

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT
WASHINGTON, D. C. 20523
BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET

FOR AID USE ONLY

Batch 70

1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY	Food production and nutrition	AF25-0000-0430
	B. SECONDARY	Soil fertility, fertilizers, and plant nutrition--USA	
2. TITLE AND SUBTITLE Manuel sur l'emploi des engrais			
3. AUTHOR(S) (101) Calif. Fertilizer Assn.			
4. DOCUMENT DATE 1962	5. NUMBER OF PAGES 111p.	6. ARC NUMBER ARC 631.8.C153	
7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS AID/AFR/RTAC			
8. SUPPLEMENTARY NOTES (Sponsoring Organization, Publishers, Availability) (In Collection: techniques am., 117)			
9. ABSTRACT			

10. CONTROL NUMBER PN-AAE-937	11. PRICE OF DOCUMENT
12. DESCRIPTORS Fertilizers Fertilizing Manuals USA	13. PROJECT NUMBER
	14. CONTRACT NUMBER AID/AFR/RTAC
	15. TYPE OF DOCUMENT

**MANUEL
SUR L'EMPLOI
DES ENGRAIS**

Traduction d'un ouvrage en langue anglaise intitulé
WESTERN FERTILIZER HANDBOOK

élaboré et publié par

SOIL IMPROVEMENT COMMITTEE

CALIFORNIA FERTILIZER ASSOCIATION

2222 WATT Ave.

Sacramento, California 95825

Copyright 1953-1961-1965

Pour obtenir des exemplaires de la version originale, s'adresser
directement à la *California Fertilizer Association*.

Prix de l'exemplaire en anglais : \$ 2

La présente version française est une traduction de la quatrième
édition de cet ouvrage publié en 1965. Les trois premières éditions
ont été publiées en 1953, 1954 et 1961

La présente édition en langue française est publiée par le
Regional Technical Aids Center (RTAC)

dénommé

Centre Régional d'Éditions Techniques (CRET)

Paris - France

qui relève du

DEPARTMENT OF STATE

Agency for International Development

Office of Institutional Development (ID)

Washington D.C.

Pour tous renseignements au sujet des publications CRET
s'adresser à la

Mission Américaine de l'A.I.D.

Ambassade des États-Unis d'Amérique

(Capitale du pays d'où émane la demande)

DÉDICACE

Que le présent ouvrage aide l'homme à connaître le sol et à l'utiliser judicieusement.

Le sort de l'agriculture dans l'Ouest des États-Unis dépendra en grande partie de l'irrigation et de l'état de nos sols.

Les problèmes de salinité, d'alcalinité et de qualité de l'eau et l'utilisation rationnelle de celle-ci, les pratiques de gestion des sols et l'amélioration des variétés seront les facteurs prédominants en même temps que l'emploi de techniques améliorées pour l'utilisation des pesticides, des engrais et des produits minéraux à usage agricole.

L'édition anglaise du présent Manuel sur l'Utilisation des Engrais a été publiée par le Comité pour l'amélioration des sols de la California Fertilizer Association. Les premières éditions ont paru en 1953 et 1954 et la première ainsi que la seconde éditions contenaient 168 pages de texte proprement dit, 25 000 exemplaires ont été vendus.

20 000 exemplaires de la troisième édition ont été imprimés en 1961; elle contenait 216 pages de texte révisé et de texte nouveau.

La quatrième édition a été mise à jour. Quatre nouvelles pages ont été insérées dans le chapitre sur les engrais afin de présenter la nouvelle terminologie des plantes à usage alimentaire qui est maintenant utilisée par les agronomes et les auteurs techniques pour exprimer les éléments fertilisants en éléments chimiques. La Californie et beaucoup d'autres États exigent que les besoins des plantes en phosphore et en potasse soient exprimés en oxyde. Le manuel comprend des tableaux d'une utilisation facile qui sont destinés à permettre aux lecteurs de convertir les oxydes en éléments.

Les techniciens de l'industrie ainsi que les fonctionnaires agricoles des comtés, des États et du gouvernement fédéral ont

généreusement usé de leur temps et de leurs connaissances pour la préparation du présent texte. Les auteurs et les éditeurs ont accordé la permission de dresser la liste de leurs ouvrages comme bibliographie de référence.

L'auteur a eu la possibilité de réviser et de coordonner toute la documentation. Il espère que ce manuel servira de guide pour accroître l'efficacité de l'utilisation des terres.

Sans aide de toutes ces personnes, cet ouvrage n'aurait probablement pas vu le jour. Nous tenons à leur rendre hommage.

EARLE J. SHAW,
Rédacteur en chef.

AVANT-PROPOS

La production agricole a augmenté plus rapidement dans la région du Pacifique que dans n'importe quelle autre partie des Etats-Unis, à un taux supérieur à 2,5 % par an. L'augmentation de la production à l'hectare depuis 1940 a été le résultat d'un ensemble de techniques améliorées, comprenant une utilisation accrue des engrais, de l'irrigation, de variétés améliorées, de pesticides efficaces et de nouvelles méthodes de destruction des plantes adventices.

Il n'existe guère de sols, voire même aucun qui puissent produire efficacement et d'une manière continue sans qu'on leur restitue régulièrement les éléments nutritifs des plantes. Rien qu'en Californie, l'utilisation d'engrais commerciaux est passée de quelques tonnes par an, il y a une cinquantaine d'années, à près de 1,5 million de tonnes en 1963. Les économistes agricoles prévoient que la quantité qu'utiliseront les agriculteurs de Californie en 1975 doublera encore.

Comme la superficie totale de nos terres reste fixe, alors que la population augmente, les denrées alimentaires supplémentaires dont nous aurons besoin devront provenir de l'accroissement de la production sur chaque hectare de terre. En Californie où l'accroissement de la population est plus élevé que partout ailleurs dans le pays, les terres sont retirées de la culture à un rythme alarmant. La population de l'Etat augmente tous les ans d'environ 500 000 personnes. Chaque fois que la population augmente de 10 unités dans l'Ouest, 0,4 ha de terre est affectée à des usages non agricoles. Si la conversion se maintient au même taux annuel moyen, la Californie perdra près d'un demi-million d'hectares de terres cultivables d'ici 1975. Au cours des prochaines années il faudra donc intensifier la culture et l'emploi des engrais.

Les cultivateurs et les éleveurs comptent dans une large mesure sur les avis et les conseils des représentants de l'industrie

des engrais quant au type et à la quantité d'engrais à utiliser afin non seulement de pouvoir accroître les rendements, mais aussi d'améliorer leur efficacité; c'est à cette condition qu'ils pourront survivre. Cette situation impose de lourdes responsabilités à l'industrie des engrais ainsi qu'à ses agents et représentants sur le terrain qui doivent fournir aux agriculteurs des recommandations judicieuses et pratiques.

La Division de l'Agronomie de l'Université de Californie qui est la source principale d'informations techniques pour les agriculteurs et l'industrie, est heureuse de pouvoir donner des conseils au « California Fertilizer Association's Soil Improvement Committee » pour la rédaction du présent manuel. A mesure que de nouvelles connaissances techniques et pratiques auront été adaptées aux besoins de l'agriculture de l'Ouest, les agronomes de la division fourniront des renseignements aux agriculteurs ainsi qu'aux entreprises industrielles qui les aident.

M.L. PETERSON,

Doyen de la Faculté d'Agriculture
Directeur de la Station Expérimentale

Université de Californie
Berkeley, Californie

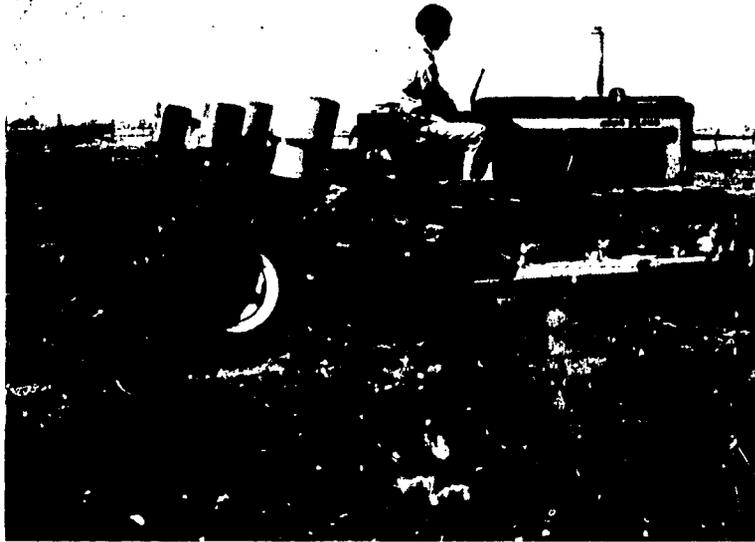


Planche I. — Distributeur d'engrais pour les pâturages, fourni par le Comité d'Amélioration des Sols de la California Fertilizer Association à l'Université de Californie.



Planche I — a. — Fumure de pâturage à Cal-Poly San Luis Obispo.

INTRODUCTION

L'évolution de notre économie agricole.

Peu de personnes dans le secteur non agricole comprennent l'importance essentielle de l'agriculture et son ampleur. Les agriculteurs produisent, vendent, achètent davantage et créent plus d'emplois que n'importe quel autre secteur de notre pays. Quatre sur dix des travailleurs de notre pays sont employés dans les exploitations agricoles ou dans les industries connexes qui transforment et vendent les produits agricoles.

Soixante-dix pour cent de la totalité des produits transformés par les fabricants proviennent de l'agriculture. Chaque fois qu'un consommateur dépense cinq dollars, deux sont consacrés à l'achat de produits d'origine agricole tels que les denrées alimentaires, les vêtements, les boissons et le tabac.

Au cours des dix dernières années, l'efficacité de l'agriculture s'est accrue en même temps que la production individuelle de 84 %. Pendant cette même période, la production par homme-heure dans l'industrie n'a augmenté que de 28 %. Un rapport récent de l'U.S.D.A. (Département de l'Agriculture) indique que la production agricole a tellement augmenté qu'à l'heure actuelle un agriculteur produit assez de denrées alimentaires, de fibres et de tabac pour suffire à lui-même et à trente autres personnes. Par comparaison, ce rapport était de 23 pour 1 en 1961, de 19 pour 1 en 1955, de 15 pour 1 en 1950, de 11 pour 1 en 1940 et de 9,75 pour 1 en 1930.

Alors que la production agricole a augmenté de 24 % par rapport à la période de référence de 1947-49, la consommation intérieure de produits agricoles ne s'est accrue que de 12 %. La surproduction a fait baisser le revenu des agriculteurs. Les frais d'exploitation ont augmenté en raison de la hausse des coûts des

machines agricoles, des matières premières et de la main-d'œuvre. Les prix des engrais, calculés sur la base des éléments nutritifs, ont augmenté beaucoup moins que ceux des autres fournitures agricoles.

Il faut tenir compte pour l'avenir immédiat des répercussions de la situation mondiale sur notre revenu agricole. Les remous provoqués par la « Guerre Froide » constituent une menace pour nos exportations agricoles. Cette situation influe à son tour sur les prix des produits agricoles nationaux.

Les perspectives à long terme sont plus encourageantes. La population des Etats-Unis qui, selon les prévisions, atteindra deux cent trente millions de personnes en 1975, aura besoin de 35 à 45 % de denrées supplémentaires. Les besoins en produits ne pourront être couverts que partiellement par la mise en culture de terres supplémentaires. Le reste devra provenir d'une augmentation de la production sur les terres déjà cultivées.

On estime qu'à l'heure actuelle 25 % au moins de notre production agricole totale peuvent être attribués aux engrais commerciaux. Il n'est pas impossible que dans l'avenir, ils représentent 50 % ou un pourcentage encore plus élevé de notre production végétale totale.

En raison de l'évolution de la structure de notre économie agricole, l'agriculteur de notre époque doit lutter pour soutenir la concurrence dans l'agriculture. Pris individuellement, un agriculteur ne peut avoir qu'une influence insignifiante ou nulle sur le problème de la surproduction ou sur les prix des produits agricoles qui échappent entièrement à son contrôle.

Il s'agit essentiellement pour lui de trouver le moyen d'accroître les rendements unitaires à l'hectare et de réduire les coûts de production. L'accroissement de la fertilité du sol, qui est déjà élevée grâce à l'emploi accru des engrais, contribuera d'une manière importante à atteindre ces deux objectifs.

La tendance est actuellement aux exploitations à surface cultivée plus grande et à la diminution du nombre des unités individuelles. En raison de cette évolution constante, la culture devient une grosse entreprise. Du fait de cette évolution les chefs d'exploitation devront de plus en plus s'adresser à l'industrie pour des conseils et des prestations de service. L'industrie des produits chimiques destinés à l'agriculture devra de plus en plus fournir des renseignements techniques et des spécialistes hautement qualifiés pour rendre les services demandés.

L'utilisation de pesticides d'engrais et de produits minéraux à usage agricole exigera une amélioration des techniques. Les techniciens doivent posséder les qualifications nécessaires pour interpréter les données obtenues par l'analyse du sol et du tissu des plantes. Ils doivent connaître l'état du sol, les processus de croissance des plantes, leurs besoins en éléments nutritifs et minéraux ainsi que les autres pratiques culturales. En outre, ils

devraient connaître les méthodes de lutte contre les insectes, les maladies et les plantes adventices, ainsi que la façon de résoudre les problèmes que pose la tolérance aux résidus des produits chimiques, pour les enseigner aux agriculteurs ou les appliquer eux-mêmes.

Carrières ouvertes aux agriculteurs.

A l'avenir, les entreprises agricoles, les services de recherche, les institutions d'enseignement et les services de vulgarisation auront une tâche difficile. Aux Etats-Unis, l'agriculture et les industries connexes offrent 40 % des possibilités d'emploi. A l'heure actuelle, nos collèges et universités ne forment que 7 000 agronomes qualifiés par an environ. La réalisation des objectifs de production indiqués nécessitera la formation d'au moins 15 000 techniciens par an.

Les carrières agricoles offrent des possibilités plus intéressantes en raison de la pénurie de techniciens hautement qualifiés. Pour être qualifié à tenir un emploi dans ce secteur, le plus important du monde, il est indispensable d'avoir une formation technique. Les principaux domaines d'activité sont la culture, la conduite ou la gestion des exploitations, les services consultatifs ou de vulgarisation, la chimie des sols et l'agronomie, l'horticulture ornementale, et les industries des pesticides, engrais, semences et machines agricoles qui leur sont étroitement associées.

D'autres possibilités existent dans des secteurs connexes tels que la transformation, la commercialisation, la distribution, des produits agricoles, les institutions financières et le journalisme agricole. Pour l'étudiant qui est davantage porté vers la technique, les carrières scientifiques dans la recherche, l'enseignement, les grandes institutions et l'administration offrent des possibilités d'emploi qui sont tout aussi attirantes et rémunératrices que dans un grand nombre d'autres professions.

Entreprises intégrées (Agribusiness).

Cette expression nouvelle est utilisée pour décrire le champ d'activité couvert par l'agriculture moderne. Elle désigne tous ceux qui se livrent à la culture et qui travaillent dans les industries connexes des services agricoles en mettant l'accent sur les rapports réciproques entre les exploitants agricoles proprement dits et les entreprises de produits chimiques, d'équipement et de transport, les institutions financières, les usines de transformation et les groupements de commercialisation.

Les industries chimiques sont particulièrement importantes pour l'agriculture en tant que fournisseurs d'aliments pour les

cultures et les animaux ainsi que de produits pour les protéger contre les maladies et les parasites. C'est pour cette raison qu'une nouvelle expression, entreprise agrochimique, est utilisée pour désigner ce secteur de l'industrie qui fournit les éléments nutritifs, les amendements, les insecticides, les produits pour détruire les acariens, les fongicides et les bactéricides, les herbicides, et les produits chimiques auxiliaires utilisés pour les plantes.

Les relations professionnelles dans l'agriculture.

Au cours des premières années qui ont suivi la création de l'industrie agrochimique, des associations professionnelles ont été créées pour représenter les intérêts collectifs des grands exploitants. Ces associations sont généralement inscrites au registre du commerce comme des organisations à but non lucratif. Elles ont été créées à l'origine pour résoudre des problèmes de législation, réglementation et de transport aux échelons de la localité, de l'Etat, et du pays. Ces associations bénéficient du soutien des membres de l'industrie agrochimique.

The National Plant Food Institute fonctionne à l'échelon national et il a pour tâche de protéger et de défendre les intérêts légitimes de l'industrie des engrais.

En coopération avec vingt-deux associations affiliées de producteurs d'engrais opérant aussi bien à l'échelon de l'Etat qu'à celui de la région, le N.P.F.I. :

Encourage et finance les programmes de recherche et d'enseignement agricole sur la fertilité des sols.

Coopère avec les fonctionnaires chargés du contrôle des engrais en vue de mieux faire comprendre les lois de l'Etat sur les engrais.

Se tient constamment au courant de toutes les mesures législatives relatives à l'industrie des engrais et fait rapport à ses membres intéressés ainsi qu'à ses filiales sur toutes les questions qui se posent dans ce domaine à l'échelon fédéral et d'Etat.

Assure une liaison effective avec tous les groupements importants chargés de l'information.

Participe étroitement avec les autres associations professionnelles de la nation aux activités qui ont trait aux intérêts de l'industrie des engrais.

Entreprenne une analyse régulière des principaux projets de recherche relatifs aux engrais. La *Plant Food Review* de l'Institut est publiée tous les trimestres spécialement à cet effet.

Prépare des publications telles que « *Our Land and its care* » (Notre terre et la façon de l'entretenir) et le *Fertilizer Handbook* (Manuel des engrais) en vue de fournir des renseignements utiles sur les sols et les engrais.

