant elle celle qui se trouve en dessous sans se mélanger à elle d'une manière sensible.

M. Schløsing mouille 1 kilo 2 de sable préalablement lavé et séché avec 200 cm<sup>3</sup> d'une solution de chlorure de sodium à 10 mgr. par cm<sup>2</sup>. Il la tasse légèrement dans une allongue et chasse le liquide par de l'eau pure. Il a recueilli successivement :

	3 <sup>e</sup> lot	6 <sup>e</sup> lot	12 <sup>e</sup> lot	15 <sup>e</sup> lot	18 <sup>e</sup> lot	24 <sup>e</sup> lot	29 <sup>e</sup> lot
Chlore.	100,2	99,8	100	100	84	8	0

Dans une 2<sup>e</sup> expérience il place dans une cloche à douille 2 kilos de terre prélevée le 14 octobre renfermant :

Graviers.....		6	
Sable.....		46	
Terre fine	{	Calcaire.....	18
		Argile.....	40
		Sable.....	20
			48

dessus laquelle il produit une pluie artificielle, cette terre à 15 0/0 d'eau occupait une hauteur de 18 cm.

(1) CR. 1866.

Il a recueilli :

Lots de 10 cm. <sup>5</sup>	1 <sup>er</sup>	2 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	4 <sup>e</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>e</sup>	8 <sup>e</sup>	9 <sup>e</sup>	10 <sup>e</sup>
Résidu (mgr.)..	29,5	26,5	27,5	26	24	26,5	24,5	26	24
Azote nitrique.	4,9	4,8	4,7	4,7				4,7	4,6

puis l'azote nitrique diminuait lentement

L'expérience fut répétée avec 6 kilos de terre prélevée le 16 novembre (14,3 0/0 d'eau—28 cm. de hauteur de terre). Les lots étaient de 50 cm<sup>3</sup> :

	2 <sup>e</sup> lot	3 <sup>e</sup> lot	4 <sup>e</sup> lot	5 <sup>e</sup> lot
Azote nitrique dans 10 cm <sup>3</sup> .	9,3	9,4	9,2	8,5

Il reste à examiner ce qui va se passer quand la terre est sèche ou contient relativement peu d'eau. L'étude de la façon dont l'eau pénètre dans les tubes capillaires peut nous en donner une idée. Nous empruntons à Mitscherlich (Bodenkunde) ce qui suit concernant la capillarité.

Dans un tube capillaire horizontal cylindrique l'eau se dispose comme en (a) et est déplacée par une très faible force. Si on redresse le tube, on a la disposition (b). Dans le cas où les espaces capillaires s'élargissent, si l'eau a pénétré dans le tube, elle s'y maintient (c). Mais s'il n'avait pénétré dans un tel tube qu'au 3/4, celui-ci peut ou

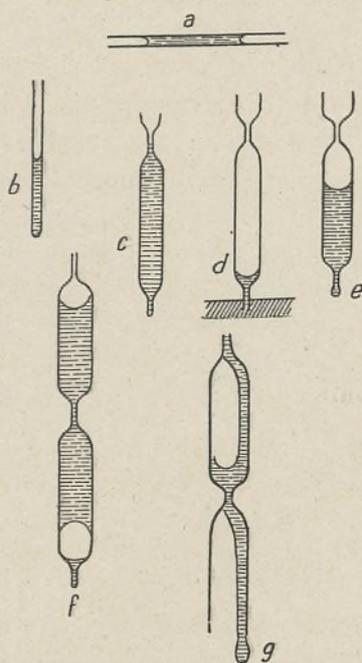


Fig. 2.

se vider (si son extrémité inférieure reste au contact de l'eau (*d*) ou être maintenu par la goutte inférieure (*e*). Si l'eau et l'air entrent en même temps dans le tube on peut avoir (*f*). Si l'eau et l'air peuvent pénétrer ensemble, l'eau coule dans l'espace creux sans l'emplir (*g*).

On conçoit que l'entraînement des nitrates soit alors moins régulier et moins complet que dans l'expérience de M. Schlœsing.

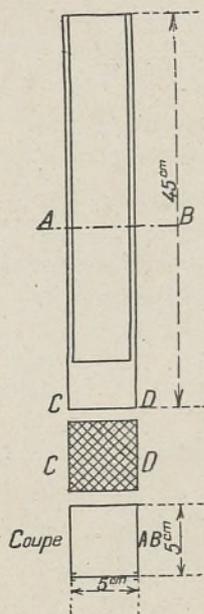


Fig. 3.

Une étude de ce qui se passe dans le cas d'une terre en mottes ou en miettes ne peut être faite qu'en plein champ. Nous avons examiné expérimentalement ce qui se passait dans une terre tamisée et tassée, placée dans des tubes métalliques.

Nous utilisons dans nos essais des tubes métalliques de 45 cm. de hauteur et de 5 cm. de côté (soit une section de 25 cm.<sup>2</sup>), fermés à leur partie inférieure par une toile métallique dessus laquelle on plaçait un papier filtre. L'une des parois du tube possédait une coulisse que l'on retirait à la fin de l'expérience, de manière à pouvoir découper en tranches la terre du tube.

Dans ces tubes nous tassons la terre de manière à ce que, dans un essai, chaque volume de  $25 \times 5 = 125 \text{ cm}^3$  soit occupé par des poids de terre sensiblement égaux.

Au moyen d'un flacon de Mariotte réglé, nous faisons tomber goutte à goutte sur la terre de ces tubes une quantité d'eau déterminée (généralement  $100 \text{ cm}^3$  cor-

respondants à une hauteur d'eau de 4 cm). A la partie supérieure de la terre était placé un papier filtre destiné à régulariser la pénétration de l'eau. La durée de l'écoulement des 100 cm<sup>3</sup> variait entre 50 et 60 minutes.

Les tubes reposaient sur de la terre sèche.

Nous avons opéré avec des terres dont la porosité était de 52 0/0 environ. Ces conditions se rapprochent donc plus de l'état dans lequel se trouve la terre du sous-sol que celui dans lequel est placé le sol travaillé.

Nous avons utilisé des terres présentant la composition suivante :

	1	2	3	4	5	
Graviers passant au tamis n° 10.		7	19	4		
Terre fine.....	100	92	81	96	100	
Pour 100	}	34	82	36	80	
de terre		Sable grossier.....	0,45	3,4	47	3
fine.		Sable fin calcaire.....	55	9	8	9
		Sable fin non calcaire.	7	3	8	6
		Argile.....				6

Les terres 2, 3 et 4 étaient passées au tamis n° 10, les terres 1 et 6 ne comprenaient que des parties fines. Nous avons admis que ces terres avaient un poids spécifique de 2,65 et calculé leur espace vide dans les divers cas, en retranchant de 100 le quotient du poids de l'unité de volume par 2,65.

L'expérience terminée, on enlevait la coulisse et découpait la terre du tube en parallépipèdes dans lesquels on dosait l'humidité et l'azote nitrique. Pour cela nous séchions la terre à l'étuve, puis nous versions sur la terre sèche (après avoir ajouté un peu de chaux vive) 100 ou 200 cm<sup>3</sup> d'eau, agitions quelque temps et prélevions une fraction du liquide filtré (généralement 50 cm<sup>3</sup>) pour effectuer le dosage de l'azote nitrique par la méthode Schloësing.

Examinons d'abord comment se fait l'entraînement des nitrates que nos terres renferment naturellement. Les résultats sont figurés dans les tableaux I à V.

Pour ce qui concerne la terre n° 1 séchée à l'air, une chute de 3 cm. 2 d'eau a enfoncé au bout d'une heure presque tout le nitrate situé dans les 8 centimètres supérieurs à une profondeur comprise entre 8 et 12 cm. 24 heures après, on trouvait la majeure partie du nitrate des couches supérieures entre les 12 et 14 cm. supérieurs.

Dans la terre n° 1 humide (15 0/0 de la terre sèche, 19 0/0 en volume) une chute de 4 cm. d'eau a amené au bout d'une heure une partie du nitrate des 13 premiers centimètres dans les 13 centimètres situés au-dessous. Après 24 heures, la terre renfermant le plus de nitrate se trouve à 30 cm. de la surface.

Dans la terre n° 2 séchée à l'air, une chute d'eau de 4 cm. a déplacé la moitié environ du nitrate situé dans les 10 cm. supérieurs pour la porter dans les 10 cm. situés au-dessous. Au bout de 24 heures la situation est à peu près la même, si ce n'est un enrichissement notable en nitrate de la terre comprise entre les 17 et 22 premiers centimètres.

Avec la même terre n° 2 humide (17 0/0 d'eau en volume, 13 0/0 de la terre sèche) le nitrate des 11 premiers centimètres a été transporté une heure après une chute d'eau de 4 cm. dans les 13 cm. situés au-dessous. La terre la plus riche en nitrate était celle située à 19 cm. de la surface, 24 heures après c'était celle située à 28 cm. de la surface.

Pour ce qui concerne la terre n° 3 séchée à l'air, 4 cm. d'eau enfonçaient le nitrate de 6 premiers cm. dans les 5 cm. placés au dessous. 24 heures après, ce nitrate descendait jusque 16 cm., mais il en restait une

Essai N° ..... 1 ..... 2 ..... 3  
 Terre N° ..... 1 ..... 7  
 Espace vide % ..... 50 ..... 50 ..... 39  
 Eau % en volume au début de l'expérience) 2° ..... 19  
 Hauteur d'eau tombée 3 cm<sup>2</sup> ..... 4 cm  
 Prélèvements faits, 1 heure ..... 3 cm 2 ..... 4 cm  
 ..... 24 heures ..... 1 heure

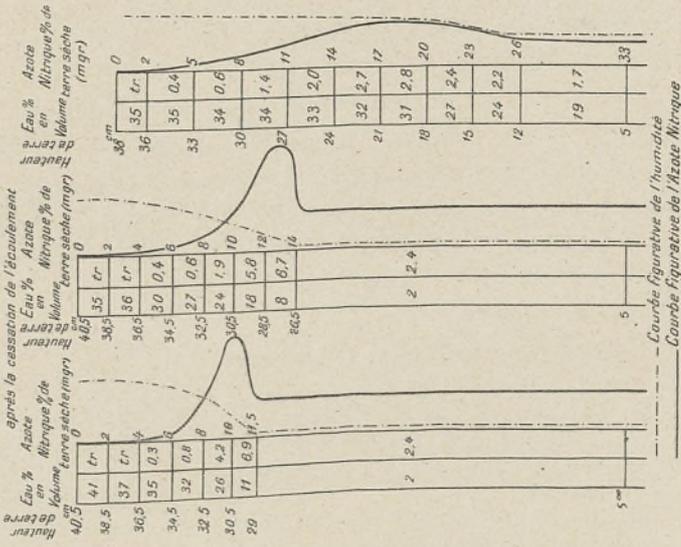


Tableau I.

Essai N° ..... 4 ..... 5  
 Terre N° ..... 1 ..... 5  
 Espace vide % ..... 52 ..... 52  
 Eau % en volume au début de l'expérience) 1° ..... 21  
 Hauteur d'eau tombée 4 cm ..... 4 cm  
 Prélèvements faits, 24 heures ..... 24 heures

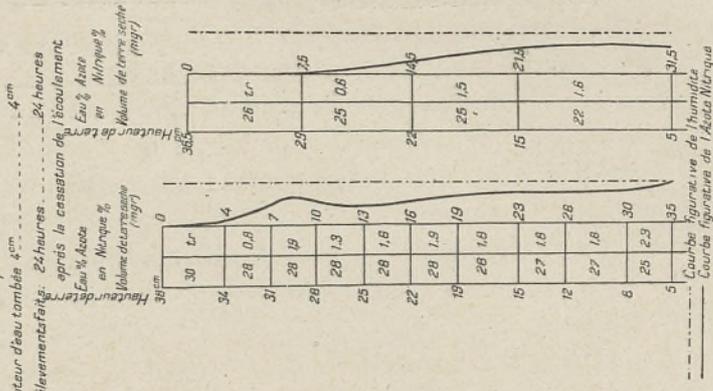
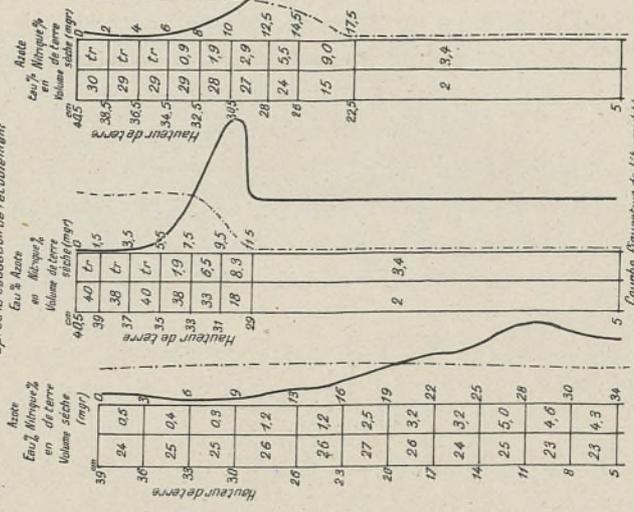


Tableau II.