Patronne des conférences nationales et régionales sur les

engrais, en coopération avec l'U.S.D.A., les collèges d'agriculture et l'industrie.

Coopère avec les collèges, les associations professionnelles et les associations de banquiers à la préparation de brochures éducatives destinées à augmenter la productivité agricole.

Dans toute la mesure du possible, l'Institut coopère avec les associations de producteurs d'engrais de la localité ou des Etats à l'exécution de programmes ayant un but commun.

Les associations professionnelles de l'industrie des produits chimiques pour l'agriculture entreprennent des travaux analogues de propagande dans le domaine général des produits chimiques que les agriculteurs utilisent pour combattre les maladies, les parasites et les plantes adventices.

Les organisations qui fournissent des services et dont la liste figure ci-dessous peuvent fournir des renseignements supplémentaires :

- Arizona Agricultural Chemicals Association, 60009 N. 45th Ave., Glendale, Arizona, 85301.
- California Fertilizer Association, 719 St., Sacramento, California 95814.
- Colorado Agricultural Chemicals Association, 423 N. 8th St., Greeley, Colorado 80630.
- Rocky Mountain Plant Food Association, P.O. Box 6615, Denver Colorado 80216.
- Montana Plant Food Association, 2224 Montana Avenue, Billings, Montana 59101.
- National Agricultural Chemicals Association, 1145, 19th St. N.W., Washington, D.C. 20006.
- National Plant Food Institute, 1700 K St. N.W. Washington, D.C. 20006.
- Pacific Northwest Plant Food Association, Henry Building, Portland, Oregon, 97204.
- Western Agricultural Chemicals Association, 2466 Kenwood Ave., San Jose, California 95128.

Dans l'Ouest, ces associations de producteurs d'engrais qui exercent leurs activités à l'échelon de l'Etat et de la région exécutent un programme de formation par l'intermédiaire de comités d'Amélioration du Sol. Leurs objectifs consistent à développer les services d'enseignement et de vulgarisation en leur fournissant des renseignements sur l'amélioration de la fertilité des sols et les méthodes d'exploitation de la terre. Un vaste programme d'enseignement et de recherche porte sur les activités suivantes :

Les renseignements techniques à fournir aux membres de l'industrie sur tous les problèmes relatifs à l'utilisation des engrais et à la fertilité du sol; ils sont également communiqués aux producteurs et consommateurs par l'intermédiaire de divers moyens.

Les informations d'ordre général concernent la rentabilité des fumures, les types d'engrais à utiliser, les méthodes d'application et des directives pour diagnostiquer les besoins des terres.

L'expansion de la recherche est encouragée en vue de fournir aux agriculteurs d'autres renseignements utiles sur la fertilité du sol et les problèmes de nutrition des plantes. Cette activité est soutenue par des subventions et des bourses qui sont accordées aux stations expérimentales et autres organismes de recherche.

L'expansion de l'enseignement agricole est urgente pour les entreprises agricoles. Il faut former dans la jeune génération des agronomes qui soient techniquement compétents pour participer directement à la production ou pour travailler dans d'autres secteurs de cette vaste industrie. Pour attirer les jeunes dans l'agriculture, des bourses et des prêts sont accordés aux étudiants des collèges de l'Etat; dans les collèges du second degré, des concours sur les sujets agricoles sont organisés pour éveiller l'intérêt des élèves. Une documentation générale à caractère éducatif est fournie aux étudiants d'agriculture des écoles secondaires pour les intéresser à la croissance et à la fumure des plantes ainsi qu'aux méthodes d'aménagement du sol.

Des renseignements généraux sont fournis au public par la distribution de manuels, brochures, diapositives et films sur les engrais.

Les écoles professionnelles des comtés transmettent les derniers résultats de la recherche aux négociants, vendeurs, moniteurs des écoles secondaires d'agriculture et vulgarisateurs.

Des conférences annuelles à l'échelon de l'Etat servent à communiquer des renseignements sur la fertilité du sol à l'intention des participants aux réunions de district, qui sont suivies par des fonctionnaires, des membres de l'industrie et des agriculteurs.

Les programmes destinés aux banquiers contribuent dans une large mesure à donner une notion plus précise du rôle que jouent les engrais dans un programme rationnel d'agriculture. Des brochures servent à informer les banquiers et autres organisations de crédit sur les avantages de l'utilisation des engrais et sur les crédits dont ont besoin les producteurs pour financer leurs achats de produits chimiques à usage agricole.

Les projets communautaires qui servent à renseigner les agriculteurs sur les avantages économiques de l'utilisation des engrais consistent en de vastes programmes de démonstrations de fumure dans les exploitations, en réunions sur le terrain et en analyses du sol.

Les programmes généraux de publicité exposent le problème des engrais en communiquant des renseignements nouveaux aux revues agricoles et aux journaux locaux. Les programmes de radio et de télévision servent également à informer le public sur cette question.

SECURITE AGROCHIMIQUE

Les accidents ne se produisent pas spontanément, ils sont provoqués. La sécurité n'est pas une chose naturelle, elle est le résultat d'un programme d'information bien organisé. La direction des entreprises est responsable de la santé et de la sécurité des travailleurs. Alors que l'employeur doit mettre au point et contrôler l'exécution d'une politique de sécurité pour créer un milieu de travail sain et sans danger, les travailleurs sont tenus de leur côté de respecter certaines consignes de sécurité. La sécurité est une affaire de coopération.

Chaque Etat possède un département, une commission ou une division de la sécurité industrielle. Une enquête faite récemment par la presse de l'Ouest a révélé que la plupart des Etats ont élaboré des ordonnances générales sur la sécurité dans l'industrie. Ces ordonnances sont destinées à renseigner les employeurs sur les précautions minimales nécessaires pour assurer aux travailleurs une sécurité raisonnable.

Les employeurs trouveront dans le cadre de ces codes des ordonnances spéciales qui s'appliquent aux opérations agrochimiques en général, soit sur le plan industriel, soit à l'échelon de la ferme. Par exemple, le groupement des producteurs de gaz ammoniac sous pression doit dans certains Etats respecter une ordonnance spéciale sur la sécurité des bouteilles de gaz comprimé sous forte pression. Bien qu'actuellement de nombreux Etats n'aient pas émis d'ordonnance spéciale sur l'agriculture, la California Division of Industrial Safety fait appliquer une série d'ordonnances de sécurité pour les opérations agricoles. En résumé, ces ordonnances couvrent généralement les questions des premiers secours, de l'équipement et des structures agricoles, de la réglementation de l'emploi des pesticides, des engrais et de l'équipement servant à répandre les engrais en solution dans les champs et par avion.

Pesticides.

Il est universellement admis que les produits chimiques sont indispensables pour protéger, transformer et distribuer les produits alimentaires. Les chercheurs sont aussi d'accord sur l'importance des pesticides en tant que moyen d'assurer la production de denrées alimentaires sanitaires. Mal employés, les produits chimiques peuvent présenter des dangers, les pesticides sont des produits toxiques. L'utilisation de ces produits chimiques pose un double problème. Lors de la fabrication et de l'application des pesticides, les employeurs doivent protéger la santé

et la sécurité physique de leurs employés. La Food and Drug Administration (Administration responsable des produits alimentaires et des produits pharmaceutiques) qui relève de Département of Health, Education and Welfare (Ministère de la santé publique et de l'éducation) veille à ce que les produits alimentaires traités avec des pesticides puissent être consommés sans danger. Ce Ministère prescrit les niveaux de tolérance pour les résidus de produits chimiques. Le mot tolérance est utilisé par la Food and Drug Administration pour désigner la quantité de produits chimiques qui, de l'avis des techniciens, peuvent subsister sans danger sur les produits alimentaires.

S'ils sont bien utilisés, ces produits chimiques jouent un rôle capital dans la production végétale. Pour assurer l'efficacité de l'emploi des pesticides et pour obtenir des cultures qui répondent aux prescriptions des lois fédérales, les produits doivent être étiquetés ou être conformes aux règlements des Etats et du gouvernement fédéral. Pour votre sécurité, LISEZ, COMPRENEZ ET SUIVEZ les instructions figurant sur l'étiquette.

Règles relatives aux précautions à prendre pour les produits liquides.

Les produits liquides à base d'azote sont énumérés dans le chapitre X traitant des engrais liquides. L'Interstate Commerce Commission classe l'ammoniac dans la catégorie des gaz comprimés non inflammables. Cependant les vapeurs d'ammoniac forment un mélange combustible lorsqu'elles sont mélangées avec de l'air à raison de 16 à 25 % d'ammoniac en volume. Dans ces limites étroites, il explose s'il y a une étincelle. L'ammoniac est très irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires. Il a une odeur suffocante et âcre, aussi est-il facile à détecter. Cette odeur sert d'avertissement.

Dans le cas des solutions ammoniacales contenant du nitrate d'ammoniac ou de l'urée, les sels se précipitent dans la solution à basse température ou lorsqu'une trop grande quantité d'ammoniac s'est évaporée. Il faut nettoyer à fond tout l'équipement avec de l'eau pour éliminer toutes traces de sels ou d'ammoniac gazeux avant de chauffer au-dessus de 121°.

L'acide sulfurique et l'acide phosphorique détruisent les tissus humains et devraient être manipulés par des personnes qualifiées et compétentes.

Il faut porter des lunettes de travail ou des masques, des gants en caoutchouc synthétique, des vêtements de protection et des souliers spéciaux. En cas de contact avec l'un des produits ci-dessus, il faut immédiatement laver la peau et les yeux avec de l'eau au moins pendant 15 minutes; en outre, pour les yeux, il faut immédiatement consulter un médecin. Il est indispensable

que toute personne qui manipule ces produits soit bien au courant des dangers qu'ils présentent et connaisse les précautions à prendre, ce qu'il faut faire en cas d'urgence et les premières mesures à prendre en cas d'accident.

Les fournisseurs locaux peuvent fournir des bulletins, des ouvrages ou des manuels individuels.

Règles simples à respecter pour l'entreposage.

En l'absence de toute réglementation locale contraire, les règles suivantes pour l'entreposage devraient assurer une sécurité raisonnable :

L'entreposage et l'utilisation des engrais secs est à la fois simple et sans danger si l'on respecte certains principes de base. Tous les types d'engrais secs contenus dans des sacs doivent être conservés dans des bâtiments secs, bien aérés et peuvent être posés sur des palettes en bois ou sur n'importe quel type de plancher propre. S'ils sont posés directement sur le sol, il faut les protéger contre l'humidité au moyen d'une feuille de polyéthylène ou de papier asphalté à plusieurs épaisseurs. Si les engrais sont entreposés sur du béton, il peut se révéler nécessaire de badigeonner la surface du sol avec une matière qui protège contre l'humidité.

Les sacs ne doivent pas être empilés à raison de plus de 6 ou 8 à moins d'être disposés de manière à ce qu'il y ait entre eux un espace de 7,5 cm pour laisser passer l'air. Ce système d'empilage empêche souvent le tassement du produit. Sur les palettes et suivant la dimension utilisée, les sacs sont empilés sur une hauteur de 4 à 6 (20 à 35 sacs par palette) et on empile 4 à 5 palettes les unes sur les autres. L'utilisation de palettes assure l'aération nécessaire (cf. *Planche XXX*).

Règles de sécurité à observer pour la manipulation du nitrate d'ammonium.

Le nitrate d'ammonium servant d'engrais est un composé stable classé par l'Interstate Commerce Commission, la National Fire Protection Association et la Manufacturing Chemists' Association, Inc., comme produit oxydant c'est-à-dire une substance qui produit rapidement de l'oxygène pour stimuler la combustion des matières organiques. Normalement, ce processus se déclenche si au cours d'un incendie, des produits oxydants sont mis en contact avec des matériaux combustibles ou exposés à une chaleur excessive.

Entreposage.

A condition de prendre quelques précautions simples, le nitrate d'ammonium, servant d'engrais peut être entreposé et conservé en

toute sécurité dans les usines productrices, les entrepôts des distributeurs ou à la ferme.

1. Suivre les règles générales d'entreposage mentionnées ci-dessus. Empiler les sacs de nitrate d'ammonium à au moins 75 cm des murs des entrepôts; il faut en outre que les piles soient distantes d'au moins 90 cm des gouttières du toit ou des poutres de soutènement ou des poutres du toit. Limiter la largeur des piles à 38 ou 50 cm. Prévoir un passage ou une allée d'au moins 75 cm de large et maintenir constamment les locaux en parfait état de propreté.

2. Ne jamais empiler les sacs auprès d'une source de chaleur ou de flammes nues qui pourraient mettre le feu aux sacs de papier ou chauffer d'une manière excessive le nitrate d'ammonium.

3. Ne pas emmagasiner avec des produits chimiques tels le diesel-oil, la cire ou tout autre liquide organique inflammable, des acides corrosifs, chlorates, permanganates, des métaux finement divisés, du soufre ou des explosifs.

4. Eliminer ou obturer tous les drains du plancher dans la zone où sont conservés les sacs afin d'éviter que du nitrate humide ne soit entraîné dans les égouts en raison des dangers d'accumulation des gaz et d'explosion.

5. Balayer et évacuer rapidement le produit répandu à terre. On peut sauver un sac percé contenant du nitrate d'ammonium non contaminé en le plaçant à l'intérieur d'un nouveau sac propre que l'on ferme soigneusement.

6. Ne pas fumer.

7. Les hangars doivent être d'un type de construction disposant d'une ventilation suffisante ou d'un système automatique de ventilation en cas d'incendie. Il est important d'assurer une aération rapide en cas d'incendie pour empêcher l'accumulation des gaz et une augmentation de pression.

8. En cas d'incendie, projeter en abondance de l'eau pour éteindre les flammes, abaisser la température du produit qui brûle et réduire le dégagement d'oxygène. *Ne pas employer* de la vapeur, des produits chimiques secs ou des gaz inertes pour éteindre l'incendie.

Propriétés du nitrate d'ammonium.

A la suite de plusieurs accidents malheureux, un grand nombre d'articles mal informés ont été publiés au sujet de ce produit. Le nitrate d'ammonium devient actif lorsqu'il est mélangé avec des substances organiques (composés du carbone). Il n'est pas classé lui-même comme un explosif. Lorsqu'il est mélangé avec du diesel-oil et d'autres ingrédients organiques qui servent de sensibilisants et qu'il est amorcé par un détonateur, il sert comme

explosif et il est classé par l'I.C.C. sous la dénomination nitro-carbonate. Ce mélange n'a plus les propriétés de nitrate d'ammoniaque utilisé comme engrais et il ne doit pas être dénommé ou traité comme tel. C'est ce type de composé qui a sauté lors de l'explosion du camion de Roseburg dans l'Oregon et il avait été amorcé par de la dynamite qui faisait également partie du chargement du camion.

Avant 1947, le nitrate d'ammonium était enduit d'une matière organique. C'est ce type de produit qui a été responsable des incendies et des explosions de Texas City. Le produit enduit de paraffine était conservé dans une cale dont le chargement a pris feu. Par erreur, les cales ont été obturées hermétiquement afin d'essayer d'étouffer le feu puis on a injecté de la vapeur surchauffée dans la zone fermée. Avec l'augmentation de la température et de la pression, le nitrate d'ammoniaque s'est décomposé. Des gaz se sont formés, ont pris feu, et ont provoqué l'explosion de la matière enduite de paraffine. On peut se demander si l'explosion aurait eu lieu si la cale avait été bien aérée pour permettre l'échappement des gaz et si l'on avait abaissé la température du produit en feu en l'inondant d'eau froide pour réduire le dégagement d'oxygène. Plusieurs wagons de chemin de fer chargés de nitrate d'ammonium qui se trouvaient à côté du navire n'ont pas explosé.

Depuis cette tragédie, tous les engrais à base de nitrate d'ammonium sont enduits de substances inorganiques qui ne peuvent pas le sensibiliser. Les matériaux utilisés comme enduit sont la terre d'infusoires et divers autres types d'argile. Le produit vêtu d'un enduit non organique est d'un usage plus sûr.

Dans un grand nombre de cas où du nitrate d'ammonium destiné à servir d'engrais a été transporté dans des wagons de chemin de fer ou à bord de camions qui ont brûlé, il n'y a pas eu d'explosion. La N.F.P.A. a déclaré que d'après une étude sur les propriétés du nitrate d'ammonium et à la suite d'essais, on a conclu qu'en cas d'incendie ce produit ne peut exploser que s'il est soumis en même temps à une pression élevée et à une forte température. Une ventilation suffisante assure l'évacuation des gaz à mesure qu'ils se forment.

Produits ignifuges.

Un grand nombre de produits utilisés comme engrais sont ignifuges. Ces produits ont un double emploi dans l'agriculture soit comme engrais pour accroître la production végétale, soit en solution sous forme de pulvérisation pour empêcher ou retarder les feux de broussaille ou d'herbes sèches ainsi que les incendies de forêts. Les matériaux suivants sont vendus dans le commerce pour

ignifuger les produits inflammables, la végétation qui pousse sur les bas-côtés des routes, le papier, le tissu et le bois :

- | | |
|--|---|
| 1. Sulfate d'ammoniaque | 5. Phosphate diammoniacal |
| 2. Phosphate d'ammoniaque | 6. Urée, surtout en combinaison avec du borax, de l'acide borique et du chlorure de manganèse |
| 3. Mélange de sulfate et de phosphate d'ammoniaque | 7. Borax. |
| 4. Phosphate monoammoniacal | |

Avant d'essayer de se servir de ces composés pour le traitement de produits inflammables ou en pulvérisation pour retarder l'incendie, il faut demander des conseils à des spécialistes quant aux formules et aux méthodes d'application.

Utilisation des engrais à des fins autres que la production agricole.

Bien que le présent manuel ait été rédigé dans l'intérêt général des producteurs agricoles, les informations de base ainsi que l'introduction et la table des matières seront utiles au jardinier amateur, aux horticulteurs qui cultivent des plantes ornementales ainsi qu'aux architectes paysagistes et à ceux qui sont chargés d'entretenir les pelouses.

Les fournisseurs locaux, les vulgarisateurs agricoles ou les bureaux des agents de comtés peuvent généralement fournir des renseignements sur les engrais et les pesticides. On peut aussi se procurer une liste d'ouvrages sur la question en s'adressant à la station agricole expérimentale la plus proche.



Les charmes de la nature, les collines et les bois, les vallons ondulants et les flots écumants appartiennent à tous sans distinction. (Robert Burns.)

CHAPITRE PREMIER

AGRICULTURE ET ATTITUDES DANS L'OUEST DES ETATS-UNIS

La partie Ouest de notre pays est extrêmement vaste; elle possède un grand nombre de terres agricoles, de montagnes et de déserts. De vastes étendues sont exploitées par les méthodes de l'arido-culture et la culture irriguée est pratiquée sur des millions d'hectares aux moyens de systèmes de distribution d'eau par gravité ou à partir de puits de pompage. La majeure partie de notre agriculture est pratiquée sur de vastes étendues où il y a abondance de terres et d'eau; nous pensions en outre que le sol possède suffisamment d'éléments fertilisants pour pouvoir servir pendant plusieurs milliers d'années. Il y a 50 ans, il était question dans d'autres parties du monde, d'utiliser des produits chimiques et des déchets organiques pour accroître les rendements, mais le moins qu'on puisse dire c'est que sur nos sols « riches », cette idée n'était pas populaire. Pendant un grand nombre d'années la question de la fertilité du sol ou de l'alimentation des plantes provoquait une indifférence générale chez nos agriculteurs de l'Ouest.

La fertilité des sols dans l'Ouest.

Les travaux monumentaux de Hilgard dans le domaine de la recherche pédologique au cours des premières années qui ont suivi la création de l'Université de Californie ont servi à attirer l'attention sur des problèmes de fertilité du sol et à prouver qu'il y avait une grave pénurie d'azote et une absence générale de matières

organiques qui sont caractéristiques des sols arides. Notre agriculture se perfectionne et devient plus intensive, aussi acquiert-on constamment de nouvelles connaissances au sujet de la fertilité de nos sols et des problèmes de nutrition qui se posent à nos cultures. La nécessité de fournir du phosphore, de la potasse, et un certain nombre d'éléments secondaires et d'oligo-éléments est apparue. Bien que dans l'Ouest il y ait de nombreuses régions à sols acides, la majeure partie des sols sont cependant neutres ou basiques.

En fait, certains sols sont basiques au point de limiter gravement la production végétale. Pour cette raison, l'utilisation d'amendements comme le soufre et le gypse s'est accrue dans des proportions importantes. Dans ces zones à forte alcalinité, les engrais ne sont généralement pas efficaces tant que des mesures n'ont pas été prises pour réduire la concentration en sel ou en « alcali ».

Origine des informations sur les engrais.

L'absence d'information sur de nombreux aspects de l'utilisation des engrais dans notre agriculture de l'Ouest a davantage contribué à freiner la production dans cette région que dans le reste du pays. La tâche qui consistait à déceler les sols sur lesquels il fallait utiliser les divers éléments fertilisants et à déterminer la manière de les utiliser pour accroître la productivité de l'agriculture a semblé interminable, voire sans espoir étant donné l'extrême diversification des cultures dans notre pays, facteur auquel vient s'ajouter l'existence d'un grand nombre de types de sols différents. Il semble cependant que maintenant beaucoup plus de personnes s'intéressent à ces problèmes dans l'Ouest et cherchent à les résoudre, en même temps que des renseignements sur les engrais qui intéressent directement le producteur lui sont fournis à un rythme beaucoup plus rapide. Il est inconcevable que la demande d'engrais reste faible, alors que nos sols sont cultivés sans interruption et que l'on dispose de renseignements plus nombreux fondés sur l'expérience locale.

Facteurs qui conditionnent la fertilité du sol (Productivité).

Nous pourrions penser que l'expression « fertilité du sol » ne s'applique qu'aux éléments nutritifs des plantes qui sont présents dans le sol. Cette définition est trop étroite. La fertilité du sol est un facteur beaucoup plus vaste que cela. Il embrasse non seulement la composition chimique et les ressources en éléments nutritifs mais aussi la disposition et les caractéristiques physiques des particules de sol, la teneur en humidité, la teneur en matière

organique et les organismes qui vivent dans celle-ci, les bactéries du sol, les champignons et même des formes plus élevées de vie. On voit ainsi que la fertilité du sol englobe un très grand nombre de problèmes variés. Les engrais ne sont que l'un des facteurs du succès dans la culture du sol et leur efficacité peut être réduite à néant si l'on néglige de régulariser le régime des eaux, de corriger l'acidité, la salinité ou l'alcalinité, de modifier la structure du sol et de veiller à son aération ou d'influencer favorablement les bactéries, champignons et autres populations biologiques du sol.

L'alimentation des plantes.

Lorsque nous passons du premier stade de notre agriculture aux stades ultérieurs, les difficultés qui surviennent sont multipliées et deviennent un peu plus complexes. Les problèmes de fertilité du sol ne font pas exception à cette règle dans la mesure où ils se rapportent à l'utilisation des engrais. Avec les progrès de la culture irriguée dans l'Ouest, les problèmes de salinité et d'alcalinité ont pris une importance de plus en plus grande. Nous pouvons dire maintenant que l'un des principaux problèmes qui se pose à nous en matière de fertilité du sol consiste à remédier à cette situation..

Alors que les problèmes que pose la fourniture d'azote à nos sols ont revêtu une importance capitale dès le début et en ont toujours, d'autres sont apparus. Nous constatons une pénurie de phosphore assimilable dans un grand nombre de nos sols et cette situation peut être maintenant considérée comme particulièrement grave. En tant qu'élément nutritif nécessaire aux diverses cultures, le phosphore arrive immédiatement après l'azote dans l'Ouest.

Il y a bien des années, on avait reconnu quelques cas de carence en potassium en Californie et autres Etats de l'Ouest, mais la question des engrais potassiques ne retenait guère l'attention de nos agriculteurs à cette époque. Actuellement, l'apport de potassium à nos cultures revêt une beaucoup plus grande importance car on a constaté qu'en de nombreuses régions de l'Ouest la pénurie de potassium limitait le rendement et la qualité des cultures. Dans nos vergers d'arbres à feuilles caduques on a constaté que la carence en potassium nuisait aux pêchers, poiriers et amandiers dans de nombreuses régions et que des applications destinées à pallier cette situation ont donné de très bons résultats. On a récemment constaté une amélioration remarquable de la dimension des fruits à la suite de l'apport de potassium à des arbres fruitiers qui en manquaient. L'emploi de cet élément nutritif est maintenant recommandé sur d'autres cultures de l'Ouest où l'on a constaté une carence en potassium, notamment sur les vignes, le coton et la pomme de terre.

On sait depuis une quarantaine d'années qu'une insuffisance de soufre limitait la production végétale dans certaines régions de l'Ouest. Ces dernières années, on a pu mieux définir l'importance de ces zones déficitaires et il en a résulté une utilisation beaucoup plus poussée de produits à base de soufre pour l'alimentation des plantes. Les cultures de légumineuses comme la luzerne et le trèfle réagissent tout particulièrement bien à ces applications sur les sols déficitaires.

Depuis un grand nombre d'années on a constaté qu'une grande partie de l'Ouest manquait de zinc et cette situation reste un grave problème malgré l'emploi accru de pulvérisations de zinc et d'applications sur le sol. Après avoir été décelée dans les plantations d'agrumes, la carence en zinc est maintenant commune dans les vergers d'arbres à feuilles caduques ainsi que dans les vignobles. Plus récemment on a constaté qu'elle atteignait des cultures annuelles en particulier le maïs, les haricots et les pommes de terre. Il est encore difficile de fournir du zinc à certaines cultures et cette question fait l'objet de recherches constantes.

Depuis de nombreuses années, nos vergers manquent de fer. Récemment on a utilisé des quantités accrues de composés à base de fer sur le sorgho et le riz. L'excès de bore qui naguère semblait être la principale difficulté que posait cet oligo-élément se double maintenant du problème de la carence en bore. Après avoir tout d'abord constaté que le bore remédiait de façon spectaculaire à la malformation des olives et au dépérissement des oliviers, on s'est aperçu dans certaines régions que les vignes, les poiriers et quelques-unes de nos cultures de légumes manquaient également de cet élément. De même, le manque de manganèse et de magnésium est déjà évident et bien que n'ayant pas encore une grande importance, il retiendra probablement bientôt l'attention d'un nombre croissant de cultivateurs. Le manque de cuivre et de molybdène n'a été constaté que sur un petit nombre de cultures.

Ainsi, nous voyons qu'avec les années, l'intensification de la culture soulève davantage de problèmes et accroît la nécessité d'intensifier les recherches pour les résoudre. Les résultats de ces recherches modifient progressivement la fertilité du sol et obligent à recourir en même temps à de nouveaux engrais. Nous sommes entrés maintenant dans un cycle agricole plus évolué et il nous faut employer des engrais qui fournissent une alimentation plus complète à nos cultures.

Comment diagnostiquer les besoins en engrais.

Nous disposons maintenant de plusieurs méthodes de diagnostic qui nous permettent de remédier à certaines déficiences nutritives des plantes et à formuler des recommandations plus efficaces sur l'emploi des engrais. A mesure que nous acquérons l'expé-

rience de ces méthodes, il se peut qu'elles puissent servir de base à des recommandations relatives à l'emploi des engrais, et compléter, en partie, les essais de fertilisation en plein champ qui sont laborieux et que le producteur n'a pas toujours les moyens de pousser suffisamment à fond pour qu'ils fournissent des renseignements utiles.

L'un des moyens de diagnostic consiste à déceler les symptômes de carence ou d'excès sur la plante elle-même. Nous pourrions dire ainsi que la plante présente des symptômes de *faim* ou de *saturation* qui nous renseigneront sur la raison de leur dépérissement. Par exemple, il existe des symptômes assez sûrs sur les feuilles qui décèlent la pénurie de zinc chez les agrumes, le manque de potassium chez les pruniers et les amandiers, le manque de manganèse chez les pêchers, une déficience de fer chez les poiriers, etc.

L'analyse des sols est un moyen qui a été largement utilisé pour formuler des recommandations sur les engrais. Il existe un grand nombre de types d'analyses de sols comme celles qui servent à déterminer l'importance de la salinité ou de l'alcalinité, celles qui font appel à des cultures en pots ou en bacs en vue d'extraire des principes fertilisants des échantillons de sols; il y a aussi les analyses qui extraient les principes fertilisants des sols par divers moyens chimiques et qui mesurent leur teneur.

En fait, la culture qui pousse normalement dans son milieu particulier constitue le meilleur étalon pour mesurer les ressources du sol en principes fertilisants. En conséquence, nous en sommes venus à l'étude de la composition chimique du tissu de la plante en vue de diagnostiquer les besoins de la plante en éléments nutritifs. Très souvent, on utilise le tissu des feuilles pour ces analyses chimiques et des méthodes de prélèvement d'échantillon de feuilles ont été mises au point pour un grand nombre de plantes. L'emploi de l'analyse des feuilles pour faciliter le diagnostic des besoins en engrais a fait des progrès remarquables ces dernières années et il semble bien qu'elle permettra de déterminer les taux de nutrition chez les plantes. De même que les analyses du sol, l'analyse du tissu des plantes et des feuilles nous donne des renseignements supplémentaires sur les problèmes de nutrition et ensemble ils constituent la base de la meilleure solution possible aux problèmes particuliers de chaque cultivateur.

CHAPITRE II

LE SOL

Qu'est-ce que le sol?

Hilgard, le père de la pédologie en Californie a donné la définition suivante du sol : « Le sol est un matériau plus ou moins friable dans lequel les plantes peuvent s'accrocher et se nourrir au moyen de leurs racines et trouver tout ce qu'il leur faut pour croître ¹. »

Aux fins du présent manuel, le sol est considéré d'après sa composition et ses rapports avec la production végétale. Les sols agricoles sont composés d'un grand nombre d'éléments, mais les plus importants sont les suivants :

1. Les particules de sol : Les fractions minérales désagrégées des roches résiduelles ou transportées constituent les sols minéraux.

2. Les matières organiques : Il s'agit des restes décomposés des plantes et des animaux. La plupart des sols de l'Ouest contiennent moins de 2 % de matières organiques. Ceci est dû à une faible humidité et à l'absence de végétation.

3. Les micro-organismes : Ce sont les bactéries, les champignons, les moisissures, les plantes microscopiques (algues) et les animaux (protozoaires), ainsi que les vers, etc.

4. L'atmosphère du sol : Les composants les plus importants sont le gaz carbonique et l'oxygène.

5. L'humidité.

6. Les éléments fertilisants des plantes : On les trouve généralement aussi bien dans les fractions minérales que dans les fractions organiques du sol.

Origine des sols - leur genèse.

Certains sols qui proviennent de marais ou de tourbières peuvent contenir, en volume, autant, voire davantage, de matières

organiques que de matières minérales. Ces sols sont classés comme sols organiques qui sont appelés sols tourbeux ou sols organiques.

La matière qui recouvre la roche profonde à la surface de la terre est appelée Régolithe². C'est une masse consolidée dont l'épaisseur peut varier de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres. Ce que nous appelons sol est constitué par les quelques centimètres ou mètres de la couche supérieure de régolithe.

La partie supérieure de la régolithe est en contact constant avec l'atmosphère et elle est donc sujette à l'altération. L'action de l'eau, y compris le gel et le dégel, de l'oxygène, du gaz carbonique et des acides contribue à cette altération. Elle provoque des changements chimiques qui accompagnent les modifications physiques (diminution de la dimension des particules) des matériaux originels.

Ce n'est que lorsque les micro-organismes et les plantes se sont accrochés dans cette matière altérée que commence à se former le véritable sol. L'addition de matières végétales et animales (matières organiques) aux fractions minérales des roches altérées et la décomposition ultérieure de la masse organique provoquent la véritable formation du sol. Le sol constitue la fraction supérieure désagrégée et biologiquement transformée de la régolithe. Cf. « LA REGOLITHE » (fig. 1).

Les sols sont transportés principalement par des moyens tels que les glaciers, l'eau et le vent.

1. Sols glaciaires — ce sont ceux qui sont transportés par les glaciers.
2. Sols alluviaux — ce sont les sols transportés par l'eau.
3. Sols éoliens — ce sont les sols transportés par le vent.

Le profil du sol.

Lorsque le sol qui s'est formé sur la couche supérieure de la régolithe vieillit, d'autres changements physiques interviennent. L'altération par les intempéries, l'oxydation, la carbonatation, l'hydrolyse et la dissolution, ainsi que l'action des matières organiques en décomposition aboutissent à la formation de particules de sol plus petites. Avec les années, l'action de l'eau provenant des pluies ou des inondations entraîne les particules très fines (argile) à travers la masse du sol. Le mouvement descendant de ces particules et leur dépôt dans certaines zones provoque la formation d'un profil de sol. En outre, lorsque la proportion de particules fines augmente dans le sol, la capacité de rétention de l'eau par le sol s'accroît également.

Pour plus de simplicité et d'uniformité dans les définitions, le profil du sol est divisé en horizons. La partie supérieure du profil du sol contient généralement davantage d'humus et elle est souvent d'une couleur plus sombre en raison de cette accumulation. Cette partie est généralement appelée l'horizon « A ». Au-dessous

de ce sol superficiel, se trouve une couche de sol dont la texture est généralement plus fine mais qui ne contient qu'une quantité faible ou nulle de matières organiques. Cette partie du sol peut avoir plusieurs mètres d'épaisseur et c'est ce qu'on appelle l'horizon « B ».

Enfin, lorsque les matériaux altérés de l'horizon « B » s'incorporent aux matériaux originels du sol, nous nous trouvons dans la zone appelée l'horizon « C » Cf. *Le profil du sol* (fig. 2).

Les sols qui se sont formés sur place sont appelés sols résiduels ou primaires. Les matériaux qui ont été entraînés par l'eau et déposés sous forme de cônes de défection et d'aires d'inondation, sont appelés sols transportés ou sols de seconde formation (Cf. fig. 3).

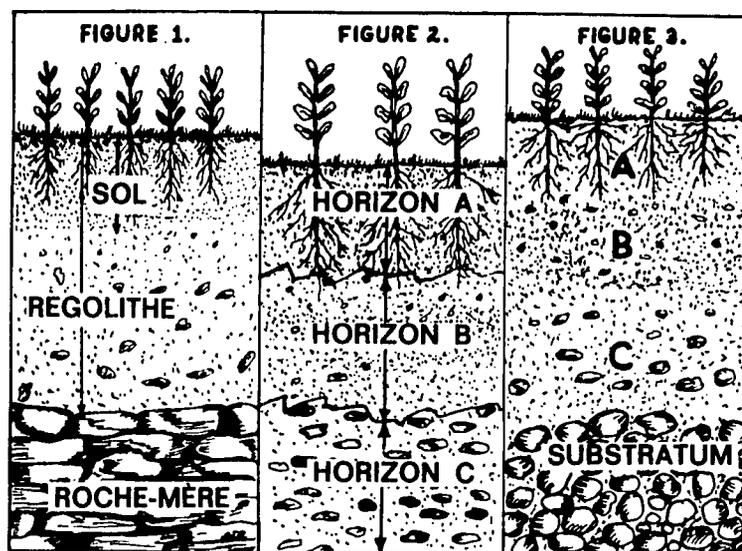


Fig. 1. — La régolithe. Fig. 2. — Le profil du sol. Fig. 3. — Sols secondaires.