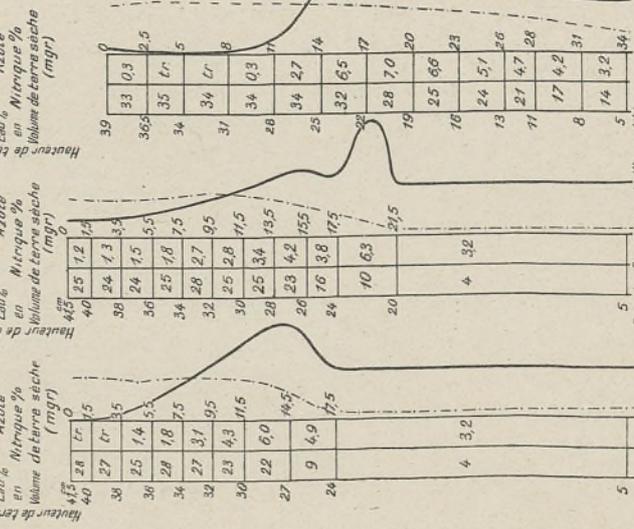
Essai N° ..... 9 ..... 10 ..... 11  
 Terre N° ..... 2 ..... 3 ..... 3  
 Espace vide % ..... 50 ..... 53 ..... 53  
 Eau % en volume au début de l'expérience ..... 17,5 ..... 2,5 ..... 2,5  
 Hauteur d'eau tombée 4 cm ..... 4 cm ..... 4 cm  
 Prélèvements faits : 24 heures ..... 1 heure ..... 24 heures  
 après la cessation de l'écoulement



Courbe figurative de l'humidité  
 Courbe figurative de l'Azote Mitrigue

Tableau IV

Essai N° ..... 6 ..... 7 ..... 8  
 Terre N° ..... 2 ..... 2 ..... 2  
 Espace vide % ..... 52 ..... 52 ..... 49  
 Eau % en volume au début de l'expérience ..... 17,5 ..... 17,5 ..... 17,5  
 Hauteur d'eau tombée 4 cm ..... 4 cm ..... 4 cm  
 Prélèvements faits : 1 heure ..... 24 heures ..... 4 cm



Courbe figurative de l'humidité  
 Courbe figurative de l'Azote Mitrigue

Tableau III

quantité notable entre les 6 et 12 premiers centimètres.  
 Cette terre présentait des espaces vides notables.  
 Dans la même terre n° 3 (16 0/0 d'eau en volume,

Essai N°	12	13	14
Terre N°	3	3	3
Espace vide %	55	58	55
Eau % en volume au début de l'expérience	16	16	21
Hauteur d'eau tombée	4 <sup>cm</sup>	4 <sup>cm</sup>	4 <sup>cm</sup>
Prélèvements faits	1 heure	24 heures	24 heures

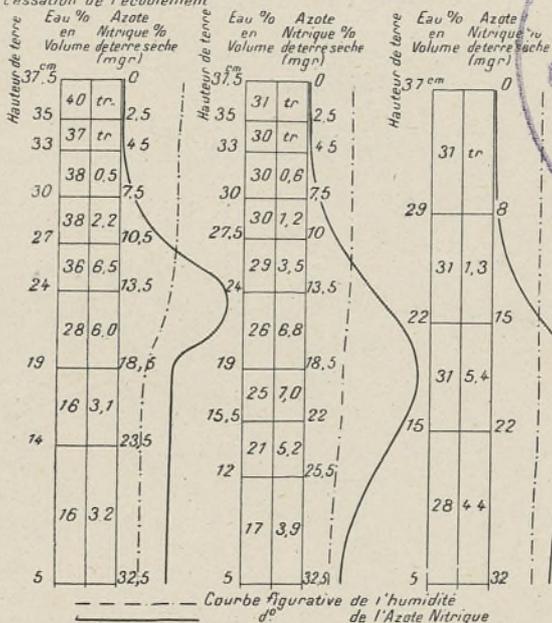


Tableau V.

13,8 0/0 de la terre sèche) une grande partie du nitrate des 10 premiers centimètres était enfoncée, après 1 heure, dans les 10 centimètres inférieurs, la terre renfermant le maximum de nitrate se trouvait à 14 cm. de la surface. 24 heures après, ce maximum était à 20 cm. de la surface; tandis qu'avec la même terre à 21 0/0 d'eau (en volume) il se trouvait entre les 15 et 21 premiers centimètres.

Nous avons de plus opéré de la façon suivante avec la terre n° 2, d'abord en faisant remonter le nitrate par capillarité, la terre de 3 tubes, puis en faisant tomber goutte à goutte 100 cm. d'eau sur 2 des tubes, le 3<sup>e</sup> servant de témoin. Les prélèvements dans les 2 tubes arrosés étaient faits 1 heure et 24 heures après la cessation de l'écoulement.

Les résultats sont figurés dans le tableau suivant :

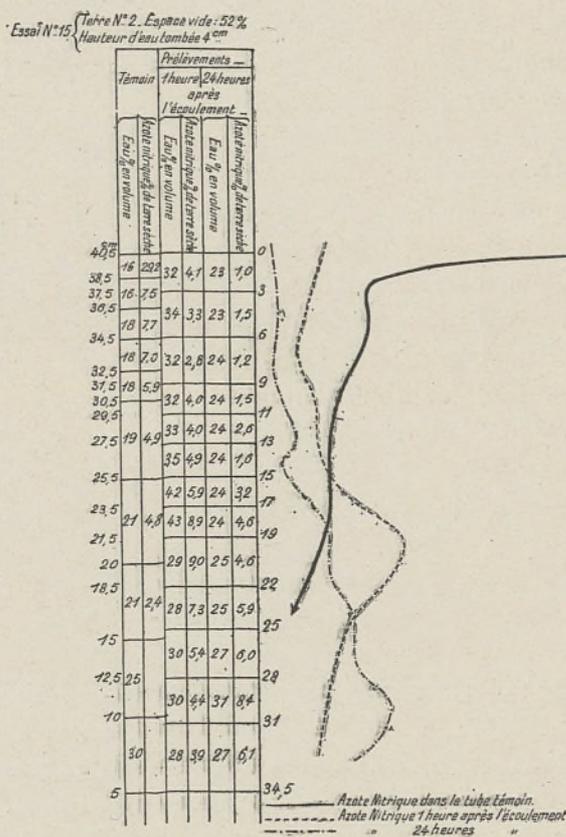


Tableau VI.

Examinons maintenant l'enfoncement du nitrate de soude placé près de la surface de la terre (0 gr. 1

recouvert d'environ 1 cm. de terre). Nous avons dans cette étude employé le même mode opératoire que précédemment. Pour avoir la répartition du nitrate ajouté, nous prenions la différence entre l'azote nitrique dosé dans un prélèvement et l'azote nitrique du relèvement correspondant fait dans un tube témoin.

Les résultats sont indiqués dans les tableaux VII et VIII.

Les n<sup>os</sup> des essais correspondent avec ceux des essais déjà indiqués dans les tableaux précédents et dont quelques-uns servaient de témoin.

On observe un retard entre l'entraînement du nitrate ajouté et celui contenu naturellement dans la terre, qui doit tenir à ce que le nitrate ajouté ne se dissout pas instantanément, la terre n'étant pas un milieu continu.

Dans la terre n° 2 séchée à l'air, le nitrate de soude était réparti entre les 5 et 15 premiers centimètres une heure après une chute d'eau de cm.

Avec la même terre humide (17 0/0 en volume, 13 0/0 de la terre sèche) le nitrate était enfoncé entre les 5 et 14 premiers centimètres après 1 heure et dessous les 12 premiers centimètres après 24 heures.

Dans la terre n° 5 séchée, 4 cm. d'eau enfonçaient l'engrais à une distance de 10 à 14 cm. de la surface après 1 heure et entre 10 et 18 cm. de la surface après 24 heures. Mais quand la terre renfermait 14 0/0 d'eau en volume (11, 5 0/0 de la terre sèche), l'enfoncement n'était que de 15 centimètres après une heure et de 20 centimètres après 24 heures, un tiers de l'engrais restant dans les 12 premiers centimètres. Avec cette même terre à 21 0/0 d'eau en volume (16,5 0/0 de la terre sèche), l'enfoncement après 24 heures n'était que de 15 centimètres.

Essai N° ..... 18 ..... 19 ..... 5 ..... 14  
 Terre N° ..... 5 ..... 5 ..... 5 ..... 5  
 Espace vide % ..... 52 ..... 52 ..... 52 ..... 52  
 Eau % en volume au début de l'expérience } H ..... 14 ..... 21 ..... 21  
 Hauteur d'eau tombée, 4 cm ..... 4 cm ..... 4 cm ..... 4 cm  
 Prélèvements faits : 1 heure ..... 24 heures ..... 24 heures ..... 24 heures

Essai N° ..... 6 ..... 8 ..... 9 ..... 16 ..... 17  
 Terre N° ..... 2 ..... 2 ..... 2 ..... 5 ..... 5  
 Espace vide % ..... 52 ..... 50 ..... 50 ..... 49 ..... 49  
 Eau % en volume au début de l'expérience } H ..... 17 ..... 2 ..... 2  
 Hauteur d'eau tombée, 4 cm ..... 4 cm ..... 4 cm ..... 4 cm  
 Prélèvements faits : 1 heure ..... 24 heures ..... 1 heure ..... 24 heures

Hauteur de terre 4,5 cm	Eau % Azote en nitrique Volume ajouté (mgr)		Eau % Azote en nitrique Volume ajouté (mgr)		Eau % Azote en nitrique Volume ajouté (mgr)		Eau % Azote en nitrique Volume ajouté (mgr)	
	1 h	24 h						
38,5	35	3	32	1	30	1	36,5	0
35	35	4	6,5	5,5	28	1	0	37
32	35	4	3	5	0	30	11,5	32
29,5	33	3	28	2	12	29	75	29
26,5	32	2	15	26	28	5	75	29
23,5	28	10	23,5	18	29	4	29	4
20	21	29,5	20	21,5	24	1	22	14,5
16	15	23,5	16	23,5	23	29,5	29,5	28
12	14	28,5	12	28,5	21	16	16	21,5
5	16	28,5	5	28,5	17	29,5	29,5	28

Pour les essais 5 et 14 l'eau a été ajoutée "à la grande nitrate de soude dans les autres cas 0 gr. l

Tableau VIII.

Hauteur de terre 4,5 cm	Eau % Azote en nitrique Volume ajouté (mgr)		Eau % Azote en nitrique Volume ajouté (mgr)		Eau % Azote en nitrique Volume ajouté (mgr)		Eau % Azote en nitrique Volume ajouté (mgr)	
	1 h	24 h						
40	28	1,5	0	40,5	0	40,5	0	0
38	27	3,5	0	38,5	36	2	38,5	28
36	27	5,5	27	36	4	36,5	27	4
34	25	4	27	34,5	3,5	6	34,5	27
32	25	7	34	32,5	34	8	32,5	28
30	25	4	27	30,5	31	2	30,5	28
27	22	2	27	28,5	30	14	28,5	25
24	8	25	27	26,5	22	14	26,5	22
			22	23	16	24,5	19	5
			19	20	19	22,5	14	6
			16	17	22	2	2	2
			13	25	25	25	25	25
			11	21	28	14	24	2
			8	21	28	17	23	1
			5	17	34	5	25	1

Tableau VII.

Nous opérons, comme nous l'avons dit; avec de la terre tassée à structure compacte. Quand on verse de la terre en miettes, on voit l'eau pénétrer d'abord dans les miettes avant de s'écouler entre les espaces vides qui les séparent. On peut donc penser que, dans le cas d'un sol qui vient d'être cultivé, l'enfoncement du nitrate

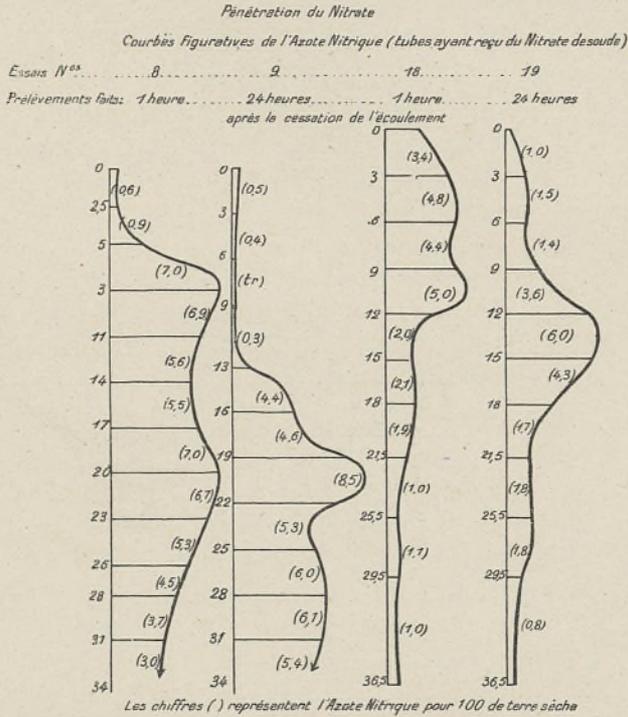


Tableau IX.

sous l'action de la pluie sera plus rapide mais moins complet que dans le cas d'un sol tassé. Nous observons d'ailleurs cette tendance avec notre terre n° 3, qui présentait certaines discontinuités malgré le tassement. Cette pénétration facile du nitrate dans le sol à moitié humide fait que cet engrais peut être employé

en couverture et arriver, malgré cela, au contact des racines des plantes si le temps n'est pas très sec.

En examinant les courbes figuratives de nos résultats (en particulier celles des tableaux VI et IX), nous voyons que dans l'intervalle de temps compris entre l'heure et le jour suivant la cessation de l'écoulement, c'est-à-dire quand la terre est alors assez humide et le mouvement de l'eau assez lent, le nitrate est déplacé méthodiquement comme dans l'expérience de M. Schlœsing.