Caractéristiques de la texture et de la composition des sols.

Nous avons souvent entendu les agriculteurs dire « ce sol est lourd » ou bien « ce sol est léger », ou encore ce sol est « briqué ». Ils se réfèrent par là aux caractéristiques de la texture des sols.

Ce qui distingue les caractéristiques de la texture d'un sol minéral est sa composition en pourcentage de sable, limon ou argile. Suivant la quantité de sable, limon et argile, on distingue les sols sableux, les sols limoneux de limon, de limon argilo-sableux, de limon argileux et d'argile. La différence essentielle entre le sable, le limon et l'argile réside dans la dimension des particules.

Les sols limoneux, limon argilo-sableux et sablo-limono-argi-

leux sont les meilleurs et les sols de sable grossier, limon argilo-limoneux et d'argile sont les moins intéressants. La capacité de rétention d'eau du sol dépend principalement de la superficie totale des particules.

Catégorie de textures et définitions³.

Les dénominations des différentes catégories de textures de base des sols actuellement utilisées sont définies d'après la *répartition par dimension*. L'utilisation de l'analyse mécanique en laboratoire permet d'employer deux méthodes pour indiquer les résultats des analyses mécaniques de sols ainsi que l'indique un rapport de l'U.S.D.A. Les limites de dimensions des constituants granulométriques fixées par ces deux systèmes d'analyses sont indiquées dans le tableau suivant³.

Système du département de l'agriculture des U.S.A.		Système international	
Nom de l'élément	Diamètre (limites) millimètres	Fraction	Diamètre (limites) millimètres
Sable très grossier ¹	2,0 — 1,0	I	2,0 — 0,2
Sable grossier	1,0 — 0,5		
Sable moyen	0,5 — 0,25	II	0,20 — 0,02
Sable fin	0,25 — 0,10		
Sable très fin	0,10 — 0,05	III	0,02 — 0,002
Limon	0,05 — 0,002		
Argile	en dessous de 0,002	IV	en-dessous de 0,002

(1) Avant 1947, cet élément était appelé gravillon. On emploie maintenant cette dénomination pour les fragments grossiers de 2 mm à 2,5 mm de diamètre.

Classement général des catégories de textures du sol³.

Termes généraux	Dénomination des catégories de base	
Sols sableux. — Sols à texture grossière	Sable. Sable limoneux.	
Sols limoneux	Sols à texture moyennement grossière	Sable limono-argileux. Sable limono-argileux fin.
	Sols à texture moyenne	Limon très fin. Limon argilo-sableux. Limon.
	Sols à texture moyennement fine	Limon argileux. Argile sablo-limoneuse. Argile limoneuse.
Sols argileux. — Sols à texture fine	Argile sableuse. Argile limoneuse. Argile commune	

Définitions des diverses catégories de structure du sol suivant la répartition par dimension des particules minérales de moins de 2 millimètres de diamètre.

TABLEAU I

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE,
NOMS ET CATEGORIES DE STRUCTURE DE SOLS ET LEURS DEFINITIONS

Exprimé en pourcentage de la teneur en divers éléments du sol

Catégorie de structure	Proportion des éléments de la texture du sol		
	Sable	Limons	Argile
Sables	85 ou davantage	Le pourcentage de limon plus 1,5 fois le pourcentage d'argile ne doit pas dépasser 15.	
Sables limoneux : Limite supérieure	85 à 90	Le pourcentage de limon plus 1,5 fois le pourcentage d'argile ne doit pas dépasser 15.	
Limite inférieure	70 à 85	Le pourcentage de limon plus 2 fois le pourcentage d'argile ne doit pas dépasser 30.	
Sables limono-argileux	52 ou davantage ou	Le pourcentage de limon plus 2 fois le pourcentage d'argile dépasse 30 et 20 % d'argile ou moins	
Terre franche	entre 43 et 52	ou moins de 7 % d'argile ou 50 % de limon	
Limons argilo-sableux	Moins de 52	28 à 50 50 ou davantage ou	7 à 27 12 à 27 ou
Limons.		50 à 80 80 ou davantage	moins de 12 moins de 12
Argile sablo-limoneuse	45 ou davantage	Moins de 28	20 à 35
Limons argileux	20 à 45		27 à 40
Limons argilo-limoneux	Moins de 20		27 à 40
Argile sableuse	45 ou davantage		35 ou davantage
Argile limoneuse		40 ou davantage	40 ou davantage
Argile	Moins de 45	Moins de 40	40 ou davantage

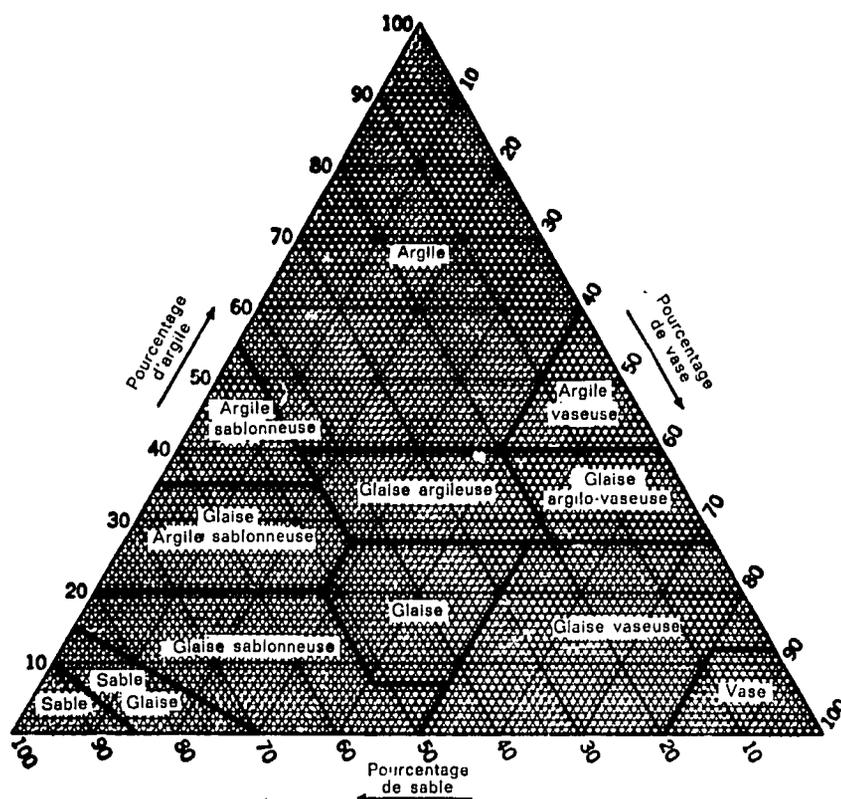


Figure 4. — Graphique indiquant les pourcentages d'argile (inférieurs à 0,002 mm), de limon (0,002 à 0,005 mm) et de sable (0,05 à 2,0 mm) dans les classes fondamentales de texture du sol.

Evaluation des sols⁴.

La capacité potentielle de production est probablement tout aussi importante que les caractéristiques du sol. En Californie, le Storie Index établit un classement et une évaluation des terres. Ceci exprime le degré auquel un sol peut présenter des conditions favorables à la production végétale. Cette méthode établit trois facteurs : (A) le caractère du profil du sol; (B) la texture du sol; et (C) la pente. Récemment un quatrième facteur (X) a été ajouté pour évaluer l'état du drainage, la teneur en alcali ou en sel, la teneur générale en éléments fertilisants, l'acidité, l'érosion et le microrelief (régularité des sols).

Structure du sol.

L'un des principaux problèmes qui se posent actuellement aux agriculteurs est celui du maintien de la production du sol pendant une longue durée. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne les cultures irriguées de l'Ouest.

Les sols vierges ont souvent une structure granuleuse favo-

rable dans des conditions naturelles, structure qui est due en partie à la croissance et à la décomposition de la végétation naturelle ainsi qu'à d'autres processus naturels des organismes du sol (bactéries, champignons et vers de terre).

La qualité de l'eau a une influence importante sur la structure des sols. Les types de sels solubles qui sont naturellement présents dans un sol ou qui lui sont ajoutés par l'eau d'irrigation influencent la dimension des agrégats. En l'occurrence, le rapport entre le calcium, le magnésium et le sodium, ainsi que leur influence sur la nature et la composition des particules du sol sont particulièrement importants.

On sait que les taux d'infiltration de l'eau sont directement liés à la culture. La fréquence des façons culturales est un facteur qui agit directement en sens contraire. La seconde façon culturale après l'humidification d'un sol peut être plus destructrice que la première. Le paillage vertical qui en est encore à son stade expérimental, pourrait être une solution à certains problèmes de tassement et d'infiltration de l'eau.

Ce système consiste à placer des résidus hachés de plantes et autres matières organiques dans la fente pratiquée par la soussoleur. Ce système laisse des bandes verticales de matières organiques réparties dans le sol, de sorte que l'air, l'eau et les racines des plantes peuvent se déplacer librement à travers le sol fendu.

La détérioration de la structure du sol due au fait qu'il a été remué ou travaillé avec des outils et le tassement du sol dû au passage des tracteurs sur le sol à divers intervalles après l'irrigation sont liés à ce problème.

Sur les prairies de long parcours ou sur les pâturages irrigués, il est important d'éviter le tassement du sol. Il ne faut pas mettre au pâturage les animaux sur un sol mouillé, car ils risquent de le tasser et de réduire la pénétration de l'eau.

En prenant soin de l'état d'ameublissement, les agriculteurs se préoccupent de l'humidité du sol, de son aération, de sa teneur en matières organiques (humus), du niveau de fertilité et de la structure du sol (état d'ameublement ou perméabilité à la pénétration des racines), de la population biologique active (organismes du sol), de la lutte contre l'érosion, des problèmes de drainage, de la salinité, de l'alcalinité et de l'acidité du sol.

On peut dire que la structure du sol est la clef du rendement. Si le sol a un état d'ameublissement insuffisant, sa fertilité et son humidité s'en trouvent amoindries.

L'expression structure du sol n'est pas définie avec netteté, mais elle est utilisée pour indiquer la disposition des particules du sol et l'agglomération des petites particules pour en former de plus grosses. La meilleure façon de mesurer la structure du sol est d'évaluer les résultats des effets produits sur la perméabi-

lité, la tension de l'eau du sol, la diffusion des gaz dans le sol et la pénétrabilité. La structure du sol n'est pas constante, mais elle change avec le temps et avec les autres variables énumérées.

Les fines particules d'argile ou colloïdes d'une dimension microscopique ont moins de 0,002 millimètre de diamètre, soit 1/200 environ de la dimension du point qui est à la fin de cette phrase. Il n'est pas trop difficile de comprendre que ces particules fines pourraient être imperméables à l'eau et même aux racines si elles n'étaient pas groupées ou agrégées naturellement afin de donner au sol une structure meuble ou granuleuse favorable. Nous avons tous constaté à quel point il est difficile de faire passer de l'eau à travers une fine couche de poussière sur la surface du sol.

Les matières organiques qui sont fournies au sol ou bien les résidus des cultures contribuent à en améliorer la structure. Il se forme des résines lors de la décomposition des résidus végétaux, du fumier et autres matières organiques. Ces substances agissent comme de la colle ou du ciment et lient ensemble les particules en grains stables.

Ces gommes naturelles se décomposent rapidement sous l'action des bactéries, de l'humidité et autres processus naturels. Il faut donc ajouter des matières organiques au sol pour en maintenir la structure.

Les amendements synthétiques du sol sont des résines solubles à l'eau qui sont tout à fait analogues aux résines ou gommes naturelles produites par la décomposition des matières organiques. Ces matières, comme l'humus, font agréger les particules de sol en le rendant plus friable. Bien que leur action soit très utile avec les limons et argiles très fins, elles ne remplacent pas les matières organiques. Elles ne fournissent ni élément fertilisant ni nourriture aux organismes du sol et elles ne servent pas de réservoir d'éléments fertilisants. La percolation de l'eau, le drainage et l'aération ont été améliorés, mais non pas la capacité de rétention en eau du sol. Sur certains sols, l'application de ces résines peut empêcher la formation de croûtes ou l'érosion et elles ont probablement une action favorable sur les couches de semis préparées.

Les problèmes d'alcalinité et le drainage des sols irrigués sont étroitement liés à la structure du sol. Les produits minéraux à usage agricole comme le gypse et le soufre contribuent accessoirement à la solution du problème et peuvent améliorer l'agrégation des particules du sol.

Façons culturales.

Les façons culturales ont principalement pour objet de détruire les mauvaises herbes. Elles peuvent aussi servir aux usages suivants :

1. Préparer la couche des semis.
2. Améliorer l'état du sol dans les vergers pour des opérations comme l'irrigation, les pulvérisations et la récolte.
3. Incorporer au sol des cultures de couverture et du fumier.
4. Briser les croûtes.
5. Détruire certains parasites.

Les recherches qui ont été faites récemment ont prouvé l'inanité de l'ancien système de façons culturales fréquentes et peu profondes destinées à empêcher la déperdition de l'humidité. Le système qui consiste à faire passer fréquemment un disque dans les sols d'argile ou de limon argileux ayant une trop forte teneur en humidité a activé la formation de fonds de raie au labour et a réduit la perméabilité du sol.

Le fait de remuer constamment le sol a des effets nuisibles sur sa structure. Il se produit un tassement du sol quel que soit le type d'instrument de culture utilisé. Le tassement empêche la pénétration de l'eau, l'aération et le libre mouvement des éléments fertilisants, mais surtout il empêche le développement normal des racines. Les passages dans le champ, y compris les déplacements des tracteurs, camions et autres machines agricoles nuisent aussi à la structure du sol. La formation de fonds de raie au labour et toutes autres ruptures de la structure, y compris le tassement effectif, empêchent aussi un bon lessivage des sels qui risquent de s'accumuler dans la zone des racines. Ceci est particulièrement vrai au cours des périodes à faible pluviosité lorsque les sols ne sont normalement pas lessivés par la pluie.

Un bon programme doit réduire au minimum les labourages. Il est important de restituer tous les ans au sol une quantité suffisante de matières organiques soit sous forme de fumier, soit sous forme d'autres matières organiques volumineuses ou de cultures de couverture. Le fait d'ajouter des matières organiques contribue à réduire au minimum les effets néfastes du retournage du sol.

La destruction des mauvaises herbes dans les cultures au moyen de produits chimiques, ainsi que sur toutes les terres non boisées a maintenant atteint un stade tel qu'elle est devenue une science complexe. Un cultivateur moderne dispose de produits spécialisés qui permettent de ne détruire que les graminées ou que les plantes latifoliées, de stériliser temporairement le sol et de détruire certaines plantes adventices. L'utilisation de ces composés nécessite cependant un très grand soin et des connaissances particulières, de sorte qu'il faut consulter un spécialiste.



Planche II. — Erosion en rigoles, en nappes, en ravins et le désastre.

L'ÉROSION.

Il est indispensable d'employer de bonnes méthodes de conservation du sol pour élaborer un programme raisonnable de culture. Il faut identifier avec précision le type d'érosion pour pouvoir résoudre ces problèmes.

Le ravinement est la forme d'érosion la plus commune. Ce phénomène se produit lorsque l'eau dévale librement le long des pentes et entraîne avec elle de la bonne terre et de précieux aliments des plantes.

L'érosion en nappe enlève une couche de sol sur toute une surface, mais elle fait partie intégrante de l'érosion en rigoles. Ce type est le moins visible, car son activité est plus lente et n'est pas aussi spectaculaire.

L'érosion éolienne sévit dans tous les Etats et, dans certaines régions, elle produit plus de dégâts que l'érosion par l'eau.

Une bonne fumure permet une croissance rapide et plus dense de l'herbe, des cultures de couverture et autre végétation, aussi les engrais sont-ils importants à la fois pour lutter contre l'érosion et obtenir un sol de bonne qualité.

Les méthodes de lutte contre l'érosion sont les suivantes :

1. Culture suivant les courbes de niveau.
2. Culture en bande.
3. Plantations d'arbres.
4. Amélioration des pâturages.
5. Installation d'un réseau de drainage.
6. Culture de couverture et fumure.
7. Paillage avec des chaumes.
8. Construction de bassins près des fermes.
9. Construction de terrasses.
10. Construction d'exutoires pour l'eau.
11. Amélioration de la fertilité du sol.
12. Destruction des rongeurs.

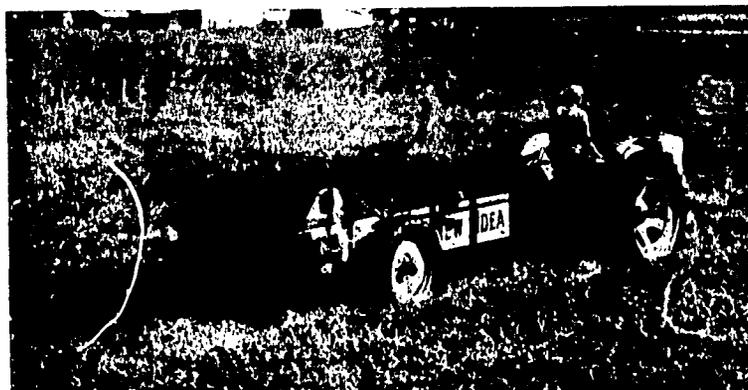


Planche III. — Epandeur de fumier.



Planche IV. — Passage du disque sur une culture de couverture de moutarde dans la Salinas Valley.

BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCE

1. Hilgard, E. W., "Soils", The MacMillan Company, New York.
2. Lyon, T. Lyttleton, Buckman, Harry O., and Brady, Nyle C., "Soils, Their Nature and Property," The MacMillan Company, New York.
3. U.S.D.A., "Soil Survey Manual," Agricultural Handbook No. 18, Supt. of Documents, U.S. Govt. Printing Office, Wash., D.C. 20025.
4. Storie, R. Earl, "An Index for Rating the Agricultural Value of Soils," Univ. of Calif. Bulletin 556 and Revision of the Soil-Rating Chart leaflet 122.
5. Soil Survey Staff, Soil Conservation Service, "Soil Classification, A Comprehensive System, 7th Approximation", United States Department of Agriculture, 1960.

ADDITIONAL REFERENCE READING

Jenny, Hans and Collaborators, "Exploring the Soils of California," Univ. of Calif. Press, Berkeley, Calif. 94720.
Bear, F. E. "Chemistry of the Soil," American Chemical Society, Monograph Series 126, Reinhold Publishing Corp., New York.

CHAPITRE III

L'EAU

La qualité de l'eau d'irrigation dépend en général de la nature et de la quantité des sels qui y sont dissous. La qualité de l'eau n'a pas la même signification pour tous. Les industriels se préoccupent des problèmes posés par l'eau qui ont trait à la corrosion des tuyaux, au tartre des chaudières et à « l'empoisonnement » des opérations industrielles par des éléments toxiques. Les citadins et les ménagères se préoccupent surtout de la couleur, de l'odeur et du goût, du coût, du savon ou des traitements nécessaires pour adoucir l'eau et de la sécurité de son emploi pour la famille.

Les agriculteurs et les agronomes se préoccupent, ou devraient se préoccuper des effets de la qualité de l'eau d'irrigation sur le rapport plante-sol-eau, et sur les propriétés des sols en particulier dans la mesure où elles influencent la production végétale¹.

Lorsque l'eau vient en contact avec les roches et les sols, elle dissout les éléments minéraux (sels) qui se trouvent dans ces matériaux. Lorsque la teneur en sel augmente et que cette eau est utilisée pour l'irrigation, il peut surgir des difficultés dues à la salinité, au sodium ou au bore.

Irrigation.

Les quatre principaux types d'irrigation sont : 1) la submersion des terres, 2) l'irrigation par infiltration, 3) l'irrigation par aspersion, et 4) l'irrigation souterraine. Il y a de nombreuses variantes de ces méthodes.

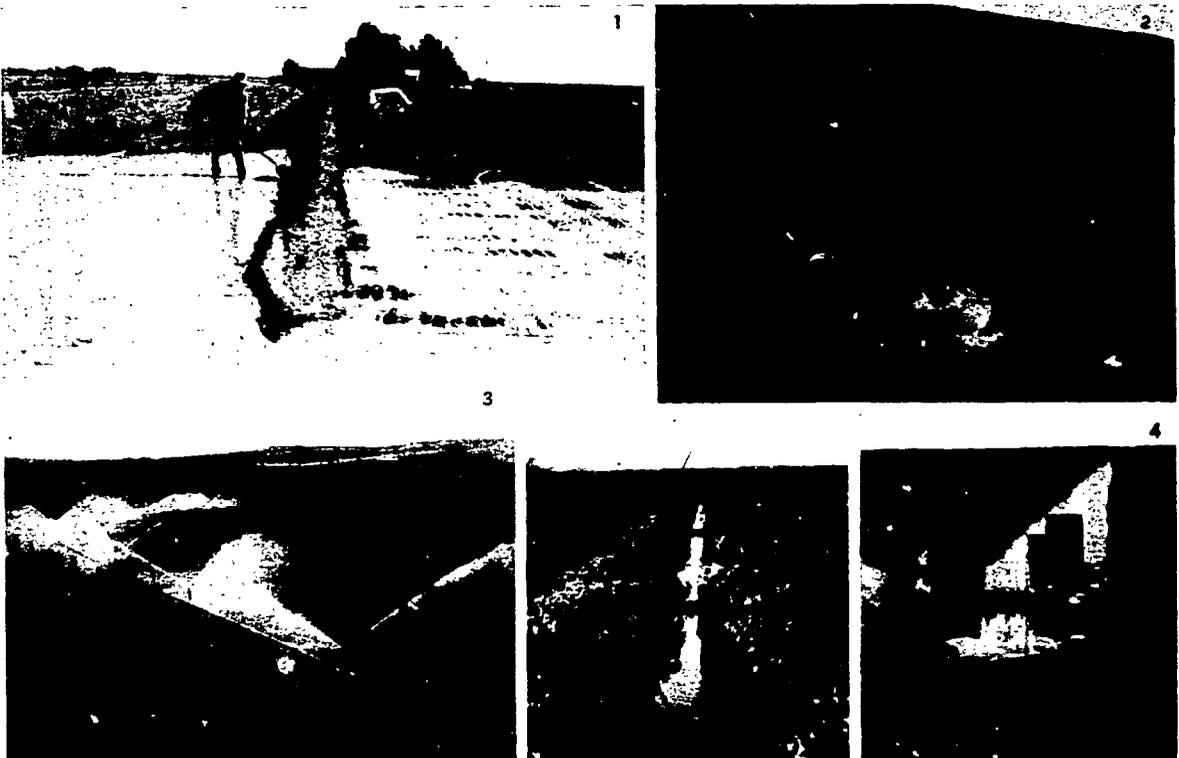


Planche V. — 1 — Submersion. 2 — Irrigation par infiltration. 3 — Irrigation par aspersion. 4 — Irrigation souterraine.

Les méthodes utilisées doivent être déterminées par les facteurs suivants :

1. Qualité de l'eau.
2. Débit et méthode de distribution de l'eau.
3. Coût de l'eau.
4. Texture du sol, pente et topographie.
5. Coût de préparation de la terre.
6. Valeur de la terre et de son potentiel de production.
7. Culture à pratiquer.
8. Méthodes couramment employées dans une région.

Les cultures qui procurent un faible revenu ne justifient pas l'installation d'un système d'irrigation coûteux.

Une bonne irrigation nécessite une gestion rationnelle des eaux. Ceci est valable pour la distribution de l'eau, le lessivage et le drainage.

L'aération et la température du sol sont capitales pour la croissance des plantes et sont influencées par l'irrigation. L'absorption de l'eau et des éléments fertilisants est freinée par une trop faible quantité d'oxygène ou une trop forte concentration de gaz carbonique autour des racines des plantes dans les sols trop humides. Un sol dont la température est trop élevée ou trop faible restreint le fonctionnement et la croissance normale des racines.

Une telle situation peut engendrer la création d'organismes nuisibles aux racines. Les substances toxiques, y compris l'acide sulfhydrique peuvent s'accumuler et les nitrates NO_3 peuvent être réduits en nitrites NO_2 . La décomposition des matières organiques et le processus de nitrification sont beaucoup plus long lorsqu'il y a une humidité trop élevée ou lorsque la température est trop faible.

Dans certaines régions, le drainage peut être tout aussi important que l'irrigation. Les drains en surface, à ciel ouvert ou en tuiles peuvent contribuer à réduire l'accumulation d'une trop grande quantité d'eau et réduire la remontée des sels. L'irrigation qui provoque un net mouvement vers le bas de l'eau pour lessiver la terre est indispensable au maintien d'une production élevée.

Définitions.

Le *taux d'absorption* ou la *capacité d'infiltration* représente la vitesse à laquelle l'eau peut pénétrer dans le sol. Les sols sableux absorbent généralement l'eau beaucoup plus rapidement que les limons ou les argiles.

Par *capacité de rétention au champ* ou *capacité de rétention en eau*, on entend la quantité d'eau retenue par un champ peu après une irrigation. On appelle également ceci la capacité maximum de rétention en eau d'un sol et elle est fondée sur l'achèvement du déplacement normal dans le sens vertical et horizontal de l'humidité de un à trois jours après l'irrigation.

Une autre constante importante de l'humidité du sol est le point de *flétrissement* permanent. Il représente la teneur en humidité du sol par rapport à un sol séché en étuve à partir de laquelle les plantes se flétrissent et ne récupèrent pas leur turgidité lorsqu'elles sont placées dans une chambre noire et humide.

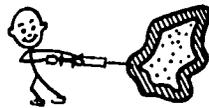
Le point de flétrissement permanent, qui n'a de signification que pour les sols non salins, présente à peu près dans la pratique la teneur en humidité minimale à laquelle les plantes peuvent amener le sol à des profondeurs situées au-dessous de l'influence de l'évaporation en surface. En fait, les plantes manifestent des symptômes de flétrissement bien avant que soit atteint le point de flétrissement permanent. Cependant, à ce stade final, le flétrissement devient permanent. Certaines plantes ne donnent pas des signes très nets de flétrissement.

La suction du sol est un nouveau terme utilisé pour définir une propriété de l'eau du sol qui a une influence directe sur la croissance des plantes. Les termes qui servaient naguère à indiquer les ressources en humidité comme l'écart compris entre la capacité maximale de rétention et le point de flétrissement sont maintenant exprimés en tension de l'eau du sol ou suction. Ces termes définissent les limites entre lesquelles une plante peut utiliser l'humidité.

Comportement de l'humidité du sol - comment les particules du sol retiennent l'eau.



1 Dans les sols bien drainés, l'eau est retenue en grande partie sous forme de pellicules autour des particules de sol. Plus les pellicules sont minces, plus l'eau est fermement retenue.

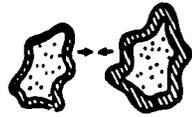


Lorsque le sol est mouillé par une irrigation, les pellicules deviennent plus épaisses. Dans ces conditions, s'il était possible d'introduire une 2 seringue hypodermique ultra-fine dans la pellicule, il faudrait faire un vide d'environ 0,105 kg par cm² pour retirer l'eau des particules de sol.

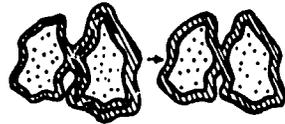


Lorsque le sol se dessèche, les pellicules deviennent plus minces et le reste de l'eau est retenu plus fermement. Par exemple, si nous réduisons de moitié l'épaisseur de la pellicule, 3 il nous faudrait provoquer un vide de 14,7 kg par cm² environ.

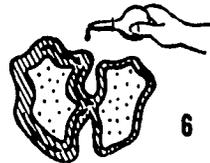
La rétention de l'eau par le sol peut être appelée suction par le sol. Un tensiomètre sert à mesurer cette suction.



Imaginons deux particules de sol. L'une est entourée par une pellicule épaisse d'eau; l'autre est entourée par une pellicule mince d'eau. Comme l'indiquent les figures 1 et 2, la pellicule mince est retenue par un vide élevé et la pellicule épaisse par un vide moins important.



Si l'on rapproche les deux particules l'une de l'autre jusqu'à ce que les pellicules d'eau entrent en contact, l'eau passera dans la particule la plus sèche. Cet écoulement continuera jusqu'à ce que l'épaisseur des deux pellicules soit égale.



En d'autres termes, si on ajoute de l'eau à l'une des particules, l'autre en prélève une partie.

Par ce moyen, l'eau passe d'une zone humide à une zone sèche dans le sol. L'eau se déplace en glissant autour des particules d'une pellicule à l'autre.

Extrait de Modern Irrigation Scheduling in Orange Country¹.

La croissance des plantes subit l'influence de la concentration de la solution de sol dans les sols salins aussi bien que de l'absence d'eau (tension de l'eau du sol ou suction). Cette concentration est fonction de la quantité de sels solubles et d'eau susceptible de dissoudre les sels. Un sol sableux et un sol argileux peuvent avoir la même teneur en sels solubles exprimés en pourcentage de matières sèches, mais la concentration de la solution de sol peut être dix fois plus élevée pour le sable que pour l'argile étant donné que l'argile retient dix fois plus d'eau.

Alors que les méthodes de distribution sont importantes, il est évident que l'époque de distribution et la quantité d'eau appliquée sont tout aussi importantes, sinon plus. La distribution de l'eau doit être liée aux types de sols et aux besoins des plantes. L'absorption et la conservation de l'eau (capacité de rétention) dépendent principalement de la texture du sol, de sa profondeur et de sa structure.

Comment mesurer l'humidité du sol.

Diverses méthodes sont utilisées pour déterminer le moment où il faut irriguer. L'aspect des plantes peut donner des indications utiles. On peut utiliser une sonde ou une tige pour mesurer la profondeur de l'humidité du sol. Un carottier ou une sonde pédologique indiquent la profondeur jusqu'à laquelle le sol est humide, et s'il y a absence d'humidité. On peut examiner des poignées de terre par la méthode du toucher ou la séchant dans

un four. L'expérience permettra aux cultivateurs de déterminer le degré d'humidité du sol.

Les appareils qui servent à mesurer l'humidité comme les tensiomètres et les blocs de résistivité électrique indiquent le degré d'humidité ou de sécheresse du sol. Ces instruments guident le cultivateurs et ont éliminé une grande partie des tâtonnements en matière d'irrigation.

Les *tensiomètres* sont constitués par une coupelle poreuse qui est enfouie dans le sol dans la zone où l'activité des racines est la plus intense et par un tube qui est relié à un manomètre à vide ou un manomètre à mercure, la coupelle et le tube étant remplis d'eau. Ces instruments permettent de mesurer l'humidité du sol, les tensions ou succions.

Les manomètres à vide sont calibrés de manière à indiquer le degré d'humidité sur une échelle de 0 à 100. Une lecture de 0 à 20 signifie trempé, de 30 à 50 humide, et de 60 à 80 indique une situation dans laquelle il peut être indiqué de pratiquer une irrigation. La quantité d'humidité dont disposent la plupart des plantes n'est pas limitée si le manomètre indique moins de 60.

Dans les sols salins, il peut se révéler nécessaire de faire une irrigation lorsque la tension est plus faible, car une indication de 60 sur le tensiomètre risque d'être excessive pour les cultures sensibles et même modérément résistantes aux sels. Par exemple, en ce qui concerne la luzerne et pour une conductivité de sol de 6 millimhos/cm, il peut se révéler nécessaire de faire une irrigation lorsque le manomètre indique 25 ou 30. En retardant l'irrigation jusqu'à ce que le manomètre indique 60, on risque de causer des dégâts irrémédiables à la culture.

Le manomètre à mercure donne une indication de la suction ou de la tension qui dépend de la hauteur du mercure dans le tube capillaire. L'écart total couvert par les lectures des manomètres coïncide approximativement avec celui du manomètre à vide, de sorte que si celui-ci indique 60 % du maximum, cela prouve que le sol est presque desséché ou a besoin d'irrigation.

On utilise aussi *des blocs de résistivité électrique*. On enfouit dans le sol des blocs absorbants poreux dans lesquels sont logés deux électrodes avec des fils électriques qui relient les blocs à un compteur d'un type spécial. En fait, le bloc poreux devient partie intégrante du sol. Sa teneur en humidité varie avec l'eau contenue dans le sol.

La résistivité électrique change en même temps que la teneur en humidité du bloc. Lorsque celui-ci est humide, la résistivité est faible. Lorsque le sol et le bloc se dessèchent, la résistivité électrique augmente. Certains compteurs sont construits de manière à indiquer indirectement le pourcentage d'humidité disponible. Les blocs de gypse sont les plus sensibles lorsque l'humidité du sol est plus faible et il ne faut pas les utiliser dans les sols très mouillés ou mal drainés.

On construit les blocs destinés à mesurer l'humidité avec du nylon, de la fibre de verre et de la céramique. On a construit des blocs de résistance coniques avec des compteurs électriques qui permettent d'effectuer les mesures d'humidité du sol à différentes profondeurs dans la zone des racines⁵.

Ces blocs ne se détériorent guère lorsque l'humidité est élevée et ils possèdent une grande sensibilité dans la partie la plus humide mais sont davantage affectés par les sels dissous dans la solution de sol.

La présence de sel dans la solution de sol introduit une erreur dans la lecture des manomètres. On ne mesure que la tension ou l'humidité et même cette mesure risque d'être très erronée dans les sols salins, car le sel diminue la résistivité électrique des blocs, ce qui indique une humidité supérieure à la réalité.

Les indications de la tension doivent être interprétées quand il s'agit de certains types de sol et des besoins de certaines cultures afin de déterminer la date à laquelle il faut irriguer. Le nombre d'instruments nécessaires pour guider l'irrigation dépend de la topographie d'un champ, de la variabilité de son sol, du type de culture et de la disposition du système d'irrigation.

Pour obtenir des renseignements sur le coût d'installation et le mode d'utilisation de ces tensiomètres ou de ces blocs, il faut vous adresser aux fournisseurs, à votre vendeur habituel d'engrais, au laboratoire commercial, aux vulgarisateurs, à la station expérimentale agricole.

Matières contenues dans l'eau d'irrigation.

Toutes les eaux d'irrigation, qu'elles proviennent de sources, de cours d'eau ou de puits, contiennent des quantités appréciables de sels solubles et des traces d'autres matières. La plupart des eaux contiennent de faibles quantités des produits suivants : limon, matières organiques, oxygène dissous, fer, silice, alumine, sodium, potassium, calcium, magnésium, strontium, bore, bicarbonate, chlorure, sulfate, nitrate, bromure et fluorure, ainsi que des traces d'autres éléments ou composés.

L'analyse de l'eau sert à déterminer ces éléments, ainsi que le pH (mesure de l'acidité ou de l'alcalinité) et la teneur totale en sel soluble. En outre, un certain nombre d'indicateurs de qualité comme la dureté, l'indice de corrosion, le risque d'alcalinité, etc., peuvent être calculés à partir de données chimiques.

Caractéristiques qui déterminent la qualité.

Il est généralement reconnu que les principales caractéristiques d'une eau qui déterminent sa qualité pour l'irrigation sont :

1) la concentration totale de sels solubles, 2) la concentration de sodium et sa proportion par rapport au calcium plus le magnésium, 3) la teneur en bicarbonate et 4) la concentration de bore ou autres substances toxiques. D'autres caractéristiques comme la teneur en chlorure ou en nitrate peuvent parfois avoir une importance locale. Une bonne eau d'irrigation ne doit pas contenir une quantité nocive de l'un quelconque de ces éléments; une mauvaise eau d'irrigation contient des quantités nocives de l'un ou plusieurs de ces éléments et une eau moyenne a une teneur intermédiaire.

L'expérience et l'expérimentation ont cependant montré que pour employer avec succès et pendant longtemps *n'importe quelle* eau d'irrigation, il faut *davantage* tenir compte de facteurs tels que le drainage, le lessivage, les chutes de pluie, la tolérance au sel des cultures, les méthodes d'irrigation et d'exploitation du sol, que de la qualité de l'eau proprement dite. Cependant, il est possible de prévoir avec une exactitude raisonnable les effets d'une eau particulière d'irrigation sur les sols et les plantes si les *facteurs relatifs au drainage*, au lessivage etc., sont connus et s'il en est tenu compte en même temps que de la qualité de l'eau.

Caractéristiques qui sont à l'origine de ces différences.

Concentration totale. L'utilisation d'une eau qui contient une forte quantité de sels solubles provoque la formation de sols salins (alcali blanc) si l'on n'empêche pas l'accumulation de sels par un lessivage et un drainage. La salinité peut provoquer des difficultés en quelques semaines si l'eau a une forte teneur en sel. Ces difficultés finiront par se produire avec *n'importe quelle* eau si le drainage est entravé ou si l'eau est utilisée avec une parcimonie telle qu'il n'y a aucun lessivage.

D'habitude, les sols salins n'ont qu'une réaction légèrement ou modérément basique (pH 7 à 8,5), contiennent très peu d'alcali, possèdent de bonnes propriétés physiques, mais contiennent un excès de sels solubles.

L'excès de sels : 1) empêche ou réduit la germination, 2) diminue la végétation; 3) peut provoquer des taches sur les feuilles et 4) peut faire dépérir la plante.

Ces effets sont dûs principalement à une réduction du taux d'absorption de l'eau par les graines et les plantes. Il convient de noter que la réduction de la croissance des plantes est à peu près proportionnelle à la concentration de sels solubles exprimée en pression osmotique, et *elle est en général indépendante de la nature du sel.* (On a constaté qu'il est plus facile de mesurer la salinité par la conductivité électrique qui est étroitement liée à la concentration osmotique.)

On peut prévenir les problèmes de salinité ou réduire leur importance par une bonne irrigation et l'emploi de méthodes

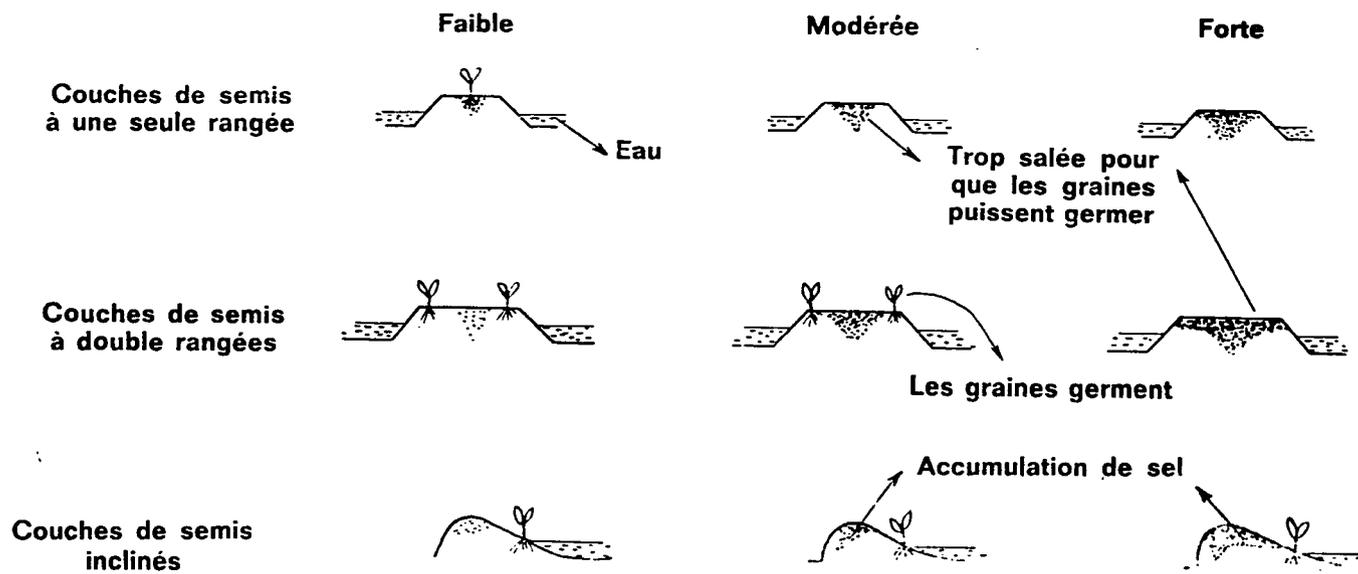


Figure 4 a. — Les graines et les semis sont sensibles au sel. La salinité retarde généralement la germination des semences. La figure ci-dessus indique l'effet de la salinité du sol et l'accumulation du sel suivant le type de couche de semis dans une zone ensemencée et elle fait apparaître l'arrêt ou le retard de la germination des semences. La germination est retardée ou empêchée dans les zones où l'accumulation de sels est excessive. Les couches de semis doubles ou inclinées permettent d'obtenir de bons lots lorsque le sol est salé. Avec des couches à double rangées, la majeure partie du sel s'accumule au centre de la couche, de sorte que les épaule-ments contiennent relativement peu de sel. Les couches de semis inclinées peuvent se révéler préférables sur les sols fortement salés, car les graines peuvent être plantées sur la partie inclinée au-dessous de la zone d'accumulation du sel ⁴.

appropriées de culture. On met en valeur les zones fortement salines simplement en assurant le drainage, puis en les lessivant avec une forte quantité d'eau d'irrigation. On peut atténuer certaines difficultés dues à la salinité en faisant un emploi judicieux d'appareils d'irrigation par aspersion; par exemple, on peut réduire l'accumulation de sels entre les sillons et les dégâts dus à la salinité en faisant une irrigation préalable ou en donnant une forme appropriée aux couches de semis.

Sodium : Les sols sodiques (à alcali) contiennent des quantités excessives de sodium adsorbé (échangeable) qui adhère si étroitement à l'argile qu'il n'est pas possible de l'enlever uniquement en lessivant le sol avec de l'eau pure. Ces sols qui sont souvent appelés alcalis noirs se forment très lentement, même lorsque les conditions sont favorables à l'accumulation de sels, généralement lorsque le drainage est insuffisant et lorsque le niveau de la nappe phréatique se rapproche de la surface.

Lorsqu'on utilise une eau d'irrigation contenant une forte proportion de sodium par rapport au calcium plus magnésium, une forte quantité de sodium est adsorbée par l'argile. L'absence de lessivage aggrave le problème à mesure que la salinité augmente, ce qui augmente le pourcentage de sodium échangeable. Les sols à alcali qui ont une forte teneur en sodium adsorbé se gonflent et se dispersent lorsqu'ils sont humides.

Leur perméabilité à l'eau et à l'air est fortement réduite et le drainage ne peut plus se faire. Le sol se durcit fortement lorsqu'il sèche et il se brise en grosses mottes dures lorsqu'il est cultivé. Les sols à alcali ont généralement un pH supérieur à 8,5 et peuvent contenir un excès de sels solubles, mais ils sont caractérisés principalement par le fait qu'ils constituent un milieu physique défavorable à la germination des semences, aux mouvements de l'eau et à la croissance des plantes.

En outre, la nutrition de certaines plantes (haricots par exemple) risque d'être entravée et la toxicité directe par le sodium peut endommager un grand nombre de cultures d'arbres fruitiers et de plantes grimpantes. Pour la plupart des autres plantes, le sodium n'est pas plus toxique qu'une concentration excessive de calcium ou d'autres éléments.

Pour améliorer (ou remettre en valeur) les sols d'alcali la méthode la plus courante consiste à remplacer le sodium adsorbé nuisible par du calcium bienfaisant, puis à faire un lessivage et un drainage approfondi. Le type et la quantité d'amendements chimiques nécessaires dépendent des caractéristiques du sol, de la profondeur et du taux désiré de remplacement, ainsi que de considérations économiques. La submersion, l'incorporation de résidus organiques, un labour en profondeur ou un sous-solage et la culture de plantes à racines fibreuses, facilitent la mise en valeur des terrains alcalins.

Bicarbonate : L'utilisation d'eau ayant une forte teneur en

bicarbonate accroît la teneur en alcali et constitue donc un aspect particulier du problème de l'alcali. Après avoir appliqué de l'eau d'irrigation sur un sol, les sels solubles se concentrent par déperdition d'eau due à l'évaporation et l'utilisation par les plantes. Le calcium et le bicarbonate peuvent donc se combiner et former un précipité de carbonate de calcium (chaux).

Lorsque la teneur en calcium de l'eau a ainsi été réduite, la proportion relative de sodium augmente et la quantité de sodium adsorbée par l'argile s'accroît également. En conséquence, une forte teneur en bicarbonate peut susciter plus rapidement des difficultés dues à l'alcalinité ou peut aggraver le problème de l'alcalinité lorsqu'il se pose déjà. Cette réaction se produit dans une certaine mesure dans la plupart des sols. Cependant, dans quelques cas seulement, elle contribue à la formation de sol à forte teneur en sodium dans les régions irriguées.

Ions toxiques : Le bore, qui est indispensable à la croissance des plantes, se trouve en concentration variable dans la plupart des eaux d'irrigation. Cependant, il est nuisible à des concentrations qui ne dépassent que légèrement l'optimum, particulièrement pour les agrumes et les noyers. Il est toxique pour la plupart des cultures et des plantes dès que sa concentration atteint une ou deux fois la concentration optimale. Il est plus difficile de lessiver le bore que les sels solubles ordinaires. Aucun moyen économique n'a été mis au point pour réduire la concentration de bore dans l'eau ou pour atténuer ses effets nuisibles sur la croissance. Lorsque l'eau contient un excès de bore, il faut cultiver des plantes tolérantes au bore ou trouver une nouvelle source d'eau.

CLASSIFICATION QUALITATIVE DES EAUX D'IRRIGATION

	Catégorie 1 excellente à bonne	Catégorie 2 bonne à préjudiciable	Catégorie 3 préjudiciable à dangereuse
C.E. X 10 ⁶ à 25 °C	moins de 1 000	1000-3000	plus de 3000
Bore, p.p.m.	moins de 1	1-3	plus de 3
Pourcentage de sodium .	moins de 40-75	60-85	plus de 60-85
Chlorure, meq/l	moins de 5	5-10	plus de 10

Ce tableau est valable pour les conditions moyennes de sol et d'eau. Plus l'eau est saline, moins le pourcentage admissible de sodium est élevé, c'est-à-dire que de l'eau avec un C.E. X 10⁶ de 1000 ou moins pourrait contenir 75 % de sodium et être encore bonne mais avec un C.E. de 3000 il ne faut pas plus de 40 % environ de sodium dans de l'eau d'irrigation. Le pourcentage de sodium soluble est une expression utilisée pour les eaux d'irrigation et les extraits de sol pour indiquer la proportion des ions de sodium en solution par rapport à la concentration totale de cation : (cf. le glossaire au sujet de la formule utilisée pour déterminer le pourcentage de sodium).

Ces valeurs ne sont applicables qu'à l'irrigation en surface de cultures particulièrement sensibles aux chlorures. Lorsqu'il s'agit d'irrigation par aspersion, les feuilles risquent d'être endommagées même avec des concentrations aussi faibles que 2 ou 3 meq/l.

Le rôle du calcium, du magnésium et du sodium.

On considère généralement le calcium, le magnésium et le sodium en tenant compte de leur effet sur les conditions physiques d'un sol. L'aptitude des sols irrigués à conserver une bonne structure, une perméabilité suffisante à l'eau et un bon drainage dépend du rapport de ces éléments essentiels dans l'eau d'irrigation. Le chapitre suivant étudie l'importance du calcium. Le magnésium est considéré comme un élément utile. Si le calcium soluble (ou calcium soluble plus magnésium) est inférieur à 15 ‰, nous pouvons nous attendre à des difficultés en matière de nutrition et s'il est égal ou inférieur à 5 ‰, ces difficultés seront inévitables.

Le rapport critique du calcium variera en fonction de la teneur totale en sel (on peut tolérer des proportions plus faibles de calcium lorsque la teneur totale en sel est plus élevée), comme l'indiquent les récentes découvertes du U.S. Salinity Laboratory.

Si un sol contient une très forte proportion de magnésium, les plantes risquent de manquer de calcium. Si le pourcentage de sodium est élevé, le sol est classé comme sol à alcali avec de mauvaises propriétés physiques. En outre, il peut engendrer des difficultés de nutrition et être toxique particulièrement pour les arbres fruitiers et la vigne.

S'il y a un rapport défavorable entre le sodium et/ou le magnésium d'une part, et le calcium d'autre part dans une eau d'irrigation, le pourcentage de calcium peut être accru par addition de gypse. Le chapitre relatif aux applications d'engrais décrit des machines qui permettent d'ajouter des quantités constantes de gypse.

On a vu que la qualité des eaux d'irrigation dépendait d'un grand nombre de facteurs. Les eaux qui contiennent une forte quantité de calcium et de magnésium sont des eaux dures, tandis que celles qui ont une faible teneur en calcium ou en magnésium sont des eaux douces. Les eaux dures conviennent mieux pour l'irrigation, car la dureté réduit la défloculation du sol. Les eaux douces ne sont généralement pas les meilleures pour l'irrigation, surtout si le pourcentage de sodium est élevé.

Il peut se révéler nécessaire de fournir une quantité d'eau supérieure à celle dont les plantes ont besoin pour éviter une concentration dangereuse de constituants dans la solution de sol.

Classement des eaux.

Un grand nombre de classements des eaux d'irrigation ont été mis au point afin d'essayer de prédire l'effet d'une eau d'irrigation donnée sur les sols et la croissance des plantes. Quelques-unes de ces classifications se sont révélées utiles si on y apporte quelques restrictions et si on ne les applique pas dans un sens trop large, mais aucune n'est entièrement satisfaisante.

Les données les plus récentes ont été proposées dans le U.S.D.A. Agricultural Handbook 60, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, Californie et ont été publiées sous une forme simplifiée dans le U.S.D.A. Agricultural Information Bulletin N° 197.

Pour bien évaluer les problèmes que pose l'eau, faites faire des analyses en laboratoire pour déterminer les données suivantes :

<i>Analyses de</i>	<i>Exprimées en</i>
Conductivité électrique	Micromhos/cm à 250"
Calcium plus magnésium	Milléquivalents par litre
Sodium	Milléquivalents par litre
Carbonate plus bicarbonate ..	Milléquivalents par litre
Bore	Parties par million

On peut déterminer séparément le calcium et le magnésium puis additionner les résultats obtenus, bien qu'une méthode qui permette de déterminer les deux ensembles soit satisfaisante pour un grand nombre d'usages.

Résumé :

Les caractéristiques d'une eau d'irrigation qui semblent les plus importantes pour déterminer ses qualités sont les suivantes :

1. La concentration totale de sels solubles.
2. La proportion de sodium par rapport à celle des autres cations.
3. La concentration de bore ou autres éléments qui peuvent être toxiques.
4. Dans certaines conditions, les concentrations de bicarbonate (surtout par rapport à la concentration de calcium plus magnésium), de chlorure, de nitrate ou autres ions.

Attention :

Il est important d'étudier chacun de ces quatre facteurs : salinité, sodium, bore et bicarbonate.

Lorsque l'on veut juger de la qualité d'une eau d'irrigation, d'après les facteurs indiqués, on suppose que :

1. Le sol absorbe facilement l'eau.
2. Le sol se draine sans difficulté.
3. Une quantité suffisante d'eau d'irrigation sera fournie au sol pour empêcher l'accumulation de sel par la zone des racines.
4. On cultivera des plantes bien tolérantes au sel et au bore.

Des difficultés peuvent se présenter si les conditions précitées ne sont pas remplies. Pour interpréter les résultats des analyses chimiques, il peut être utile de consulter les organismes suivants :

Laboratoires commerciaux, agents des services de vulgarisation agricole, stations expérimentales agricoles, et bureaux du service de la conservation des sols.

Ces derniers disposent des renseignements les plus récents qui

ont été publiés sur les problèmes de la qualité de l'eau. Ils peuvent indiquer si les tableaux de classement de l'eau que contiennent les publications du U.S.D.A. sont actuellement utilisés ou bien si des données révisées existent maintenant.

Le U.S.D.A. Salinity Laboratory n'entreprend des analyses en laboratoire que pour ses propres travaux expérimentaux et pour les autres organismes gouvernementaux.



Planche VI. — Appareil d'application sous pression de gypse et d'engrais servant à les faire passer dans le système d'irrigation.