Dans ce cas, si la capacité pour l'eau (en volume) est de 330/0, une pluie de 1 cm. déplacera les solutions de la terre de 3 centimètres. Une pluie de 4 cm. déplacera donc les solutions de nos terres de environ :

Terres nos :	1	2	3	5
Déplacement en cm.	16	16	13	13

puisque les capacités pour l'eau déterminées grossièrement dans les essais 4, 9, 14 et 5 sont approximativement :

Terres nos :	1	2	3	5
Capacités pour l'eau en volume.	28	25	30	30

Dans l'essai n° 15 (terre n° 2), entre la 1<sup>re</sup> et la 24<sup>e</sup> heure suivant l'écoulement, la quantité d'eau des 35 cm. de terre supérieure est passée de 220 à 300 cm<sup>3</sup>, soit une différence de 80 cm<sup>3</sup>, correspondant à une hauteur d'eau de  $\frac{80}{25}$  soit 3 cm. 2 (la section de nos tubes étant 25 cm<sup>2</sup>).

L'entraînement doit donc être de  $3,2 \times \frac{100}{25} = 12$  cm.

Or, on observe que le maximum du nitrate se trouve à une profondeur distante d'à peu près cette quantité de son premier emplacement.

L'aspect des courbes (IX) montre bien la tendance à un déplacement méthodique des solutions du nitrate des essais 8 et 9, 18 et 19, les courbes figuratives de la teneur de la terre en nitrate coïncideraient presque par une translation.

En résumé, si dans une terre peu humide le déplacement du nitrate est facile et sa pénétration doit être d'autant moins régulière que la terre est plus motteuse, on peut admettre que dans un sous-sol suffisamment humide ce déplacement sera représenté approximativement par la formule :

$$p = h \times \frac{100}{c}$$

$p$  désignant la pénétration de la solution de nitrate,

$h$  la hauteur d'eau infiltrée,

$c$  la capacité de la terre pour l'eau (en volume).

On a donc pour une infiltration de 10 cm. d'eau :

Capacité pour l'eau des terres:	20	30	35	40
Pénétration du nitrate en centimètres	50	33	29	25

*Montée du nitrate sous l'influence de la capillarité.*

— Pour étudier ce phénomène, nous avons utilisé les mêmes tubes qui nous ont servi pour l'étude de la pénétration du nitrate. L'emplissage des tubes était effectué de la même manière. L'extrémité inférieure de ces tubes était plongée dans de l'eau maintenue à un niveau constant de 4 centimètres. La durée de l'imbibition était de 20 heures. Nous avons examiné la montée du nitrate renfermée naturellement dans le sol et la montée du nitrate de soude (0 gr. 1) que nous plaçons à 9 cm. 5 du fond des tubes, soit à 4 cm. 5 de la nappe d'eau. Le répartition du nitrate initial de la terre est indiquée dans les tableaux X, XI et XII, celle du nitrate ajouté (obtenu par différence des quantités

dosées dans 2 prélèvements correspondants) dans le tableau XIII.

Le nitrate incorporé à la terre sous forme de cristaux fins remonte moins vite que le nitrate que la terre

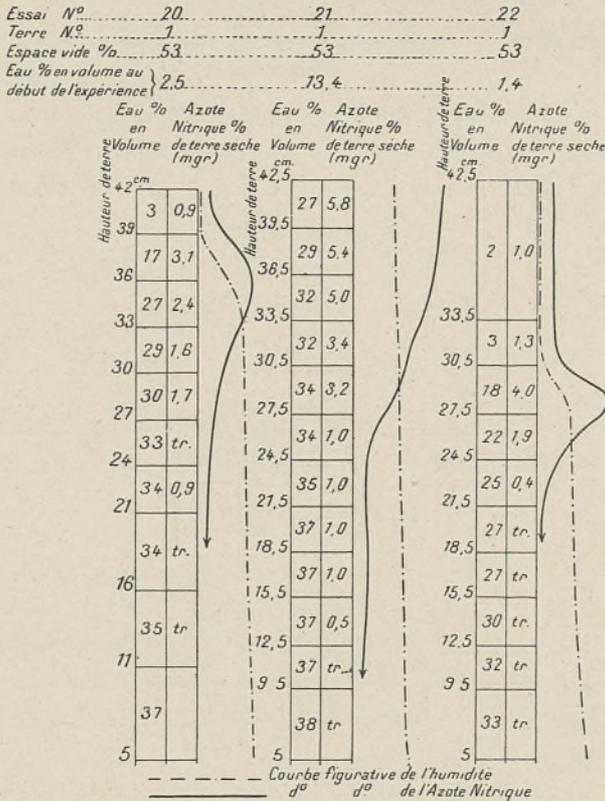


Tableau X.

renferme naturellement. La cause de ce phénomène doit être la même que celle du retard à l'enfoncement.

Avec la terre n<sup>o</sup> 1 à 26 0/0 d'eau en volume, le nitrate était remonté de 9,5 à 18 centimètres après 20 heures.

On voit que les nitrates enfoncés dans la terre, s'ils

ne sont arrivés au niveau de la nappe phréatique, peuvent remonter vers la surface du sol quand la terre supérieure se dessèche suffisamment.

Essai N <sup>o</sup> .....	23 .....	24
Terre N <sup>o</sup> .....	2 .....	2
Espace vide % .....	52 .....	52
Eau % en volume au début de l'expérience	} 2,5 .....	13 7

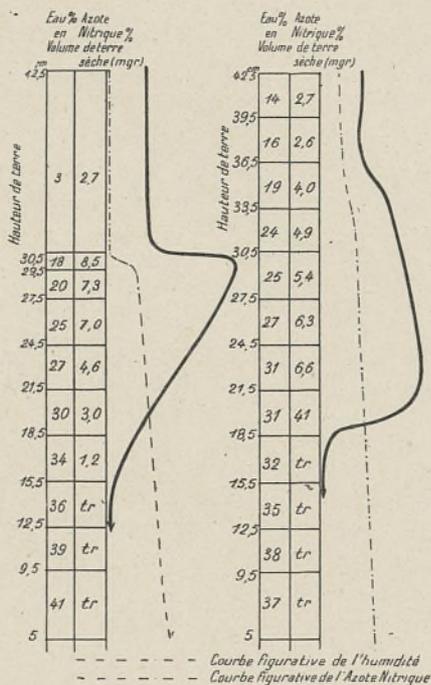


Tableau XI.

**Montée du nitrate sous l'influence de l'évaporation.**  
 — L'évaporation du sol ne devrait pas provoquer de montée du nitrate, s'il ne s'y mêlait pas des phénomènes de capillarité.

Pour examiner ce phénomène nous avons tassé de la terre dans un cylindre de 1 dm<sup>2</sup> de section et de 25 cm. de haut, que nous avons exposé à l'air dans une situation abritée.

Essai N°	25	26
Terre N°	3	3
Espaisseur %	53	53
Eau % au volume au début de l'expérience	19	37

Hauteur de terre	2,9	2,9
Volume sèche (gr)	2	2,9
Eau % à l'équilibre	3	6,5
Eau % à l'équilibre en volume	25	78
Eau % à l'équilibre en poids	27	32
Volume sèche (gr)	155	32
Eau % à l'équilibre	29	17
Eau % à l'équilibre en volume	38	6
Eau % à l'équilibre en poids	41	6

Tableau XII.  
Courbe figurative de l'humidité  
Courbe figurative de l'Azote Nitrique

Essai N°	20	21	22	23	24	25	26
Terre N°	1	1	1	2	2	3	3
Espaisseur %	52	53	52	52	52	53	52
Eau % en volume au début de l'expérience	2,5	13,4	1,4	2,5	13,7	2	13,7

Hauteur de terre	2	2	2	3	3	3	4
Volume sèche (gr)	2	4	17	26	30	30	30
Eau % à l'équilibre	39,5	29	30	31	32	32	32
Eau % à l'équilibre en volume	39,5	29	30,5	31	32	32	32
Eau % à l'équilibre en poids	36,5	30	30,5	31	32	32	32
Volume sèche (gr)	38,5	37	30,5	30,5	30,5	30,5	30,5
Eau % à l'équilibre	30,5	32	32	32	32	32	32
Eau % à l'équilibre en volume	30,5	32	32	32	32	32	32
Eau % à l'équilibre en poids	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
Volume sèche (gr)	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
Eau % à l'équilibre	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
Eau % à l'équilibre en volume	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
Eau % à l'équilibre en poids	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
Volume sèche (gr)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Eau % à l'équilibre	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Eau % à l'équilibre en volume	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Eau % à l'équilibre en poids	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6

Tableau XIII.

Cette expérience ne nous a pas donné le résultat attendu, car bien que nous ayons saturé l'atmosphère de notre terre de vapeur d'essence de moutarde, nous avons constaté une dénitrification notable de la terre.

Mais à partir du 5<sup>e</sup> jour la montée du nitrate doit être très faible, l'ascension capillaire de l'eau étant très ralentie. Il n'est donc guère à craindre que le nitrate enfoncé suffisamment dans la terre ne remonte par suite de la sécheresse, lorsque la terre est recouverte de végétation et que l'absorption par les racines est plus rapide que la montée par capillarité.

L'influence de l'évaporation dans la montée du nitrate ressort des expériences de MM. Demolon et Brouet, faites en terre de jardin humifère et légère.

« (Ils ont) réservé 2 cases de 1 m<sup>2</sup> de surface. Le 16 avril (1910), par temps humide, on sema en surface, aussi régulièrement que possible, 500 grammes de nitrate de soude par m<sup>2</sup>. Le sol fut maintenu nu. La case n<sup>o</sup> 1 fut soumise à quelques arrosages... Les résultats ci-dessous sont exprimés en nitrate de soude pour 100 gr. de terre séchée à 105°.

		1 <sup>re</sup> prise (12 mai) mm.	2 <sup>e</sup> prise (3 juin) mm.	3 <sup>e</sup> prise (3 juillet) mm.
Case n <sup>o</sup> 1	Hauteur de pluie depuis le début de l'expérience.....	97,2	136,2	246
	Arrosages .....	10	20	50
	Nitrate de 0 à 5 centimètres..	0,077	0,120	0,030
	— 5 à 10 — ...	0,297	0,206	0,069
	— 10 à 15 — ...	0,212	0,229	0,063
	— 15 à 20 — ...		0,172	0,086
Case n <sup>o</sup> 2	Hauteur de pluie depuis le début de l'expérience.....	97 2	136,2	246,4
	Nitrate de 0 à 5 centimètres.	0,458	0,023	0,039
	— 5 à 10 —	0,464	0,115	0,091
	— 10 à 15 —	0,076	0,200	0,166
	— 15 à 20 —		0,206	0,176
Case n <sup>o</sup> 3 (témoin)	— 0 à 5 centimètres.	0,020	0,020	0,020
	— 5 à 10 —	0,012	0,020	0,012
	— 15 à 20 —	traces	traces	traces

« En 1911 (MM. Demolon et Brouet) ont recommencé la même expérience dans les mêmes conditions... L'application du nitrate eut lieu en couverture le 12 avril, les prélèvements furent faits les 25 avril, 22 mai et 14 juin. »

		1 <sup>re</sup> prise	2 <sup>e</sup> prise	3 <sup>e</sup> prise	
Case n° 1	} Hauteur de pluie depuis le début de l'expérience.....	0 mm 8	54 mm 3	71 mm 1	
		10 mm	20 mm	30 mm	
		Arrosages.....			
		Nitrate de 0 à 5 centimètres.			
	— 5 à 10 —	0 gr. 854	0 gr. 392	0 gr. 729	
	— 10 à 15 —	0 gr. 172	0 gr. 224	0 gr. 139	
		0 gr. 066	0 gr. 102	0 gr. 050	
Case n° 2	} Hauteur de pluie depuis le début de l'expérience.....	0 mm 08	54 mm 3	71 mm 1	
		Nitrate de 0 à 5 centimètres.			
		— 5 à 10 —	0 gr. 897	0 gr. 244	0 gr. 508
		— 10 à 15 —	0 gr. 465	0 gr. 218	0 gr. 205
		0 gr. 135	0 gr. 019	0 gr. 142	
Case n° 3 (le moins)	} Nitrate de 0 à 5 centimètres.	0 gr. 013	0 gr. 017	0 gr. 010	
		— 5 à 10 —	traces	0 gr. 010	traces
		— 10 à 15 —	traces	traces	traces

« A la suite d'une période suffisamment longue sans pluie... Ils constatent alors que leurs arrosages ont contribué à ramener une certaine quantité de nitrate vers la surface en provoquant un mouvement de l'eau de bas en haut.... »

King a montré directement qu'une petite pluie ramenait vers la surface l'humidité des couches inférieures. Une petite pluie ou un petit arrosage par temps sec est donc nuisible (1).

La circulation du nitrate de soude dans le sol étant en corrélation avec celle de l'eau, nous allons examiner rapidement les rapports de l'eau avec le sol.

(1) Un autre effet nuisible est l'élévation de température qui se produit principalement dans le cas de terreau et peut atteindre 8° (Müntz et Gaudechon).

## RAPPORTS DE L'EAU AVEC LE SOL

### EAU D'HYGROSCOPICITÉ

Mitscherlich appelle eau d'hygroscopicité la quantité d'eau que contient le sol quand sa surface totale est recouverte d'une couche moléculaire d'eau. On appelle aussi eau d'hygroscopicité la quantité d'eau que la terre sèche peut absorber au contact de l'air. Il y a, d'après Rodewald, une relation entre la tension de vapeur et l'hygroscopicité. De cette relation Mitscherlich a déduit sa méthode de détermination de l'hygroscopicité :

Dans un appareil au fond duquel se trouve de l'acide sulfurique à 10 0/0, il place de la terre sèche, puis il fait le vide plusieurs jours, puis recommence l'opération après avoir renouvelé l'acide. La différence de poids de terre donne l'hygroscopicité.

Selon Mitscherlich il existe une relation mathématique entre la chaleur d'hydratation des sols (qui se dégage quand on mouille de la terre sèche) et l'hygroscopicité (1).

(1) L'eau au contact de la terre mouille celle-ci, doit donc se répartir sur toute la surface, l'attraction des particules de terre sur les molécules d'eau étant supérieure à la cohésion du liquide. Soit  $S$  la surface du sol,  $\alpha$  la constante d'attraction, le travail d'attraction équivaut à la quantité de chaleur dégagée, qui se compose de la chaleur d'hydratation  $r$  et de la chaleur  $i$  qui naît quand la cohésion des particules solides atteint un certain degré lors de l'hydratation.

$$\alpha S = E (r + i)$$

$E$  étant l'équivalent mécanique de la chaleur  
soit  $de$  l'élément d'eau dégageant l'élément de chaleur  $dr$

$$cS \alpha de = - dr E$$

le travail  $\alpha S$  étant proportionnel au dégagement de chaleur. De ces égalités on tire :

$$cde = - \frac{dr}{r + i}$$

et en intégrant

$$c (e_1 - e_0) = \log (r_0 + i) - \log (r_1 + i)$$

Voici quelques résultats obtenus par MM. Muntz et Gaudechon.

CHALEUR DÉGAGÉE PAR L'HUMECTATION DE 1 KG. DE TERRE.

Terre sableuse Eau 0/0 calories	Terre limoneuse Eau 0/0 calories	Argile de Vanves Eau 0/0 calories	Argile de Mours Eau 0/0 calories	Tourbe de l'Oise. Eau 0/0 calories					
0,00	0,95	0,00	3,28	0,00	6,84	0,00	15,20	0,00	26,70
0,48	0,79	1,16	1,33	2,71	3,34	4,42	8,70	3,94	21,70
8,63	0,68	2,29	0,49	4,32	2,44	9,38	4,20	9,70	14,50
4,22	0,00	3,23	0,27	12,42	0,33	17,90	0,50	22,30	2,60

$e$ , et  $e_0$  étant les quantités d'eau auxquelles correspondent les chaleurs (1)  $r$ , et  $r_0$ .

Mitscherlich a vérifié cette égalité pour divers sols en calculant les constantes  $c$  et  $i$  à l'aide de quelques résultats et comparant ensuite les nombres trouvés par le calcul avec les autres résultats trouvés expérimentalement. Ainsi il a obtenu pour un sol tourbeux

$$\log(r + 2,05) = 1,3049 - 0,0505 e$$

pour un sol argileux

$$\log(r + 0,37) = 1,2541 - 0,074 e$$

pour un sol sableux

$$\log(r + 0,04) = (0,9299 - 1) - 1,248 e$$

On peut calculer théoriquement l'hygroscopicité ( $e_H$ ) par la formule (1) dans laquelle on fait  $r = 0$ ;  $r_0$  correspondant à  $e_0 = 0$ . Il vient

$$\frac{\log(r_0 + i) - \log i}{c} = e_H$$

Expérimentalement on trouve

$$\frac{r_0 + i}{e_H} = 1,00 + 0,026 e$$

Avec le toluène la quantité  $i$  est très petite, la cohésion des particules de terre est donc à peine diminuée. Le toluène ne mouillerait pas la même surface que l'eau. Le rapport des constantes d'adhésion  $\frac{\alpha}{\alpha}$  n'est pas constant.

La quantité  $\alpha$  est plus grande que la cohésion de l'eau, le rapport est  $\frac{9,972}{7,923}$ , il en est de même pour le toluène  $\left(\frac{5,086}{3,211}\right)$

Si on admet avec Rodewald que la surface du sol est couverte d'une seule couche moléculaire d'eau, la molécule d'eau ayant un poids de  $8,3 \times 18 \times 10^{-22}$  mgr (Nernst), la surface du sol est

$$S = \frac{e_H}{\sqrt[3]{8,3 \times 18 \times 10^{-22}}} = e_H 40, m^2$$

si on suppose les molécules cubiques et placées côte à côte.

L'hygroscopicité du fumier est environ 40 fois celle du sable. Une fumure de 32 tonnes à l'hectare (8 tonnes de matière sèche) augmentera la surface d'un sol sableux de  $\frac{320}{4,500}$  soit de 7 00 (4500 étant le poids de 30 cm. du sol de 1 ha de densité 1,5).

Mitscherlich a obtenu dans la culture du seigle (1903-04-05) des résultats d'autant meilleurs que l'hygroscopicité était plus grande, les conditions de végétation non en relation avec l'état physique du sol étant rendues dans chaque cas aussi favorables que possible.

Les matières organiques, qui dégagent énormément de chaleur par l'humectation avec de l'eau, en dégagent très peu quand on les mouille avec de la benzine, du toluène. Pour Mitscherlich, si le toluène dégage moins de chaleur au contact du sol, c'est qu'il ne pénètre pas à l'intérieur des micelles organiques et ne mouille que la surface « extérieure » du sol.

MM. Muntz et Gaudechon sont d'avis que lorsque la terre ou les matières organiques sont mouillées par l'eau, il se produit de véritables réactions chimiques, des hydratations. Ce qui le prouverait c'est la concentration de l'alcool aqueux en présence de matières organiques.

On peut estimer que l'eau d'hygroscopicité est sans valeur pour la végétation. Si on a pu alimenter une plantation en eau avec de la vapeur, c'est à la suite de condensation de cette vapeur dans le sol. D'après Mitscherlich, les plantes se fanent quand le sol contient à peu près 3 fois l'eau d'hygroscopicité et dépérissent sans pouvoir revenir à elles quand le sol ne contient que de l'eau hygroscopique.

## EXPÉRIENCES DE MITSCHERLICH (EAU % DE LA TERRE SÈCHE)

NATURE DES SOLS	Tourbe	Sable humifère	Sable	Sable limoneux	Limon sableux
Hygroscopicité.....	18,88	2,01	1,05	1,54	2,37
Avoine. { Commencant à se faner.....	64,99	6,58	4,11	4,67	5,70
{ Prête à mourir.....	26,02	2,51	1,37	2,40	2,71
{ Mourante.....	23,6	2,16	0,93	....	2,36
Moutarde. { Commencant à se faner.....	50,10	5,52	2,91		
de blanc. { Prête à mourir.....	26,6	2,84	1,82	2,33	
che.... { Mourante.....	26,7	2,13	1,14		

La terre retient une certaine quantité d'eau qui ne peut être enlevée par l'atmosphère ni par les plantes. Il y a lutte entre la plante et le sol pour l'eau. C'est d'ailleurs là un phénomène général. Pour qu'un orga-

nisme puisse se développer il faut qu'il trouve, dans le milieu extérieur vivant ou non vivant, de l'eau qui ne soit pas retenue trop énergiquement par ce milieu. Ainsi la farine ne s'altère que lorsqu'elle est suffisamment humide, le mildiou n'attaque la feuille de vigne que quand son humidité atteint un certain degré (Muntz, C. R. 1909).

#### LA CAPILLARITÉ

La capillarité est la résultante des forces d'attraction des parois solubles sur les liquides et de la cohésion de ces liquides. Sous l'influence de cette force, l'eau remonte du sous-sol vers les parties supérieures.

Dans un tube de verre cylindrique de rayon  $r$  la hauteur d'ascension  $h$  est donnée par la formule :

$$r h = a^2$$

Ce qui fait que l'on a entre l'eau élevée  $Ec$  et la surface mouillée  $S$  la relation

$$\frac{Ec}{S} = \frac{\pi r^2 h}{2\pi r h} = \frac{r}{2} = \frac{a^2}{2h}$$

Mitscherlich a vérifié cette égalité pour du sable siliceux.

Le sol étant un milieu hétérogène, la vérification est impossible.

L'ascension de l'eau modifie la forme et le volume de l'espace vide du sol, il y a destruction des miettes et contraction.

D'après Wollny, l'eau monte d'autant plus haut que les canaux sont plus fins, mais elle monte aussi d'autant plus lentement, car le frottement de l'eau sur les parois augmente quand la largeur des canaux diminue. L'argile forte peut même arrêter l'ascension. Plus la

hauteur d'ascension augmente, plus la vitesse diminue, le poids de la colonne d'eau soulevée allant toujours en croissant.

## MONTÉE DE L'EAU D'APRÈS WOLLNY (en centimètres)

	Grains de sable de grosseur :			Humus Argile.	
	mm. mm. 0,1 à 0,071	mm. mm. 0,25 à 0,5	mm. mm. 1 à 2		
Après 1/4 d'heure...	11,2	8,5	3,0	4,0	1,4
— 1 heure....	27,5	10,2	3,1	9,2	3,0
— 6 heures...	57,1	13,0	3,6	19,0	7,2
— 1 jour.....	89,0	15,0	4,4	27,8	15,0
— 8 jours.....		17,9	5,6	45,4	39,0

L'eau monte plus vite dans le sol quand la température est plus élevée.

Les sels agissent sur la montée de l'eau dans le sol. Le nitrate de soude facilite cette ascension. M. Garola plongeait 2 tubes remplis de sable de diamètre moyen, 0 cm.0175 (espace vide : 48 0/0), l'un dans de l'eau distillée, l'autre dans une solution à 10 0/0 de nitrate de soude commercial; après 54 jours, la différence de hauteur d'eau entre le tube plongeant dans la solution de nitrate et le tube plongeant dans l'eau pure était de 74 mm. On a alors plongé le 1<sup>er</sup> tube dans une solution de nitrate, la différence s'est atténuée; elle tient donc à la nature de la solution et non à une différence possible dans l'arrangement initial du sable dans les tubes (1).

## LA CAPACITÉ POUR L'EAU

La capacité pour l'eau d'une terre est son aptitude à retenir l'eau. On peut mesurer cette capacité par diverses méthodes, les chiffres obtenus sont différents comme le montrent les résultats suivants :

(1) Garola, *Contribution à l'Etude physique des sols.*

	Eau nécessaire à la saturation de 100 gr. des divers éléments d'après :			
	Schübler	Masure	Wollny	
Sable .....	25	19	29,1	19,4
Calcaire .....	85	42		
Argile .....	70	84	55,9	45,9
Humus .....	190	103	253,6	106,5

La capacité pour l'eau augmente avec la finesse des éléments (Wollny) (1).

MM. Muntz, Faure et Lainé déterminent la capacité pour l'eau d'une terre de la façon suivante : La terre sèche passée au tamis de 2 mm. est introduite dans un tube de verre de section de 10 cm<sup>2</sup> fermée à la partie inférieure par une toile métallique, 50 cm<sup>3</sup> de terre y sont tassés sous un poids de 1 kilo. La terre est saturée d'eau par imbibition d'une durée de 24 heures, puis posée sur une terre de même nature sèche. Elle est tassée de nouveau sous un poids de 1 kilo. On détermine le volume. La différence de poids entre la terre sèche et la terre humide ressuyée, divisée par le volume occupé par la terre, donne la capacité pour l'eau en volume.

Parmi 144 terres examinées par MM. Muntz, Faure et Lainé :

7 avaient une capacité pour l'eau en volume inférieure à 20 0/0, 22 avaient une capacité pour l'eau en volume comprise entre 20 et 30 0/0,

(1) D'après Mitscherlich la capacité pour l'eau ne dépend pas seulement de la surface du sol, tandis que pour cet auteur l'hygroscopicité est proportionnelle à cette surface.

	Capacité pour l'eau % en poids	Hygroscopicité % en poids
Tourbe .....	12,6	17,0
Argile forte .....	80,9	14,0
Sable très humifère .....	52,8	4,2
Sable humifère .....	23,1	1,8
Limon sableux .....	20,1	1,6
Sable limoneux .....	21,9	1,3
Sable .....	18,8	0,9

Hygroscopicité : sable : 0 à 1; calcaire : 1; argile : 5 à 25; humus : 25 à 50.

- 42 avaient une capacité pour l'eau en volume comprise entre 30 et 35 0/0,  
59 avaient une capacité pour l'eau en volume comprise entre 33 et 40 0/0,  
14 avaient une capacité pour l'eau en volume supérieure à 40 0/0.

La capacité pour l'eau, ainsi déterminée, est celle d'une terre tamisée; la présence de pierres et de graviers dans un sol diminuera, bien entendu, sa capacité pour l'eau.

Plus un sol est riche en eau, plus la végétation est favorisée, pourvu toutefois que l'excès d'eau ne nuise pas aux racines.

En général, dit Mitscherlich, nos plantes cultivées donnent un rendement maximum quand 50 0/0 de l'espace vide du sol sont emplis d'eau liée capillairement (1). Par temps sec, on obtient de meilleurs résultats quand la nappe d'eau est située à moins de 4 mètres de la surface du sol (2).

#### LA PERMÉABILITÉ DES SOLS

L'eau qui tombe sur le sol s'infiltré ou ruisselle. De l'eau d'infiltration une partie est retenue par la terre, et cette quantité retenue est d'autant plus considérable que le sol a une capacité pour l'eau plus grande. Mais la pénétration de l'eau se fait plus ou moins facilement, suivant que la terre est plus ou moins perméable.

L'eau pénètre dans la terre sous l'influence de la pesanteur et de la capillarité. Dans le cas d'un sol en miettes ou d'un sol humifère, l'eau sature d'abord les

(1) In allgemeinen dürften unserer Kulturpflanzen dann Maximalerträge geben, wenn 50 0/0 des Hohlraumvolumens eines Bodens mit kapillar gebundenem Bodenwasser ausgefüllt sind (Mitscherlich. Bodenkunde).

(2) Nach einer Reihe statistischer Erhebungen... in verschiedenen Gegenden Deutschlands für die ertragreichsten Bodenarten angestellt hat, lieferte diese, sobald der Grundwasserstand höher als 4 m. war, bei nasser Witterung Maximalerträge (*idem*).

miettes avant de s'écouler. Si les canaux capillaires sont très étroits, les ménisques qui se forment à leur partie inférieure peuvent retenir une grande quantité d'eau en contrebalançant l'action de la pesanteur. De plus la résistance de frottement contre les parois est alors considérable (loi de Poiseuille : le débit est inversement proportionnel à la 4<sup>e</sup> puissance du diamètre). Une couche très mince d'une substance pulvérulente ou d'argile pure peut ainsi arrêter le mouvement de l'eau dans le sol.