BIBLIOCRAPHIE

1. Fireman, Milton, Extension Soils and Water Specialist, "Quality of Water for Irrigation," Agr. Ext. Service Special Publication No. 2, Univ. of Calif., Berkeley, Calif. 94720.
2. Wilcox, L. V., "Determining the Quality of Irrigation Water," U.S.D.A. Agr. Information Bulletin No. 197, Supt. of Documents, U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C. 20025.
3. United States Salinity Laboratory Staff, "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils," U.S.D.A. Handbook No. 60. (See U.S. Govt. Printing Office above).
4. Bernstein, L., Fireman, M., and Reeve, R. C., 1955, "Control of Salinity in the Imperial Valley, California." U.S.D.A., A.R.S.—41-4.
Lyerly, P. J., and Longenecker, D. E., "Salinity Control in Irrigation Agriculture," Bulletin 876, Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas.
5. Thorne, D. W., and Peterson, H. B., "Irrigated Soils," Utah State University, Logan, Utah, The Blakiston Company, Inc. N.Y.
Woodward, Guy O., "Sprinkler Irrigation," Second Edition 1959, prepared by Sprinkler Irrigation Association, 1028 Connecticut Avenue N.W., Washington D.C. 20006, Mueller, Robt. C., Executive Secretary, 1318 Second Ave., Santa Monica, Calif. 90401.
6. Richards, S. J. and Hagan, R. M. "Soil Moisture Tensiometer, How it works—How to use it," Leaflet 100, Univ. of Calif. Berkeley, Calif. 94720.
7. Baier, Dwight C., "Modern Irrigation Scheduling in Orange County," Agricultural Extension Service, Univ. of Calif.

CHAPITRE IV

SOLS ACIDES, SALINS ET ALCALINS

Problèmes de salinité, d'acidité et d'alcalinité.

Les principaux facteurs qui influencent la réaction du sol (acidité, salinité et alcalinité) sont les pluies, le drainage, la nature des matériaux originels, la qualité et la quantité d'eau d'irrigation utilisée et la période pendant laquelle la terre a été cultivée.

Réaction du sol.

Les sols ont une réaction neutre, acide ou alcaline. Leur degré d'acidité ou d'alcalinité est exprimé en pH. Les chimistes se servent du symbole pH pour exprimer l'acidité ou l'alcalinité active ¹.

On trouvera ci-après un tableau qui indique les valeurs relatives de pH de substances communes.

Les valeurs du pH de ces diverses matières sont indiquées afin de mieux faire comprendre la signification de l'échelle de réaction des sols.

Alcalinité	Solution de savon	pH 8,7 - 9,9
Croissante	Eau de mer	pH 7,5 - 8,4
	Sang humain	pH 7,35
Neutre	Eau pure	pH 7,0
Acidité	Lait frais	pH 6,6 - 6,9
Croissante	Lait caillé	pH 4,6 - 4,8
	Jus d'orange	pH 3,4 - 4,0
	Jus de citron	pH 2,2 - 2,6

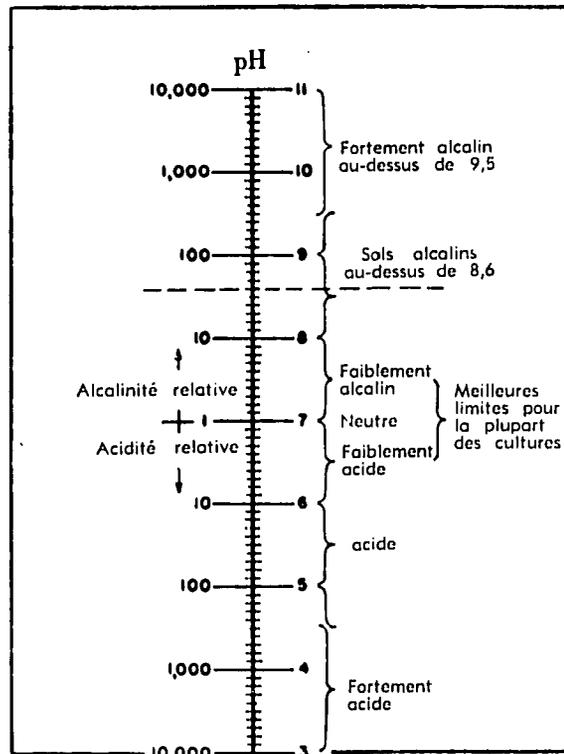


Figure 5, échelle de pH.

Sols acides.

Dans l'Ouest on trouve surtout des sols acides dans les régions où la pluviosité est forte. Quelle que soit la hauteur des pluies, il se forme plus facilement des sols acides à partir de roches éruptives acides telles que les granites, des roches secondaires (par exemple les grès) qu'à partir des roches éruptives basiques comme les basaltes.

L'acidité du sol est due en partie au processus de nutrition des plantes, au lessivage et en partie à l'atération des sols. Les sols tourbeux ou organiques doivent leur acidité en grande partie aux acides organiques qui se forment lors de la décomposition de fortes quantités de matières organiques. Dans le cas des sols minéraux, on peut considérer que l'acidité est simplement due à une faible saturation en bases.

Lorsqu'une plante respire, les racines libèrent le gaz carbonique et il se forme de l'acide carbonique et autres acides organiques dans le sol. Ces acides libèrent de l'hydrogène qui dans le complexe des échanges fait concurrence aux bases qui à leur tour sont absorbées par les racines de la plante ou lessivées hors du sol.

Les ions hydrogène qui occasionnent l'acidité ou qui carac-

térisent celle-ci font concurrence dans le sol aux bases : le calcium et le magnésium des calcaires, le potassium et le sodium des engrais communément utilisés et d'autres bases en quantités moindres comme le manganèse, le cuivre, le zinc et le fer.

L'acidité et l'alcalinité du sol présentent des extrêmes dans l'équilibre de ces éléments nutritifs en fonction de l'état du sol. Dans un sol très acide, l'effet de l'ion hydrogène (H^+) prédomine. En cas de forte alcalinité, c'est l'effet des ions sodium (Na^+) qui produisent des ions (OH^-). Ces deux conditions sont dues à une déficience de calcium (Ca^{++}) dans le complexe des échanges. Une augmentation de la quantité de calcium dans le complexe des échanges contribue à remédier à cette déficience.

Amendements qui réduisent l'acidité du sol.

Le calcaire ordinaire ou le calcaire magnésien sont des amendements qui peuvent neutraliser une acidité donnée.

La quantité nécessaire pour neutraliser l'acidité dépend de plusieurs facteurs. Le degré de basicité de l'amendement généralement exprimé en équivalent de carbonate de calcium doit être connu. C'est l'hydrogène (H^+) et l'aluminium (Al^{+++}) qui sont neutralisés. La quantité à appliquer dépend de l'acidité totale du sol. Des essais de sol sont nécessaires pour déterminer la quantité de calcium nécessaire pour réduire l'acidité et obtenir un pH plus élevé.

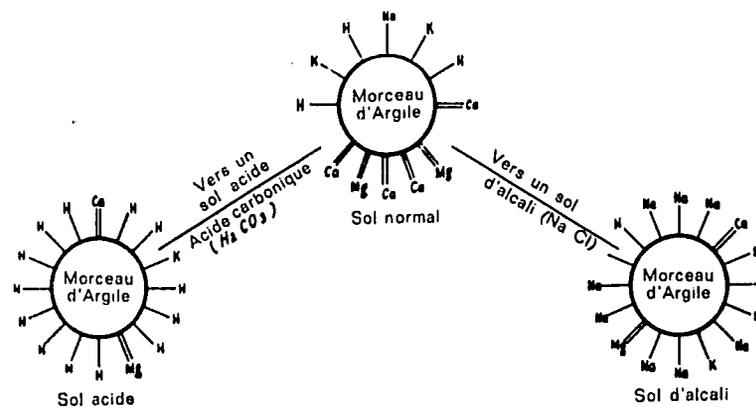


Figure 6. — Représentation graphique et comparaison de particules d'argile entourées des éléments contenus dans un sol normal, un sol acide et un sol alcali.

Représentation graphique et comparaison de particules dité du sol sont les suivants :

Les amendements le plus souvent utilisés pour combattre l'acidité du sol sont les suivants :

PRODUITS SERVANT AU CHAULAGE

Nom	Formule	Equivalent CaCO ₃	Origine
FARINE DE COQUILLE	CaCO ₃	95 %	Dépôt naturel de coquille
CALCAIRE	CaCO ₃	95 %	Dépôt naturel de calcaire
HYDROXIDE DE CHAUX (CHAUX ETEINTE)	Ca(OH) ₂	120 %	Calcaire calciné en présence de vapeur
CHAUX VIVE	CaO	150 %	Calcaire brûlé dans un four
DOLOMITE	CaCO ₃ MgCO ₃	110 %	Gisement naturel
CARBONATE DES RAFFI- NERIES	CaCO ₃ *	80-90 %	Sous-produit des raffineries de sucre de betteraves

* Dont 4 à 10 % peuvent être de la matière organique.

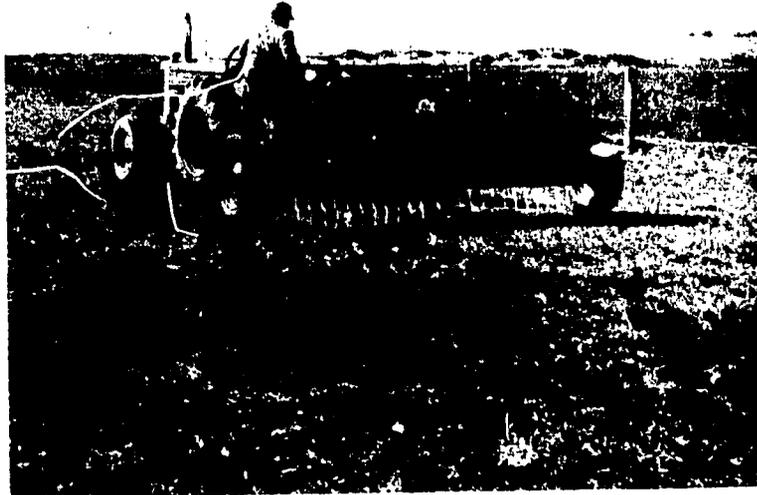


Planche VII. — Epandeur de chaux.

Sols salés et d'alcali².

On trouve généralement les sols d'alcali dans les régions arides où le drainage est médiocre ou dans lesquelles l'eau de ruissellement s'est évaporée. Dans ces conditions, il se produit aussi une accumulation de sels solubles qui conduit à la formation de sols salins et d'alcali. Les eaux qui traversent le sous-sol se chargent de sels solubles qui peuvent augmenter la teneur en sel des eaux de puits ou se déposer dans les zones basses.

Les sols fortement alcalins sont très communs dans les régions où il y a eu évaporation d'eau de drainage provenant de for-

mations granitiques. Il se produit une accumulation très importante de chlorures et de sulfates et le produit échangeable est largement saturé de sodium. Il peut aussi s'y trouver des carbonates solubles. Ces mêmes conditions sont dues également aux échanges de bases au cours desquels il se forme des carbonates avec du sodium comme base principale.

Ces conditions se rencontrent au fond du bassin de drainage du côté oriental de la San Joaquin Valley, la zone orientale de drainage du nord-ouest Pacifique à l'est des montagnes Cascade, le Bassin de Lahontan dans le Nevada et dans certaines parties de l'Arizona et du désert de Mojave.

Les sols provenant de schiste, de grès ou de roches éruptives basiques contiennent généralement de fortes quantités de sels solubles. Les chlorures et les sulfates de calcium, magnésium et sodium sont les principaux sels. On y trouve aussi parfois de petites quantités de bicarbonate, de carbonate et de potassium.

Les sols qui reçoivent une quantité importante de leurs eaux de drainage de sources non granitiques se trouvent principalement sur le côté occidental de la San Joaquin Valley et dans le bassin de drainage de Sacramento et de Santa Clara River en Californie, dans le bassin du Colorado dans l'Arizona et la Californie, dans le Rio Grande et la Pecos Valley au Nouveau Mexique ainsi qu'au Texas, dans l'Arkansas Valley au Colorado, dans la Yellowstone Valley et dans les vallées des autres tributaires du Missouri.

Les sels provenant de la décomposition des roches se retrouvent en diverses combinaisons de bicarbonates, carbonates, chlorures et sulfates de calcium, magnésium, potassium et sodium.

Dans les zones de faible pluviosité, on peut trouver ces composés en grosses quantités dans de nombreux sels. Dans les régions semi-arides et arides, il n'y a pas de percolation en profondeur des eaux de pluie et la teneur en sel augmente. Le lessivage ne peut avoir qu'un caractère local si l'élimination des sels est réduite au minimum.

On trouve un très grand nombre de sols salés dus à des conditions naturelles, mais il semble que la majeure partie de nos problèmes actuels de salinité résultent en grande partie de l'irrigation en raison d'un drainage défectueux et de l'insuffisance des pluies.

Il n'est pas étonnant que nos problèmes de salinité augmentent si nous considérons que la plupart des eaux d'irrigation contiennent de 1/10 à 5 tonnes de sel par acre pied (1 240 000 l) d'eau et que la quantité d'eau fournie annuellement peut dépasser 5 acres pied (6 200 000 l).

Les sols endommagés par le sel peuvent se classer comme suit :

1. Sols salins.
2. Sols salins à alcali.
3. Sols non salins à alcali.



Planche VIII. — Sols salins. La photo montre le mouvement capillaire des sels.

Sols salins.

Ce terme s'applique aux sols dont l'extrait saturé a une conductivité supérieure à quatre millimhos par cm et dont le pourcentage de sodium échangeable est inférieur à 15 %. Ils ont normalement un pH inférieur à 8,5 et ont de bonnes propriétés physiques.

Ces sols sont communément appelés sols alcalins blancs et ils contiennent principalement des chlorures et sulfates de sodium, calcium et magnésium. Ces composés peuvent provoquer la formation d'une croûte blanche en surface et des traînées de sel le long des rigoles d'irrigation.

Ces sels qui sont très solubles dans l'eau peuvent être entraînés au-dessous de la zone de pénétration des racines par un lessivage. Il en résulte une amélioration des conditions de croissance. Si les sols perdent de leur perméabilité après lessivage, cela peut provenir d'un abaissement de la teneur en sel. Généralement ces sols salins sont bien floculés. Si le lessivage des sels de calcium, magnésium et sodium a provoqué une défloculation, un épandage de gypse qui apportera du calcium peut être utile et contribuer à remédier à la réduction de perméabilité.

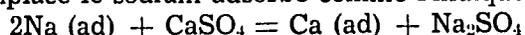
Sols salins à alcali.

Ce terme s'applique aux sols dont l'extrait saturé a une conductivité supérieure à 4 millimhos par cm et dont le pourcentage de sodium échangeable est supérieur à 15 %.

Ces sols ont rarement un pH supérieur à 8,5 et ils contiennent des concentrations assez élevées de sodium adsorbé.

Les sols salins à alcali se drainent très mal, ce qui complique les travaux de mise en valeur. Il faut procéder au remplacement du sodium adsorbé et à la floculation des particules de sol, le plus souvent par un traitement chimique, avant que l'on puisse s'attendre à une formation normale de sol. Le gypse ou autres amendements du sol sont souvent efficaces à cet effet.

Le gypse donne de bons résultats étant donné que son calcium remplace le sodium adsorbé comme l'indique la formule suivante :



(Le suffixe « ad » signifie que le sodium et le calcium sont adsorbés sur les particules d'argile.)

Si ces sols contiennent une quantité suffisante de calcaire non dissous (carbonate de calcium), l'addition de soufre élémentaire, d'acide sulfurique et d'autres amendements qui forment de l'acide libérera du calcium soluble pour former du gypse qui à son tour remplacera le sodium adsorbé. Le sulfate de sodium qui en résulte (Na_2SO_4) peut être éliminé par lessivage.

Sols non salins à alcali.

Ce terme s'applique aux sols dont le pourcentage de sodium échangeable est supérieur à 15 % et dont la conductivité de l'extrait saturé est inférieure à 4 millimhos par cm. Ces sols sont communément qualifiés de sols à alcali, d'alcali noirs et de sols à taches alcalines. L'aspect plus sombre de ces sols est dû à un pigment contenu dans la matière organique qui a été solubilisé par le produit alcalin et distribué sur les particules de sol.

Ces sols ont généralement un pH supérieur à 8,5 et sont caractérisés particulièrement par leur mauvaise structure physique.

L'alcali (sodium adsorbé) provoque la désintégration des grosses particules de sol, détruisant ainsi la structure du sol et réduisant le nombre de gros espaces vides. Ceci rend plus difficile l'élimination du sodium adsorbé par lessivage seulement, étant donné que sa présence tend à rendre le sol imperméable à l'eau.

Il est utile de procéder à un traitement du sol avec du gypse, du soufre, de l'acide sulfurique, du sulfate de fer, etc. Le calcium réagit avec le sodium adsorbé pour former des sels de sodium et un sol saturé de calcium ou sol normal. Après l'amélioration de l'état du sel grâce à l'application de ces produits chimiques, ces sels nouvellement formés peuvent être éliminés du sol par lessivage avec de l'eau.

Pour remettre en état les sols d'alcali, il peut être utile de créer des pâturages irrigués, de cultiver des engrais verts ou d'appliquer d'autres matières organiques comme du fumier de ferme.

La décomposition des racines des plantes et autres matières

organiques produit du gaz carbonique. Ce gaz se combine avec l'eau pour former de l'acide carbonique. L'acide réagit avec le carbonate de calcium et augmente la teneur en calcium. Cette réaction facilite quelque peu le processus normal de régénération du sol.

Sur un grand nombre de sols d'alcali, il est parfois plus économique d'utiliser du soufre ou de l'acide sulfurique que du gypse. La régénération des terres d'alcali doit être évaluée en fonction de la durée et du coût du traitement, de la valeur des cultures qui seront pratiquées et de la valeur finale des terres agricoles. En raison des conditions de sols particulières que l'on peut rencontrer, il est recommandé de consulter un laboratoire de pédologie qui fournira des recommandations convenant à chaque cas particulier.



Planche IX. — Sol alcalin noir.

Amendements pour les sols à alcali ³.

La régénération des sols alcalins est principalement fondée sur l'application d'amendements comme le gypse, le soufre, l'acide sulfurique, le sulfate ferrique, etc. Ces produits peuvent contenir du calcium, ou libérer le calcium du sol afin de remédier à cette situation.