Le mode d'agrégation des particules terreuses influera donc beaucoup sur la perméabilité. Une terre cultivée sera plus perméable, car elle présentera des espaces vides plus larges. Le drainage agit aussi en favorisant la création de tels espaces vides. C'est pour cette raison que la perméabilité est influencée :

1° Par les pluies qui transforment petit à petit le sol ameubli en terre compacte en tassant ce sol. Cette action est d'autant plus intense que la pluie est plus violente. L'influence de la pluie sur la texture du sol est donc défavorable et on doit lutter contre elle par le travail du sol. Au contraire, l'influence des gelées est favorable. Comme l'eau pénètre d'abord dans les mottes et mottes de terre, la gelée en dilatant l'eau désagrège ces mottes, et les débris emplissent les grands espaces vides. Mais cette action de la gelée peut devenir nuisible dans le cas où le sol porte une récolte, car, si la dilatation de l'eau est trop grande, le sol doit se soulever et il y a déchaussement.

2° Par les sels. Ces sels peuvent agir sur les substances colloïdales de la terre et modifier l'arrangement des particules de terre. On sait que la plupart des sels coagulent l'argile mis en suspension dans un vase. Ce fait n'explique pas complètement le bon effet que l'ap-

port de substances renfermant de la chaux a dans les terrains argileux, car le sol de culture n'est jamais absolument gorgé d'eau, et les phénomènes de coagulation et de décoagulation ne peuvent pas s'y passer de la même manière que dans un liquide (1) ; les modifications subies par l'argile (retrait, formation de mottes plus ou moins dures par le dessèchement, plasticité recupérée par l'hydratation) ne sont pas expliquées. Néanmoins il est établi, tant par les expériences de MM. Deherain et Demoussy et de M. Garola que par les observations des praticiens, que les sels de chaux augmentent la perméabilité des sols. Les sels de soude contribuent à diminuer la perméabilité. D'après M. Garola, le chlorure de sodium a une action indécise, le nitrate de soude diminue la perméabilité ; mais c'est surtout le carbonate de soude qui agit fortement, de sorte qu'il est probable que le carbonate seul agit et que l'action du chlorure ou du nitrate est due à une transformation partielle de ces sels en carbonate. Tous les sels peuvent, d'après Mitscherlich, contribuer indirectement à diminuer la perméabilité du sol. La cohésion des particules terreuses est diminuée par l'apport d'un sel, car le sel pénétrant des les interstices séparant celles-ci lors de la dessiccation de la terre, les particules ne sont plus en contact que par l'intermédiaire des cristaux salins et la pluie peut ensuite détruire plus facilement les mottes et former des croûtes. Un tel encroûtement du sol n'a d'ailleurs, à notre avis, qu'une importance minime. Il est facile de détruire la croûte par un binage et le phénomène ne se reproduira plus lors-

(1) Mein Erachtens spielt diese Erscheinung bei unserem Kulturboden gar kein Rolle, da bei deisem ganz andere Bedingungen vorliegen als bei deisem ganz andere Bedingungen vorliegen als bei dem besprochenem Versuche, wo sich die Bodenteilchen *unter* Wasser befinden (Mitscherlich-Bodenkunde). Mais M. Dumont attribue une grande importance à ces phénomènes qui se passeraient également dans le sol.

que le sel sera suffisamment enfoncé dans la terre.

MM. Muntz, Faure et Lainé ont déterminé la perméabilité d'un grand nombre de terres de nature très différentes. Ils opéraient avec la terre dont ils avaient déterminé au préalable la capacité pour l'eau (voir page 66), maintenaient dessus cette terre une hauteur d'eau de 2 cm. 5 et mesuraient la quantité traversant la terre en un temps donné. On n'aperçoit aucune relation simple entre les chiffres obtenus par ces expérimentateurs et ceux fournis par l'analyse physique de leurs terres.

D'après Mitscherlich, la quantité d'eau qu'un sol retient serait proportionnelle à la surface « extérieure » du sol (voir page 63).

#### L'EVAPORATION DES SOLS

L'évaporation dépend de l'état hygroscopique de l'air, elle est à peu près proportionnelle à la différence entre la tension maxima de la vapeur d'eau à la température de l'air et la tension de vapeur existant réellement dans l'air.

A mesure que l'eau s'évapore, cette différence décroît et l'évaporation diminue si l'air ne se renouvelle pas ; d'où l'influence du vent sur l'évaporation. On comprend aussi qu'une couche de paille ou de feuilles étendue sur le sol diminue notablement l'évaporation de celui-ci.

On peut considérer l'atmosphère intérieure du sol humide comme saturée de vapeur d'eau (vapeur qui se condense lors du refroidissement du sol et peut ainsi alimenter les plantes), l'évaporation se produira donc presque uniquement à la surface et sa grandeur dépendra :

1° De la surface du sol. Elle augmente avec la finesse des grains et aussi avec l'inclinaison de la surface (Wollny).

2° De la capacité pour l'eau de la surface du sol.

3° De la facilité avec laquelle l'eau arrive à la surface du sol par capillarité. En brisant le sol, on relentit l'ascension de l'eau vers la surface et on diminue l'évaporation. Les binages présentent donc une grande utilité, mais ils doivent ne pas être faits trop tard par un temps trop sec. Whitney a constaté dans les régions de dryfarming, qu'une couche de sol très sec protège le sous-sol contre l'évaporation, il n'y a pas lieu alors de détourner cette croûte. Si on essaie d'imbiber une terre d'eau, on constate que la montée de l'eau est d'autant plus lente que la terre est plus sèche. Ceci tient peut-être à des modifications de la matière colloïdale du sol, ces matières demandant un certain temps pour reprendre leur état primitif par l'hydratation.

4° L'évaporation peut être modifiée par la présence de sels dans l'eau du sol. Quand le sol est humide, la quantité de sels en dissolution (même en admettant qu'ils soient complètement dissociés) est négligeable. Mais il n'en est pas de même quand on place un cristal sur de la terre sèche. On constate alors la formation autour du cristal de taches plus humides qui vont en grandissant ; il y a distillation de l'eau vers la solution saline, comme l'ont montré MM. Muntz et Gaudechon (*Annales de l'Institut agronomique*, 1908).

5° Enfin l'évaporation est augmentée considérablement lorsque le sol est couvert de végétation. La transpiration de la plante varie avec les conditions climatiques, l'espèce et l'âge de la plante.

La quantité d'eau évaporée par un sol est inférieure

à celle évaporée par une nappe liquide quand ce sol n'est pas très humide, mais lui est supérieure dans le cas contraire (Haberlandt).

EVAPORATION DU 15 AVRIL AU 31 OCTOBRE 1875  
(WOLLNY).

	Herbe — mm	Jachère — mm
Sable.....	473,55	183,12
Limon.....	517,21	338,99
Tourbe.....	556,30	302,90

QUANTITÉ D'EAU ÉVAPORÉE PAR LA SURFACE LIBRE DE  
L'EAU (MITSCHERLICH).

	1903 — mm	1904 — mm
Début d'avril à mi-juillet {	pluie..... 205,50	125,95
	évaporation. 190,14	215,00

D'après M. Houllier (1), de l'avoine (de 0 m. 45 de haut) évaporait, le 22 juin, 3 fois plus que la jachère; cette culture a évaporé une hauteur d'eau de 8 c. 5 en supplément. Une récolte de betterave a évaporé 11 cm. 4 en plus qu'une jachère. Il en est résulté que, le 10 février, la terre cultivée en betterave n'avait pas donné d'eau de drainage, tandis que la terre en avoine en avait donné 0 c. 5, et la terre en jachère 7 cm.

(1) Expériences faites à Abbeville (*Annales de l'Hydraulique*, 1907).

## ÉPOQUES D'EMPLOI DU NITRATE DE SOUDE

### GÉNÉRALITÉS

Nous allons maintenant rechercher qu'elles sont les meilleures époques d'emploi du nitrate de soude. Cet engrais présente sur les autres la particularité de n'être pas retenu par le pouvoir absorbant du sol. Il suit les mouvements de l'eau dans le sol, comme nous l'avons montré précédemment.

Nos expériences ont été faites dans des tubes de faible section, avec de la terre plus ou moins tassée, mais présentant dans tous les cas une structure homogène. L'espace vide était de 49 à 52 0/0 (sauf pour la terre n° 3). D'après M. Garola, l'espace vide moyen est de 45 à 50 0/0. MM. Muntz, Faure et Lainé, dans leur détermination de la porosité des terres au laboratoire (terres soumises à une pression de 1 kilo par 10 cm<sup>2</sup>), trouvent des chiffres variant de 40 à 50 0/0. Nous avons une terre dans un état qu'on peut considérer comme intermédiaire entre le sol et le sous-sol, mais par sa continuité se rapprochant d'avantage du sous-sol (1).

Lawes et Gilbert sont d'avis que l'eau s'enfonce dans la terre de deux façons : 1° par drainage direct à travers les fissures du sol ; 2° par drainage général, en s'infiltrant dans toute la masse de terre.

Dans le sol travaillé et en structure motteuse il se

(1) Dehérain a trouvé pour le sol des espaces vides variant de 40 à 64 0/0 (et même 69 0/0 pour un compost de jardinier), suivant l'état du travail de ce sol.

produit surtout du drainage direct ; toutefois la pénétration de l'eau n'a lieu que lorsque les mottes de terre se sont imbibées complètement. Dans le sous-sol, le drainage direct se produira dans le cas d'un sol graveleux ou d'un sol argileux fissuré. Son existence dépend de la nature du sous-sol. Il sera d'ailleurs possible au praticien de se rendre compte de son existence dans le cas où il a été posé des tuyaux dans la terre. Si, après une pluie un peu importante, les drains coulent pendant la belle saison, c'est qu'il y a drainage direct, sinon ce mode de pénétration de l'eau n'est pas à considérer.

Les pertes de nitrate par drainage direct ne sont jamais totales, puisque l'eau n'entraîne que le nitrate avoisinant les fissures. Elles ne sont à redouter que si l'on a épandu le sel en surface avant la grande pluie. Un autre entraînement du même genre qui peut être à redouter, c'est l'entraînement du nitrate par les eaux de ruissellement, qui peut avoir lieu dans le cas des terrains en pente ou de terres battantes.

Le nitrate contenu dans le sol ameubli ne sera pas entraîné totalement dans le sous-sol par une pluie, car une fois que l'on a saturé les miettes de terre, elle coule entre elles et le défaut de contact avec le nitrate situé à l'intérieur des mottes empêche l'entraînement. Il ne peut y avoir de pénétration totale que lorsque les pluies ont modifié la consistance du terrain pour lui faire reprendre la structure compacte.

Pour éviter l'entraînement du nitrate par drainage direct ou par les eaux de ruissellement ou simplement pour retarder sa pénétration dans le sous-sol, il convient de l'enterrer. En l'épandant avant une légère pluie, qui le fait pénétrer à l'intérieur des mottes de terre qui s'étaient desséchées au contact de l'air, ou

en le binant, on facilite sa conservation dans le sol.

Quand la terre ne se dessèche pas très rapidement, l'enfoncement du nitrate par les pluies est notable dans une terre semi-humide : 4 cm. d'eau en enfonçaient jusqu'à 30 cm. dans notre limon n° 1; on peut penser que 1 cm. en enfoncerait alors à 7 cm., dans la terre n° 3, plus motteuse; l'enfoncement pour 4 cm. étant de 20 cm., 1 cm. enfoncerait de 5 cm. Cet enfoncement est suffisant pour que l'engrais arrive au contact des racines, et suffit à expliquer les bons effets constatés dans la pratique par l'emploi du nitrate en couverture.

Toutefois, vu la non diffusion de l'engrais, le fait qu'il remonte par capillarité et que les petites pluies survenant dans une époque de sécheresse ne peuvent l'enfoncer, mais tendent à le ramener vers la surface, fait qu'il ne doit jamais être employé trop tardivement. C'est là une question de climat. Par temps humides le nitrate peut être employé à toute époque de la végétation active de la plante. Il est inutile d'en ajouter lorsqu'approche la maturité de la plante; il ne faut pas non plus en abuser dans la culture des céréales, car une végétation exubérante de ces plantes favorise la verse.

L'emploi fractionné du nitrate a été beaucoup recommandé, on avait vu là un moyen d'éviter les pertes dans le sous-sol. Or, dans le cas où le drainage direct ne s'exerce pas, c'est-à-dire le cas des bonnes terres de culture, cette déperdition n'est guère à craindre pour les nitrates employés au printemps. Supposons que la teneur du sol au printemps soit égale à sa capacité pour l'eau. Alors les eaux s'infiltrant dans la terre opéreront un déplacement à peu près méthodique des solutions, et avec 20 cm. de pluie en mars,

avril et mai (ce qui est supérieur à la moyenne de Paris), on a des enfoncements qui ne dépasseront pas les quantités suivantes :

Capacité de la terre par l'eau	20	30	35	40
Pénétration de nitrate en cm.	100	67	57	50

Pour qu'une application de nitrate puisse avantageusement être faite au premier printemps, il faudra que le sol et le sous-sol aient une profondeur suffisante pour retenir l'eau tombée, et cette profondeur sera variable avec leur capacité pour l'eau. Là où le sol a une faible profondeur, où les eaux, n'ayant pénétré que de quelques décimètres, rencontrent une couche imperméable, si mince soit-elle, l'épandage de nitrate ne peut être fait qu'assez tardivement.

Le nitrate enfoncé profondément dans la terre à 50 cm. ou 1 m. ne peut être utilisé que par des plantes très bien enracinées, ou seulement à une époque tardive. Quand l'eau, évaporée par le sol et les plantes, est plus grande que celle apportée par les pluies, que la plante vit des réserves d'humidité du sous-sol, il y a alors montée de l'eau par capillarité. Si, sous l'influence des eaux de pluie, le nitrate n'est entraîné que partiellement, il n'en est pas de même lorsqu'il est soulevé par l'eau montant capillairement : tout le nitrate peut alors être soulevé comme le montrent nos essais. Cela tient à ce que l'eau qui pénètre dans la terre doit passer par les canaux capillaires larges, l'eau qui remonte par capillarité lèche toutes les particules de terre.

On pourrait craindre que les nitrates ne remontent trop sous cette influence, mais cet inconvénient ne se produit pas quand la terre est couverte de végétation, l'évaporation de la terre est ralentie par la couverture

de végétaux et les plantes absorbent l'eau au fur et à mesure qu'elle remonte. Quand la terre n'a plus qu'une certaine teneur en eau (30 à 50 p. 100 de l'eau nécessaire à la saturation d'après Wollny) la capillarité ne s'exerce plus. Nous avons (en juillet 1912) exposé à l'air des cylindres remplis de terre bord à bord, contenant l'un une terre boueuse (n° 5) à 25 p. 100 d'eau en volume, la couche située à 10 cm. contenait après 7 jours 20 p.100 d'eau et après 12 jours 18 p.100. Une terre sableuse à 17, 6 p. 100 renfermait, au bout de 12 jours, 14 p. 100 à 10 cm. de profondeur.

Cependant, quand la terre n'est pas couverte entièrement de végétation, il peut y avoir ascension vers la surface des nitrates peu enfoncés ; il convient alors d'empêcher cette ascension par des binages qui, encore à ce point de vue, « valent des arrosages ».

La montée du nitrate ne peut s'effectuer que lorsque le sous-sol est continu. Si la terre végétale repose sur des graviers ou sur de l'argile imperméable, l'eau qui a pénétré dans le sous-sol ne remonte plus et est perdue ainsi que des nitrates qu'elle a entraînés. La possibilité d'employer les nitrates de bonne heure est subordonnée à l'existence d'un sous-sol continu sur une profondeur suffisante.

Les nitrates employés tôt serviront tard, ils sont enfoncés et ne sont utilisés que lorsque les racines des plantes les rejoignent, soit que ces racines s'enfoncent, soit que les nitrates remontent. Si l'on veut activer la végétation d'une jeune plante, il ne faudra guère compter sur les nitrates mis de bonne heure, mais faire alors une application d'engrais. C'est pour cela que le fractionnement du nitrate est nécessaire.

Ceci dit, le mode d'application du nitrate dépendra du but que l'on assigne à cet engrais. Le nitrate em-

ployé n'est jamais qu'un engrais complémentaire, on n'apporte pas au sol assez d'azote nitrique pour subvenir aux besoins de plante en azote. Ce complément peut avoir pour but :

1° de suppléer au manque d'engrais azotés organiques, parce qu'on ne disposait pas d'assez de fumier et qu'on n'a fait qu'une demi-fumure ;

2° de suppléer au défaut d'assimilabilité des engrais organiques, qui ne nitrifient pas toujours assez vite.

Si on assigne au nitrate de soude ce dernier rôle, on se bornera souvent à un épandage en couverture, quelque temps avant le moment où la plante a le plus besoin d'azote ou est placée dans des circonstances défavorables (lors du taillage du blé, de la levée de l'avoine, du démariage de la betterave).

Si le nitrate de soude sert aussi d'engrais de fond, comme dans le cas de culture de betterave industrielle, alors :

1° dans les climats très humides, on peut faire plusieurs applications (trois par exemple, à un mois de distance à partir du moment où la plante entre en végétation). Des applications donneront de bons résultats, les pluies enfonçant l'engrais, les racines restant superficielles. Si d'ailleurs le sol et sous-sol continu sont peu profonds, on ne peut opérer autrement.

2° dans les climats secs ou dans le cas de terres perméables mais profondes, on emploiera le nitrate tôt, la majeure partie enterrée avant les semailles de printemps, une autre fraction de la dose employée servant à stimuler la végétation à une époque ultérieure.

L'application du nitrate est généralement faite très tôt dans les terres de Champagne crayeuses, légères, mais souvent profondes, cela tient à ce que les enracinement des plantes doivent se faire en profondeur et

que l'utilisation de l'engrais mis tardivement est subordonnée à la venue d'un temps humide ; le climat de Champagne est le plus sec de la France.

Le nitrate non utilisé par une récolte est-il totalement perdu pour les récoltes suivantes. Cela a lieu dans certaines cas et cela suffit pour déconseiller de faire des avances de cet engrais à la terre (même l'engrais étant conservé en totalité, l'avance serait sans intérêt). Mais ceci n'a pas lieu dans tous les cas, comme on l'a constaté pour les cultures arbustives. Le fait d'une utilisation insuffisante du nitrate la 1<sup>re</sup> année et de bons effets produits la 2<sup>e</sup> année sur vigne a été constaté par M. Régère (*Petit Manuel d'agriculture pour l'ouest de la France*). Des faits semblables auraient été constatés pour le pommier.

Le tout dépendra de la profondeur du sous-sol et de sa capacité pour l'eau. La moyenne des chutes d'eau à Paris, dans les 6 mois d'automne et d'hiver, est de 25 cm. (sur un total de 55). Il en résulterait, dans un sol non desséché, un enfoncement des solutions supérieures à 75 centimètres dans une terre de capacité pour l'eau moyenne. Si la terre est desséchée par les plantes qui s'y sont développées, les premières pluies commencent par l'imbiber en entraînant partiellement les nitrates, puis a lieu le déplacement méthodique (sauf le cas de drainage direct). Pour qu'il y ait déperdition par les eaux de drainage, il faut qu'il y ait élimination des eaux et c'est une question de nature du sol, de sous-sol, d'inclinaison, etc. (1).

(1) Über diese Sickerwassermengen sind zahlreiche Versuche angestellt worden, welche jedoch kein allgemeines Interesse beanspruchen dürfen, (Mitscherlich, Bodenkunde).

## LE BLÉ

Le blé est, après la betterave, la plante pour laquelle on utilise le plus de nitrate de soude. Ceci tient non pas à ce qu'elle soit la céréale la plus exigeante en azote, mais à ce qu'elle est la mieux soignée.

Pour cette raison, on la fait venir souvent soit après plante sarclée très bien fumée, soit sur la fumure directe au fumier de ferme. L'application du nitrate sert donc ici à suppléer au défaut d'assimilation des engrais organiques au moment où la plante a « faim d'azote ». On n'emploie d'ailleurs dans la plupart des cas que 10 à 20 kilos d'azote nitrique, ce qui ne saurait satisfaire aux besoins d'azote du blé, mais est suffisant pour compléter la fumure organique.

Il conviendra d'employer ce nitrate de façon à ce qu'il soit à la disposition de la plante au moment où celle-ci a besoin de beaucoup d'azote et a difficulté à le trouver.

Or (d'après M. Garola), le blé d'hiver n'a absorbé lors du tallage que 4 0/0 de l'azote qu'il utilise, et à la floraison il en a absorbé 75 0/0. Le gramme de racines absorbe par jour 2 mgr.58 d'azote dans la période allant du tallage à la floraison, il en absorbe moins de 1 mgr. avant le tallage et moins de 0 mgr.5 quand approche la maturité.

C'est donc à l'époque du tallage du blé qu'il convient d'appliquer le nitrate. L'application avant le semis sera difficilement utilisée en hiver, vu l'entraînement en profondeur, et la plante n'a guère besoin d'engrais pendant la période des froids. D'ailleurs, à tort ou à rai-

son, certains praticiens redoutent les blés trop beaux avant l'hiver. Si l'emploi de nitrate à l'automne a des avantages, ce n'est pas celui de nourrir le blé en hiver.

Convient-il d'épandre le nitrate au printemps en une ou deux fois? L'application en une fois peut paraître plus économique, mais il n'en est rien, car on peut dans certains cas supprimer la 2<sup>e</sup> dose si le blé est assez beau. On peut régler ainsi, dans une certaine mesure, la végétation de la plante.

Il nous manque, pour apprécier ces méthodes, la connaissance de l'état d'enracinement des plantes aux diverses époques de leur végétation (état qui d'ailleurs peut varier avec les diverses conditions).

Mais imaginons au début du printemps une période froide avec pluies abondantes, peu d'évaporation dans l'intervalle, une partie du nitrate est entraînée à une profondeur variable avec l'état d'agrégation de la terre et sa capacité pour l'eau, mais que nous pouvons évaluer à 30 cm. en moyenne pour 10 cm. d'eau. A l'époque du tallage, les racines du blé tendent à se développer latéralement. Dans une terre profonde, le nitrate sera enfoncé non pas perdu, mais il ne servira pas au moment où on le désirerait; une 2<sup>e</sup> application est alors utile. Dans la majorité des cas, l'application du nitrate en 2 fois devra donc être préférée.

Toutefois, dans les terres légères et profondes, ou dans les climats secs, d'une façon générale là où l'on a intérêt à provoquer la descente des racines, les épandages hâtifs doivent être préférés.

L'époque à partir de laquelle il convient de cesser toute application de nitrate variera avec les conditions climatiques. Pratiquement, tout épandage est impossible quand la plante a une certaine taille. Les prati-

ciens ont parfois remarqué que le nitrate épandu pendant une période de temps sec n'était pas bien utilisé, même si des pluies survenaient ensuite. Cela tient peut-être à ce que, pendant la période de sécheresse, le blé ne produit plus de racines superficielles et que les pluies suivantes n'enfoncent pas assez l'engrais. Mais peut-être l'engrais agit-il cependant, mais moins rapidement que de coutume, parce que la soude est absorbée moins facilement. Le « coup de fouet » donné par le nitrate de soude tient peut-être en partie à l'élément *Na*. Il en résulterait que l'apport de nitrate de chaux accélérerait moins la végétation. Quelques praticiens semblent l'admettre, mais ceci demanderait à être examiné avec plus de soin.

L'emploi de 10 à 20 kilos d'azote nitrique pour la fumure du blé n'est suffisant que si la terre est suffisamment enrichie, et c'est souvent le cas quand la saison avance, la nitrification des engrais organiques fournira l'azote nécessaire. Mais il peut arriver que la terre soit pauvre et qu'on n'ait pu y apporter le fumier ou ses succédanés en quantité suffisante. On peut se demander si on ne peut pas suppléer à ce manque d'engrais par une application de nitrate de soude.

En épandant 40 kilos d'azote nitrique en mars et avril, on pourrait provoquer la verse. Il est cependant nécessaire que le blé ne manque pas d'azote quand il grandit, sinon la maturité est mauvaise et le 1<sup>er</sup> épandage de nitrate, s'il a provoqué la formation de tiges, ne donnera pas le rendement en grain que l'aspect de la récolte promettait. La 2<sup>e</sup> application corrige un peu ce défaut, ce qui a fait dire qu'il fallait « lancer la plante », puis « la soutenir ». Wagner a obtenu les résultats suivants en culture expérimentale :

AZOTE INTRODUIT DANS CHAQUE POT EN GR.			RÉCOLTE EN GRAIN POUR 100 DE PAILLE
27 avril	26 mai	15 juin	
6	»	»	62
4	2	»	60
2	2	2	65
»	6	»	72
»	2	4	75

Dans la pratique, il est impossible d'épandre du nitrate le 15 juin sur les blés ; le pourrait-on que souvent ce nitrate ne profiterait pas. L'alimentation azotée de la plante doit alors être fournie :

1° Dans le cas de terre peu profonde à sous-sol imperméable ou à fort drainage direct, par la nitrification des engrais organiques.

2° Dans le cas de terres profondes, et à sous-sol continu, ce sera souvent aussi à l'aide d'engrais organiques, mais on peut utiliser le nitrate de soude pour remplacer en partie cette fumure. On procédera dans le courant de l'hiver à des épandages de nitrate, ce nitrate sera enfoncé dans la terre et il servira lorsque le blé aura des racines profondes ou quand l'eau remontera du sous-sol vers le sol. En hiver, l'évaporation du sol est négligeable, le mouvement des eaux est dirigé uniquement de haut en bas. Il n'en est plus de même lors de la belle saison. Risler a constaté un déficit journalier moyen de 0 mm. 8 entre l'eau fournie par les pluies et celle évaporée par un champ de blé dans les 4 mois : mars, avril, mai et juin. Il en résulte un appel de  $0,8 \times 120$  mm., soit environ 10 centimètres d'eau. Evidemment ces chiffres sont variables. Mais dans ce cas particulier on aurait pu alimenter tardivement le blé en azote par un ou deux apports de nitrate faits 1 et 2 mois avant le départ de la végétation du blé (admettant une moyenne mensuelle de pluie de 5 centimètres par mois d'hiver).

Nous pensons que, lorsque l'application du nitrate avant la semaille de blés d'automne a donné de bons résultats, cela tient à un phénomène de ce genre (1), mais nous estimons plus prudent d'attendre quelque temps pour épandre le nitrate. Il sera rare que l'application en automne n'aille pas sans pertes, tandis que dans le cas de bonnes terres profondes le blé pourra utiliser tout le nitrate mis en hiver.

D'après les considérations déjà développées l'application du nitrate en hiver ne remplace pas l'application printanière, chacune d'elles a un rôle différent.

**Blé de printemps.** — M. Garola a constaté qu'un blé Chiddam semé le 24 mars (levé le 14 avril) avait absorbé, lors de son tallage, 15 0/0 de l'azote qui lui était nécessaire, le gramme de racine avait pris journellement au sol une moyenne de 6 mgr. d'azote. Il en résulte la nécessité d'un fort apport de nitrate, la majeure partie avant le semis, le reste après la levée. Cette 2<sup>e</sup> application est très utile, si on estime que le premier nitrate a été trop enfoncé.

#### CÉRÉALES DE PRINTEMPS

**Avoine.** — De toutes les céréales, l'avoine est la plante qui en bonne culture profite le mieux des engrais azotés. Ce fait est d'ailleurs bien connu des praticiens qui font volontiers succéder cette plante à un défrichement de prairie artificielle.

Le nitrate de soude destiné à l'avoine peut être épandu

(1) C'est en hiver qu'il tombe le moins d'eau, 10 cm. 7, contre 17 cm. 4 au printemps, 16, 1 en été, 12, 2, en automne (moyenne de Paris), quoique l'évaporation soit alors négligeable (0 cm. 5 à 0 cm. 6 en janvier contre souvent plus de 40 cm. en juillet d'après M. Angot), que par conséquent presque toute l'eau qui ne ruisselle pas s'infiltré, dans certains cas le nitrate peut être conservé. Un facteur qui interviendra sera la teneur de la terre en eau à l'automne, si elle est faible, les chances de conservation sont plus grandes.

soit avant le semis et enterré, soit lors de la levée ou quelque temps après la levée. Dans les cas de terres peu profondes, à mauvais sous-sol, on fera l'application après la levée. Ailleurs il doit en être autrement.

D'après M. Garola, l'avoine a pris au sol au moment de son tallage 40 0/0 de l'azote qu'elle utilisera. Le gramme de racines absorbe avant le tallage 6 mgr. d'azote par jour en moyenne, puis il absorbe moins de 0 mgr. 5.

C'est donc de bonne heure que l'on doit employer le nitrate, avant le tallage que le nitrate doit être épandu. L'avoine est la céréale qui a besoin de la plus grande quantité d'eau pour former le kilogramme de matière sèche, d'où la pratique de la semer tôt en terres légères. « Avoine de février remplit le grenier », dit un proverbe. Il conviendra de faciliter l'enfoncement des racines, et une application hâtive de nitrate y contribue.

En terre légère, il sera bon d'employer une bonne partie du nitrate avant la semaille d'avoine. Si des pluies abondantes surviennent, le nitrate est enfoncé (mais non pas perdu si le sous-sol est bon). Toutefois, il ne servira peut-être pas assez vite, l'avoine aura peut-être peine à taller. Dans ce cas, on referait une nouvelle application de nitrate. Le fractionnement de la dose présentera des avantages économiques, la 2<sup>e</sup> dose étant appliquée surtout en année humide, dans des conditions climatiques permettant d'obtenir de grands rendements.

En pratique, l'application du nitrate avant la semaille d'avoine présente parfois des inconvénients. C'est le cas des terres où les sauges et ravenelles se développent facilement. Si ces mauvaises herbes germent avant l'avoine elles profitent du nitrate et étouffent plus faci-

lement la céréale que si on n'avait pas employé d'engrais. Le nitrate étant épandu quand l'avoine est levée, celle-ci s'en empare et peut lutter contre le sené, les nitrates avançant les plantes graminées plus que les autres (1).

*Orge.* — L'orge de printemps utilise surtout l'azote vers la fin de sa période de végétation, au tallage elle n'a absorbé que 7 0/0, à la floraison 38 0/0. Comme on la sème généralement plus tard que les autres céréales (« à la Saint-George, sème ton orge »), il convient d'enterrer tout le nitrate avant la semaille. M. Sagourin a observé que ce procédé donnait dans le département de l'Aube des résultats meilleurs que l'emploi fractionné (même en l'année humide (1910)).

#### LES PLANTES SARCLÉES. LA BETTERAVE

On a discuté beaucoup sur l'emploi du nitrate de soude sur betteraves. Petermann a consulté l'emploi enterré profondément avant les semailles. Mærker était d'avis de l'employer très tôt, tandis que Kiehl, à la suite d'expériences faites en Allemagne de 1890 à 1899, préconisait l'emploi en couverture en 3 fois, à la levée, quand elles ont de 2 à 4 feuilles et après le 2<sup>e</sup> binage.

Suivant les conditions climatiques il conviendra d'adopter un système ou l'autre. En parlant des conclusions de Kiehl, M. Hitier (2) dit : « Opérer ainsi sous notre climat serait imprudent. » « La culture de la betterave à sucre s'est surtout développée... sur les

(1) A la question des mauvaises herbes se rattache celle du déchaumage, le but principal de cette opération étant leur destruction. Mais dit M. Garola (la Pratique des travaux de la ferme). « cette opération est insuffisante pour détruire la jotte » (*Sinapis arvensis* ou Sené). Il peut même arriver que le déchaumage provoque la germination au printemps de graines qui sans cela seraient restées en vie latente. Aussi cette pratique est-elle insuffisante et d'un effet douteux, si les façons culturales de printemps sont négligées.

(2) Plantes industrielles. *Encyclopédie agricole*.

terres du limon quaternaire de loess qui longent le pied des hauteurs » de l'Allemagne, en climat humide par conséquent. Aussi, ajoute M. Hitier, un grand nombre d'excellents cultivateurs enterrent le nitrate moitié avant la semaille et épandent l'autre moitié en couverture au moment des binages.

M. Garola a constaté que, la betterave absorbant surtout l'azote en fin de végétation, en août elle n'en a pas encore absorbé 40 0/0. Le gramme de radicules absorbe les 50 premiers jours après la levée 6 mgr. 14 d'azote en moyenne par jour, les 35 jours suivants 11 mgr. 3, les 29 jours après 6 mgr. 72 et en fin de végétation 3 mgr. 72. C'est donc vers la fin de son existence que la betterave a surtout besoin d'azote.

En climats humides il conviendra donc de faire des applications fractionnées et tardives.

En climats plus secs et quand le sous-sol est favorable il conviendra d'enterrer même profondément le nitrate avant la semaille ; ce nitrate, mis tôt, servira plus tard ; il sera une garantie à la fois contre les inconvénients de la sécheresse et le défaut de nitrification du fumier.

Mais il est une circonstance qui fatigue les jeunes plantes, c'est le démariage. Il conviendra de faire toujours à cette époque une application de nitrate pour redonner de la vigueur à la plante.

De telles applications (si elles ne sont pas faites en période de sécheresse) seront toujours utiles pour combattre une circonstance défavorable à la plante (maladie, attaque d'insectes, etc.). L'emploi de nitrate avant les semailles de plantes de printemps n'empêche pas l'épandage ultérieur de petites quantités d'engrais.

Ces considérations s'appliquent tout aussi bien à la betterave fourragère qu'à la betterave industrielle.

Elles s'appliquent également à la carotte fourragère, dont le mode de développement rappelle celui de la betterave. On pourrait rechercher de la même manière le meilleur mode d'emploi du nitrate sur pomme de terre, en tenant compte de sa végétation très variable avec la variété.

#### CHAMPS D'ETUDES

Beaucoup d'agriculteurs trouveront sans doute qu'il serait utile de vérifier par des expériences culturales les principes que nous venons de déduire de notre étude de laboratoire. Nous avons fait remarquer qu'il n'y a pas contradiction entre les théories que nous avons émises et les résultats obtenus dans la pratique.

A la suite d'expériences culturales, on est arrivé à des conclusions très diverses, et il devait forcément en être ainsi. Il faudrait justifier les résultats obtenus, aussi pensons-nous que tout champ d'études sur l'emploi du nitrate de soude devrait être accompagné :

1° de l'examen des propriétés physiques du sol et du sous-sol, en particulier de la détermination de leur capacité pour l'eau (en tenant compte des graviers);

2° de la détermination de la profondeur de la couche imperméable, ou de la constatation qu'elle se trouve à une très grande profondeur ;

3° de la constatation des conditions climatiques pluies et évaporation. Il serait même désirable que l'on puisse déterminer à diverses époques l'évaporation des plantes et la profondeur de leurs racines.

Nous croyons que les résultats obtenus intéresseraient les praticiens, qui peuvent d'ailleurs se rendre compte eux-mêmes d'une façon approximative des

propriétés physiques du sol qu'ils cultivent et examiner le sous-sol.

Beaucoup de cultivateurs connaissent maintenant les engrais; certes tous n'en ont pas encore fait usage, mais les praticiens éclairés n'en contestent plus l'utilité et savent déterminer les sortes d'engrais qui conviennent le mieux à leurs terres. Mais les meilleures conditions d'emploi de ces engrais ne sont pas encore déterminées d'une façon précise. Beaucoup de personnes laissent ce soin au praticien. Mais le praticien n'a souvent pas le loisir de faire cette étude, nous avons cru utile de lui indiquer d'abord une méthode qu'il pourra appliquer provisoirement et ensuite les principes lui permettant de l'améliorer s'il y a lieu, à l'aide de quelques essais qui, bien entendu, ne demandent pas la même précision qu'une expérience scientifique, mais qui doivent toujours être interprétés avec le secours des principes établis par la science et le sentiment des nécessités de la pratique que possèdent nos agriculteurs.

## TABLE DES MATIÈRES

---

INTRODUCTION.....	6
<b>Le mode d'emploi des engrais en général.....</b>	<b>11</b>
Les engrais, leur absorption, leurs effets.....	11
La profondeur d'enterrement des engrais.....	24
L'époque d'emploi des engrais.....	27
Le mode d'épandage des engrais.....	35
<b>Rapports du nitrate avec le sol.....</b>	<b>39</b>
<b>Rapports de l'eau avec le sol.....</b>	<b>61</b>
Eau d'hygroscopicité.....	61
La capillarité.....	64
La capacité pour l'eau.....	65
La perméabilité des sols.....	67
L'évaporation des sols.....	70
<b>Epoques d'emploi du nitrate de soude.....</b>	<b>73</b>
Généralités.....	73
Le blé.....	80
Céréales de printemps.....	84
Les plantes sarclées. — La betterave.....	86
Champs d'études.....	88

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

# ENGRAIS

Par C.-V. GAROLA

Professeur départemental d'Agriculture à Chartres.

4<sup>e</sup> édition revue et augmentée

1912, 1 volume in-18 de 570 pages, avec 98 figures

Broché..... 5 fr. | Cartonné..... 6 fr.

Couronné (Médaille d'or) par la Société nationale d'agriculture.

Les engrais se placent au premier rang des agents que l'agriculteur met en œuvre pour augmenter les rendements et abaisser les prix de revient. Il est donc nécessaire que tout praticien soit éclairé sur leur nature, leur valeur agricole, leur mode d'emploi judicieux et économique. Il faut aussi qu'il soit à même de se les procurer sur le marché aux meilleures conditions de prix et de qualité.

Après avoir jeté un coup d'œil sur la *physiologie de la nutrition des plantes*, et dégagé les principes fondamentaux de l'emploi des engrais, M. GAROLA étudie les moyens de corriger les défauts physiques et chimiques des terres arables, à l'aide des *amendements calcaires*. Puis il passe en revue le *fumier de ferme*, en mettant en relief son rôle fondamental comparativement à celui des engrais de commerce, les engrais organiques divers, les engrais de commerce azotés, les engrais phosphatés et les engrais potassiques, M. Garola donne de nombreuses preuves expérimentales de l'efficacité des divers engrais dans les sols et pour les cultures auxquelles ils conviennent.

Il aborde alors la *réglementation du commerce des engrais*. Il insiste sur l'utilité des *syndicats agricoles* pour l'achat des engrais en commun.

Enfin il aborde la partie technique de la question : l'*emploi des engrais pour les différentes cultures* (céréales, plantes sarclées, légumineuses, prairies, etc.), dans les diverses natures de sols et suivant la rotation, en s'appuyant sur ses recherches personnelles relatives aux besoins des plantes en éléments nutritifs, à la marche de l'absorption de ces principes alimentaires pendant la durée de la végétation et à l'énergie du travail racinaire aux diverses phases de la vie des plantes. En partant de ces données physiologiques fondamentales, il a fait comprendre aux cultivateurs quelle doit être la nature des fumures à employer et leurs doses économiques, dans les cas si divers que présente la pratique agricole.

« Écrit avec la précision et la clarté qui distinguent les publications de M. GAROLA, ce livre porte la marque de l'homme d'action qui parle non seulement de ce qu'il a lu, mais surtout de ce qu'il a vu et de ce qu'il a fait. Il sera utilement étudié par tous ceux qui à un titre quelconque s'intéressent à la production agricole. »

SCHRIEBAUX, professeur à l'Institut national agronomique.

ENVOI FRANCO CONTRE UN MANDAT POSTAL

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

L'INDUSTRIE ET LE COMMERCE  
DES ENGRAIS

ET DES

ANTICRYPTOGAMIQUES ET INSECTICIDES

Par Ch. PLUVINAGE

Ingénieur agronome.

1912, 1 volume in-18 de 500 pages, avec 250 figures

Broché..... 5 fr. | Cartonné..... 6 fr.

L'industrie des engrais occupe actuellement dans le monde une place de la plus haute importance. Elle arrive immédiatement après les industries minières et métallurgiques par la valeur des matières traitées et le nombre de personnes intéressées. Le commerce des engrais est plus important encore, car il intéresse, outre les industries, un nombre considérable de négociants, de syndicats et d'agriculteurs.

L'avenir d'ailleurs des industries fournissant les substances nécessaires à l'agriculture n'est contesté par personne ; non seulement les pays anciens emploient de plus en plus d'engrais, mais les pays neufs, qui jusqu'à ce jour n'avaient pas éprouvé le besoin de restituer au sol les substances exportées par les récoltes, sont obligés aujourd'hui d'envisager cette restitution.

M. PLUVINAGE, qui par ses études d'ingénieur agronome et sa situation dans l'industrie était à même d'exposer l'état actuel industriel, économique et commercial des engrais, a réuni dans un livre de 500 pages tout ce qui concerne les produits utilisés par l'agriculture.

L'extrait de la table des matières que nous donnons ci-après montrera l'intérêt de cette publication.

I. *Engrais azotés.* — Nitrate de soude. Sulfate d'ammoniaque. Nitrate de potasse. Crud d'ammoniaque. Cianamide. Nitrate de chaux. Nitrate d'ammoniaque. Nitrure. Divers.

II. *Engrais phosphatés.* — Phosphates naturels. Phosphates industriels et agricoles. Superphosphates minéraux. Superphosphates d'os. Phosphates précipités. Scories de déphosphoration. Phosphates divers. Procédés Schloesing.

III. *Engrais potassiques.* — Sels de Stassfurth. Les autres gisements. Salins de betteraves. Cendres et divers.

IV. *Les engrais organiques.* — Gadoues et boues de ville. Tourteaux. Poudrette. Travail des vidanges. Sang et viande, travail des abattoirs. Guanos. Engrais humiques et divers.

V. *Les engrais composés.* — Les engrais minéraux. Les engrais organiques.

VI. *Les anticryptogamiques et insecticides.* — Sulfate de cuivre. Sulfate de fer. Soufres. Sulfure de carbone. Sulfocarbonates.

Le livre *Industrie et Commerce des Engrais* est indispensable à tous les industriels, négociants, agriculteurs, syndicats, qui s'occupent tous les jours des substances fertilisantes utilisées en agriculture.

LIBRAIRIE J.B. BAILLIÈRE ET FILS, 19, RUE HAUTEFECILLE, A PARIS

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

# ANALYSES AGRICOLES

*Terres, Engrais, Fourrages  
Produits des industries agricoles*

Par R. GULLIN

Directeur du laboratoire de la Société des Agriculteurs de France.

1910, 1 volume in-18 de 443 pages, avec 51 figures

Broché..... 5 fr. | Cartonné..... 6 fr.

AGRICULTURE GÉNÉRALE. — I. TERRES : Prélèvement des échantillons; analyse physique et chimique; dosage des éléments minéraux solubles dans les acides faibles; interprétation des analyses.

II. ROCHES ET SILICATES.

III. AMENDEMENTS : Marnes et calcaires; chaux; plâtres.

IV. ENGRAIS : engrais azotés; nitrates; sulfate d'ammoniaque; cyanamide; engrais organiques azotés; crude ammoniac; engrais phosphatés; phosphates naturels; engrais phosphatés organiques; scories de déphosphoration; superphosphates minéraux et d'os; superphosphates concentrés; phosphate précipité et phosphate d'alumine; engrais potassique; sels de potasse; cendres; engrais organiques; engrais composés.

V. PRODUITS ANTICRYPTOGAMIQUES ET INSECTICIDES : soufre; sulfate de cuivre, bouillies cupriques, verdets; sulfostéatites, sulfures sulfatés; nitrate de cuivre; sulfate de fer; sels arsenicaux; sulfocarbonate de potassium; sulfure de potassium; sulfure de carbone; acide borique et borates; bisulfites alcalins; tanins; noix vomique; jus de tabac; oxalate de tabac; nicotine; huiles de goudron (créosotes, carbonyles, etc.).

VI. VÉGÉTAUX : Détermination des principes nutritifs; calcul de la valeur nutritive réelle des aliments; analyse des principes immédiats des végétaux; des fourrages ensilés; des tourteaux de graines oléagineuses.

VII. EAUX potables et industrielles.

INDUSTRIES AGRICOLES. — I. AMIDONNERIE : Analyse des grains; amidons; glutens; résidus d'amidonnerie.

II. FÉCULERIE : Analyse de la pomme de terre; féculés; gras; résidus de féculerie; eaux pour féculeries. — III. GLUCOSERIE.

IV. SUCRERIE : Analyse des betteraves à sucre; jus sucrés; mélasses; sucres bruts; pulpes de sucrerie; fourrages mélassés; sucres dénaturés; betteraves séchées; analyse des betteraves porte-graines.

V. DISTILLERIE : Matières premières; analyse du topinambour; des moûts sucrés; des jus fermentés; alcools d'industrie; alcools de dénaturation; vinasses; résidus de distillerie; pulpes; salins.

VI. BRASSERIE : Orbes de brasserie. — Blé; malt; moûts de fermentation; houblons. — Lupulines; eaux de brasserie; résidus de brasserie. — Drèches. — Germes.

VII. SUPERPHOSPHATES : Acide sulfurique; acide phosphorique; analyses des pyrites; cendres de pyrites.

VIII. PRODUITS DIVERS : Cires; gemmes de pins; safrans; fibres textiles; matières tannantes; gélatines; lies et tartres.

IX. TABLES POUR LE CALCUL DES ANALYSES.

ENVOI FRANCO CONTRE UN MANDAT POSTAL

---

# CHIMIE AGRICOLE

## VÉGÉTALE

Par C. ANDRÉ

Professeur à l'Institut national agronomique.

1909, 1 volume in-18 de 568 pages, avec 14 figures

Broché ..... 5 fr. | Cartonné..... 6 fr.

Ce livre trouvera un accueil favorable, non seulement auprès des élèves des écoles d'agriculture, mais aussi après du grand public. L'auteur a voulu faire œuvre « essentiellement élémentaire » ; c'est en effet une œuvre précise et claire. M. ANDRÉ a su y exposer d'une façon exacte, et pourtant suffisamment profonde, les problèmes théoriques que pose l'étude de la chimie végétale.

---

# CHIMIE DU SOL

Par C. ANDRÉ

1912, 1 volume in-18 de 556 pages, avec figures

Broché ..... 5 fr. | Cartonné..... 6 fr.

La *Chimie du sol* est le complément de la *Chimie Végétale*, du même auteur. Ces deux volumes forment un traité élémentaire de chimie agricole essentiellement destiné à l'enseignement.

Il est à peine besoin de faire ressortir l'intérêt de premier ordre qui s'attache à l'étude du sol ; c'est le sol qui nourrit la plante, qui lui fournit l'azote et les éléments généraux capables de concourir à l'édification de ses tissus.

Étant donné une plante, quels sont les éléments que cette plante prend au sol, sous quelle forme ces éléments lui sont-ils présentés, quel est leur degré d'assimilabilité, par quels procédés peut-on modifier le sol en vue de lui faire porter telle récolte déterminée. Tels sont les différents problèmes que M. André aborde successivement.

Le sol n'est pas un milieu purement minéral, une sorte de poussière dénuée de vie dans laquelle les seuls changements qui se manifestent ne sont régis que par les lois de la mécanique chimique. Le sol est peuplé des microbes les plus variés, qui possèdent une influence de premier ordre sur la transformation que subit la matière organique si étroitement liée à la matière minérale.

Il y a quarante ans à peine que cette étude microbiologique du sol a été entreprise de façon méthodique ; mais les résultats qu'elle a fournis sont d'une telle importance que nul agriculteur ne saurait s'en désintéresser car cette vie microbienne retentit d'une manière remarquable sur la fertilité d'une terre.

L'agriculteur n'a pas moins intérêt à connaître les propriétés respectives des différents sols, en vue de connaître la nature des plantes qu'ils pourront porter et le genre d'engrais ou d'amendements qu'il sera bon de leur incorporer pour les améliorer.

L'étude rationnelle de la terre arable comporte donc une multitude de problèmes de la plus haute importance. On les trouvera exposés avec lucidité dans la *Chimie du sol* de M. André.

---

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

# AGRICULTURE GÉNÉRALE

Par P. DIFFLOTH

Ingénieur agronome.

3<sup>e</sup> édition entièrement refondue (7<sup>e</sup> mille)

Chaque volume se vend séparément :

Broché..... 5 fr. | Cartonné..... 6 fr.

Couronné (Médaille d'or) par la Société nationale d'agriculture,  
Adopté par le Ministère de la Guerre pour les Bibliothèques de régiments.

## I. — LE SOL ET LES LABOURS

1910, 1 volume in-18 de 540 pages, avec 205 figures..... 5 fr.

Le volume sur le *Sol et les Labours* expose toutes les questions intéressant le sol : origine, constitution, analyse, préparation et travail. Le sol a été considéré, tout d'abord, dans sa formation et dans son triple rôle de support, de réserve alimentaire et de milieu. L'examen du rôle exercé par le sous-sol sur la production des terres précède l'étude des propriétés physiques et chimiques des sols. Les procédés permettant de se rendre compte de la productivité des terres et de leur valeur foncière font l'objet des chapitres suivants : *Analyse physique, mécanique, géologique, chimique*. L'étude des *Rapports de la plante avec le sol* comprend la discussion des causes déterminantes de la fertilité, de la stérilité des terres et l'énumération de sols convenant aux principales plantes.

Ayant déterminé la valeur foncière des terres et les principales cultures qui pouvaient s'y établir, M. DIFFLOTH décrit les procédés susceptibles de développer leur productivité. Les *défrichements, l'amélioration des sols* précèdent l'examen des *procédés de travail et d'ameublissement des terres, quasi-labours, hersages, roulages, etc.*, et les méthodes d'épandage du *fumier de ferme, des engrais chimiques et des amendements*.

## II. — LES SEMAILLES ET LES RÉCOLTES

1911, 1 volume in-18 de 528 pages, avec 254 figures..... 5 fr.

Les premiers chapitres de ce volume étudient la *germination* et les données nécessaires à la connaissance exacte de la *constitution des semences*, composition, impuretés, germination, commerce général et fraudes.

La pratique des *semailles* constitue le deuxième chapitre, et successivement sont examinées les diverses préparations que subissent les graines.

Vient ensuite l'étude des travaux aratoires, *binage, hersage, roulage, scarifiage, butage, élagage, démariage, destruction des plantes nuisibles, etc.*

L'examen de l'époque favorable, de la technique opératoire, la comparaison des divers procédés de moisson constituent les principaux chapitres de la *récolte des produits du sol*. Les *fourrages, les céréales, les racines, les tubercules* sont étudiés à ces divers points de vue, et le côté pratique, technique, économique de chaque méthode est tour à tour envisagé.

Le chapitre de la *conservation des récoltes* expose comment les foins seront bottelés, mis en meules : les céréales disposées au grenier, pelletées, criblées, triées : les racines et tubercules, placés en silos, en celliers, en caves. L'étude des *assolements* termine le volume.

ENVOI FRANCO CONTRE UN MANDAT POSTAL

Librairie J.-B. BAILLIÈRE et FILS, 49, rue Hautefeuille, Paris

# LA VIE AGRICOLE ET RURALE

Revue hebdomadaire illustrée

Paraissant tous les *Samédis* par numéros de 36 à 52 pages, in-4

## COMITÉ DE DIRECTION :

<b>VIGER</b> Ancien Ministre de l'Agriculture. Sénateur du Loiret.	<b>TISSERAND</b> Membre de l'Institut, Directeur honoraire de l'Agriculture.	<b>CARNOT</b> Membre de l'Institut, Prof. honor. à l'Inst. nat. agron.	<b>MUNTZ</b> Membre de l'Institut, Professeur à l'Inst. nat. agron.
<b>FERNAND DAVID</b> Ministre du Commerce.	<b>MIR</b> M. du Cons. sup. de l'Agriculture Sénateur de l'Aude.	<b>DABAT</b> Directeur général des Eaux et Forêts.	<b>DECKER-DAVID</b> M. du Cons. sup. de l'Agriculture Sénateur du Gers.
<b>REGNARD</b> Directeur de l'Institut national agronomique.		<b>TROUARD RIOLLE</b> Directeur de l'École nationale d'Agriculture de Grignon.	
<b>FERROUILLAT</b> Directeur de l'Éc. nat. <sup>e</sup> d'agric. de Montpellier.	<b>SEGUIN</b> Directeur de l'Éc. nat. <sup>e</sup> d'Agriculture de Rennes.	<b>DE LAPPARENT</b> Inspecteur général de l'Agriculture.	
<b>GROSJEAN</b> Inspecteur général de l'Agriculture.	<b>COMON</b> Inspecteur général de l'Agriculture.	<b>COUANON</b> Inspecteur général de la viticulture.	

## SECRÉTAIRES DE LA RÉDACTION :

<b>DIFFLOTH</b> Ingénieur agronome, Professeur spécial d'Agriculture.	<b>GUÉNAUX</b> Chef de travaux à l'Institut national agronomique.
---	---

Abonnement annuel : France, 12 fr., Étranger, 15 fr.

Le premier numéro de chaque mois est consacré à une branche spéciale de l'Agriculture.

Le troisième numéro de chaque mois est consacré à l'étude d'une grande-région agricole.

## ORDRE DE PUBLICATION DES NUMÉROS SPÉCIAUX

(Prix de chaque : 35 cent. franco).

### 1<sup>er</sup> NUMÉRO DU MOIS

Janv. Laiterie.  
Févr. Engrais.  
Mars. Horticulture.  
Avril. Machines agricoles. Génie rural.  
Mai. Aviculture, Apiculture.  
Juin. Viticulture.  
Juil. Cheval.  
Août. Sylviculture, Pisciculture, Chasse.  
Sept. Géologie. Industries agricoles.  
Oct. Hygiène et alimentation du bétail.  
Nov. Animaux et Plantes nuisibles.  
Déc. Constructions rurales.

### 3<sup>e</sup> NUMÉRO DU MOIS

Janv. Algérie, Tunisie, Corse.  
Févr. Bordelais, Charente.  
Mars. Normandie.  
Avril. Languedoc, Hérault.  
Mai. Nord et Belgique.  
Juin. Vosges, Lorraine, Champagne.  
Juil. Bretagne et Vendée.  
Août. Franche-Comté, Lyonnais, Suisse.  
Sept. Pyrénées, Landes, Gascogne.  
Octob. Bourgogne, Auvergne, Centre.  
Nov. Touraine et Anjou.  
Déc. Provence, Dauphiné, Savoie.

L'ABONNEMENT EST REMBOURSÉ 9 FOIS. 80 Primes à choisir