Le lessivage du sol avec de l'eau d'irrigation est une phase importante de la régénération des terres à alcali. Un bon drainage est nécessaire pour éliminer les sels solubles excédentaires qui résultent de l'application de l'amendement.

On ne saurait trop souligner l'importance du calcium pour la

régénération des sols à alcali. Lorsqu'il y a un excès de sodium fixé sur les particules d'argile du sol, il tend à disperser et déflocculer le sol ce qui provoque une agglomération des particules telle que l'eau s'infiltré très lentement ou ne passe pas du tout.

Lorsqu'on applique du gypse, celui-ci fournit du calcium. Les produits qui contiennent du soufre rendent le calcium naturel du sol plus soluble. Le calcium remplace l'excès de sodium adsorbé.

Le remplacement du sodium sur les particules de sol par le calcium provoque une agrégation des petites particules, de sorte qu'il y a davantage de grands espaces vides dans le sol. Cette structure améliorée du sol permet une pénétration plus rapide de l'eau ainsi que de l'air et améliore l'état d'ameublement du sol.

Les quantités d'amendements à utiliser pour la régénération des sols dépendent d'un grand nombre de facteurs. Le plus important est la quantité de calcium naturel contenu dans le sol et son rapport avec le sodium échangeable qui s'y trouve. Parmi les autres facteurs, on peut citer le pouvoir tampon, la teneur en matières organiques et les caractéristiques physiques du sol soumis à un traitement.



Planche X. — Début de la régénération d'un sol d'alcali par la culture de plantes herbagères dans le fond des sillons. L'alcali est remonté dans l'ados.

**EQUIVALENT EN SOUFRE DES DIFFERENTS PRODUITS UTILISES
POUR CORRIGER L'ALCALINITE**

Produit	Formule chimique	Ingrédients actifs %	Soufre combiné %	Kilos nécessaires pour obtenir l'équivalent de 1 kg de soufre
GYPSE	CaSO ₄ -2H ₂ O	65-95	18,6	5,4*
SOUFRE NATUREL	S	99	99	1,0
ACIDE SULFURIQUE	H ₂ SO ₄	95	31	3,2
SOLUTION DE SULFURE DE CHAUX	CaSx	29	22	4,54
SULFURE DE CHAUX DESHYDRATEE	CaSx	75	57	1,75
SULFATE FERRIQUE	Fe ₂ (SO ₄) ₃	70	17	5,9
SULFATE FERREUX	FeSO ₄ .7H ₂ O	95	11	9,1
SULFATE D'ALUMINIUM	Al ₂ (SO ₄) ₃	90	25	4,0
POLYSULFURE D'AMMONIUM	(NH ₄) ₂ Sx	40-45	40-45	2,3-2,5

* Dosé en CaSO₄-2H₂O.

Les calculs ci-dessus relatifs au soufre en combinaison chimique varient quelque peu suivant l'analyse du produit. Lorsqu'il s'agit de gypse, le sulfate de calcium chimiquement pur contient 23,2 % de calcium combiné et 18,6 % de soufre combiné. Pour déterminer la quantité de soufre contenue dans une livraison commerciale de gypse, il faut multiplier 18,6 par le pourcentage de sulfate de calcium indiqué sur l'étiquette. Le graphique (figure 7) indique les lignes qui peuvent être utilisées pour calculer le pourcentage de calcium ou de soufre combiné contenu dans une qualité déterminée de gypse. Par exemple, le gypse à 80 % contient 14,9 % environ de soufre combiné. Il ne contient pas de soufre élémentaire.

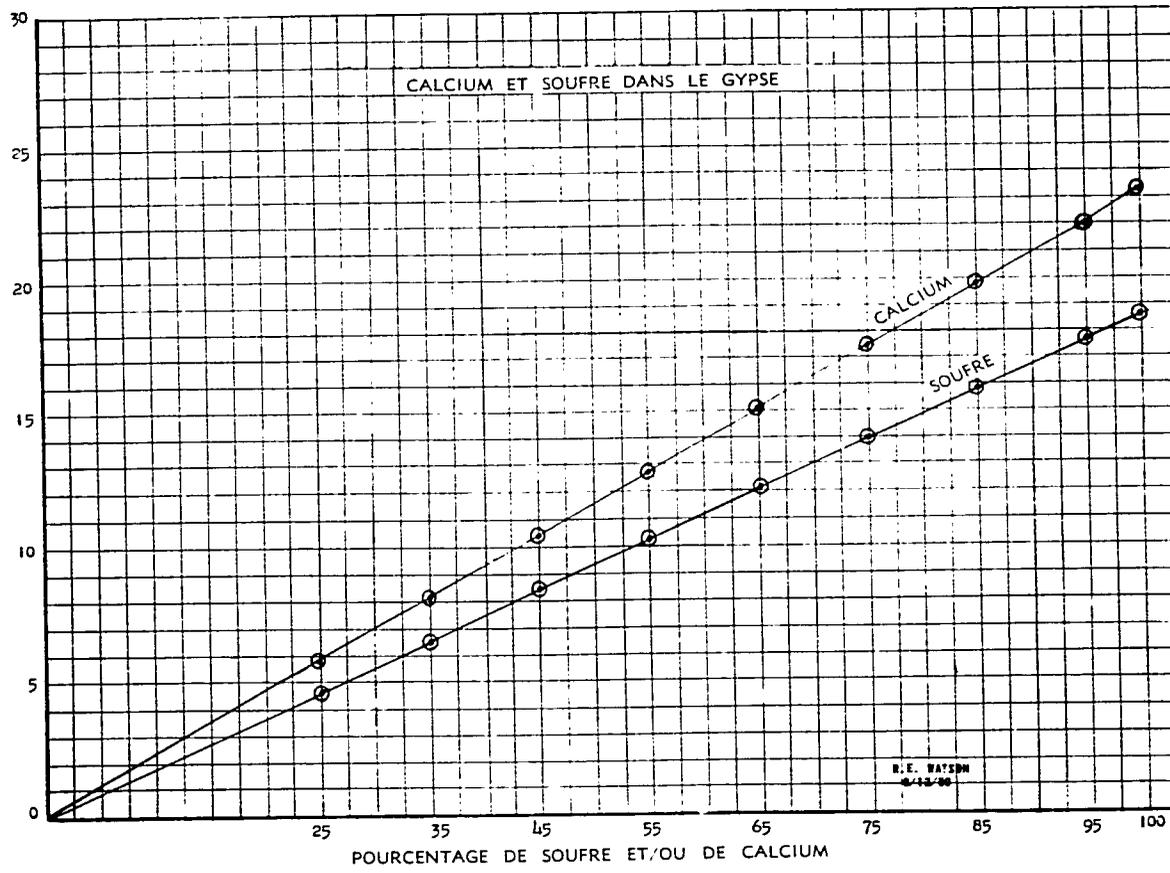
Sélection des cultures convenant aux sols salins ¹.

En raison de la salinité de l'eau d'irrigation, du plan d'eau élevé ou de la faible perméabilité du sol, il se peut que le maintien d'une faible salinité ne soit pas économiquement rentable. Dans ce cas, le choix judicieux des cultures qui peuvent donner des rendements satisfaisants sur des terres salines et l'utilisation de méthodes de cultures spéciales destinées à réduire la salinité peuvent entraîner un succès au lieu d'un échec.

Tolérance relative des plantes au sel ¹.

« La tolérance au sel d'une plante peut être évaluée d'après trois critères : 1) l'aptitude de la plante à survivre sur les sols

Figure 7. — Graphique pour calculer le calcium et le soufre combiné.



salins, 2) le rendement de la culture sur des sols salins et 3) le rendement relatif de la culture sur un sol salin par rapport à son rendement sur un sol non salin dans des conditions de cultures identiques. »

Lorsqu'ils se heurtent à ces problèmes, les producteurs doivent observer les conditions suivantes : 1) assurer un bon drainage, 2) fournir une quantité suffisante d'eau d'irrigation de bonne qualité et employer de bonnes méthodes de gestion des eaux, 3) établir un programme pour l'utilisation suffisante d'amendements suivi d'irrigations de lessivage et 4) choisir des cultures tolérantes aux sels.

L'U.S.D.A. a mis au point des troussees portatives pour mesurer la salinité et elles sont vendues dans le commerce. Les méthodes à suivre pour les analyses sont indiquées dans l'Agriculture Handbook n° 60 (Manuel d'agriculture). La mesure et l'interprétation des conditions révélées par une analyse des sols est un problème complexe.

A moins que la direction d'un élevage possède un personnel qualifié pour monter un laboratoire, entreprendre des analyses et en interpréter les résultats, il est recommandé aux producteurs ayant un problème d'eau ou de pédologie à résoudre de consulter l'un des organismes suivants :

Laboratoires commerciaux, Agents des services de vulgarisation agricole, Stations expérimentales agricoles et Bureaux des services de la conservation des sols.

Ces organismes possèdent les publications les plus récentes. Ils sont en mesure de conseiller en se fondant sur les comptes rendus d'analyses, le type d'amendement qu'il faut utiliser, les taux d'application nécessaires et de fournir des renseignements sur la résistance au sel des cultures.

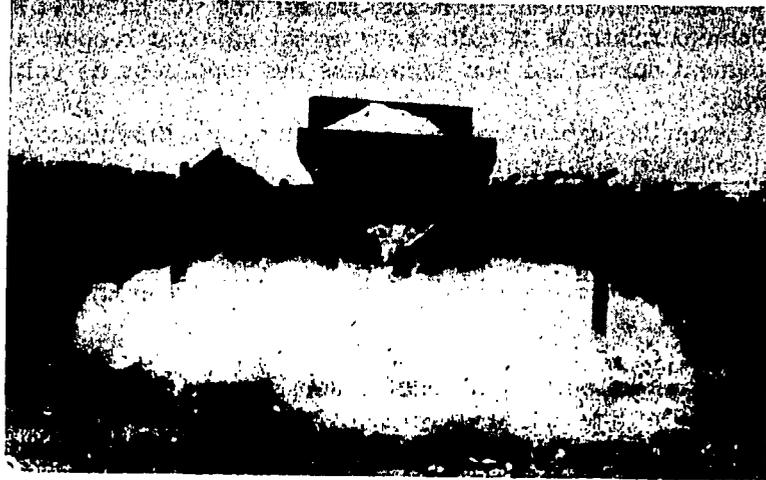


Planche XI. — Epannage à la volée de gypse dans un vignoble de la San Joaquin Valley

BIBLIOGRAPHIE

1. Cole, Ralph C., "Reaction of California Soils," Bulletin 712, Univ. of Calif., Berkeley, Calif.
2. Kelley, W. P., "Alkali Soils, Their Formation, Properties, and Reclamation," U.C. Berkeley, Calif. 94720, Reinhold Publ. Corp., N.Y.
3. Aldrich, D. G., and Schoonover, W. R., "Gypsum and Other Sulfur Materials for Soil Conditioning," Circular 403, Univ. of Calif., Berkeley, Calif. 94720.
4. Salinity Laboratory Staff, "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils," U.S.D.A. Agricultural Handbook No. 60, Supt. of Documents, U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C. 20025.

CHAPITRE V

MATIÈRES ORGANIQUES

Les matières organiques sont des éléments indispensables à la productivité du sol.

Les matières organiques du sol sont composées de résidus végétaux et animaux qui en sont à des stades divers de décomposition, de microbes du sol, vivants et morts, ainsi que de substances synthétisées par des organismes vivant dans le sol. La quantité de matières organiques qui peut s'accumuler dans un sol et qui provient du tissu des plantes dépend de la température, de l'humidité, de l'aération, de la réaction du sol, ainsi que de la quantité et de la nature chimique du tissu des plantes restitué au sol.

L'humus est le résidu plus ou moins stable ou résistant qui reste dans le sol après la décomposition initiale rapide de matières organiques fraîches. L'humus a une couleur marron foncée ou noire et il a une très grande influence sur la vie biologique du sol. C'est un colloïde et sa capacité d'échange des bases est beaucoup plus élevée que celle de l'argile. L'humus accroît la structure granulaire des sols, il sert de source d'énergie pour les bactéries et organismes vivant dans le sol et il facilite l'aération ainsi que la pénétration de l'eau.

Décomposition des matières organiques.

Les résidus organiques sont constitués par des éléments fertilisants des plantes y compris le carbone, l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le zinc, etc.

Dans le sol, ces résidus sont décomposés par les microbes. Les principes fertilisants sont libérés sous forme de déchets et peuvent alors être utilisés par de nouvelles générations d'êtres vivants.

Les microbes du sol ont besoin d'éléments nutritifs tout comme les plantes : si les résidus ont une forte teneur en carbone (élément nécessaire à l'énergie microbienne) et une faible teneur

en azote et autres principes fertilisants, les microbes feront concurrence aux plantes pour absorber l'azote qui se trouve dans le sol. La concurrence que font les organismes du sol aux plantes qui poussent peut soulever des difficultés.

En présence d'une quantité abondante de matières organiques, une population de microbes en accroissement rapide enlèvera au sol l'azote disponible. Ils en ont besoin pour leur propre nourriture en décomposant les déchets ou les résidus organiques. Ce phénomène peut réduire temporairement la croissance des plantes si la quantité d'azote contenue dans le sol n'est pas suffisante pour répondre à la fois aux besoins des microbes et à ceux des plantes. Plus tard, le matériau en excès sera décomposé et les éléments nutritifs seront libérés sous forme de déchets. Pour l'agriculteur il y a une solution simple. En appliquant des engrais azotés, il fournira au sol suffisamment d'azote pour répondre aux besoins alimentaires tant des organismes que des cultures.

ANALYSE MOYENNE DES MATIÈRES ORGANIQUES

Matières organiques volumineuses	Azote % de N	Acide phosphorique % de P ₂ O ₅	Oxyde de potassium % de K ₂ O	Matières organiques % de M.O.	Pied cube par tonne
Fumier de chèvre	2,77	1,78	2,88	60	70
Fumier de vache laitière.	0,7	0,30	0,65	30	55
Fumier de bœuf	2,0	0,54	1,92	60	70
Fumier de cheval	0,7	0,34	0,52	60	75
Fumier de porc	1,0	0,75	0,85	30	60
Fumier de mouton	2,0	1,00	2,50	60	70
Fumier de lapin	2,0	1,33	1,20	50	70
Déjections de volaille ...	4,0	3,2	1,9	74	55
Fumier de volaille	1,6	1,25	0,9	50	50
Algues (varech)	0,2	0,1	0,6	80	—
Foin de luzerne	2,5	0,50	2,10	85	—
Paille de luzerne	1,5	0,30	1,50	82	—
Tige de haricot	1,2	0,25	1,25	82	—
Paille de céréale	0,6	0,20	1,10	80	—
Résidus de l'égrenage du coton	0,73	0,18	1,19	80	—
Mût de raisin (séché) ..	2,0	1,5	0,5 à 1,0	80	—
Tourteau d'olive	1,2	0,8	0,5	80	—

Concentrés organiques	% N	% P ₂ O ₅	% K ₂ O	% M.O.
Sang séché	13,0	1,5	—	80
Farine de poisson	10,4	5,9	—	80
Boue septique (digérée)	2,0	3,01	—	50
Produits nitro-organiques	6,5	3,4	0,3	80
Résidus de graisse	7,0	8,6	1,5	80
Farine de graine de coton	6,5	3,0	1,5	80
Guano de chauves-souris	13,0	5,0	2,0	30
Farine d'os	*	*	—	80
Tourteau de ricin	6,0	2,5-3	0,5	80

* Les pourcentages moyens trouvés dans la farine d'os varient considérablement.

La teneur moyenne déterminée au cours de l'analyse de 22 échantillons était la suivante :

FARINE D'OS ÉBOUILLANTÉE

Pourcent d'azote	Pourcent d'acide phosphorique disponible %	Acide phosphorique insoluble %	Acide phosphorique total %
2,82	14,99	11,31	26,30
FARINE D'OS BRUTE			
4,27	10,98	7,52	18,50

En raison des conditions dans lesquelles il a été ramassé dans les grottes, le guano de chauves-souris a une composition très variable. Les dépôts récents ont une forte teneur en azote qui atteint souvent de 8 à 13 % de N, 4 à 5 % de P₂O₅, et 2 % de K₂O. Les dépôts plus anciens ont une teneur de 1 à 4 % de N et de 10 à 20 % de P₂O₅ avec très peu de potasse K₂O. Ces pourcentages ne peuvent donc pas être comparés.

Toutes les matières organiques doivent être achetées en tenant compte de leur analyse. Il y a de grandes différences dans la valeur du produit dues à la teneur en humidité, au mode d'emmagasinage et autres conditions. Les valeurs ci-dessus ne sont que des moyennes relevées dans des ouvrages officiels.

Au cours de la décomposition des résidus organiques du sol, les principes fertilisants sont libérés par les minéraux du sol. Les substances dont la synthèse est faite par les microbes où les déchets organiques tendent à lier les particules du sol en granules qui améliorent ses propriétés physiques. Les avantages les plus importants que procurent les matières organiques sont dus à leur décomposition dans le sol.

Les cultures de couverture qui sont pratiquées dans l'Ouest peuvent être classées dans les catégories suivantes : légumineuses, graminées, et plantes annuelles latifoliées, généralement moutardes.

Les légumineuses les plus importantes pour cette région sont la vesce (commune, pourpre et velue), les pois fourragers, le trèfle hérissé et le mélilot, les fêveroles, la sesbania et les doliques. Si ces légumineuses ont bien été inoculées, elles fournissent au sol une importante quantité d'azote.

Les graminées adaptées aux conditions dans l'ouest sont le seigle, le blé, le rye-grass local et l'orge.

Les moutardes utilisées les plus communément dans l'ouest sont la moutarde noire, Brassica nigra, aussi appelée Trieste, California wild, arvensis ou charlock, la moutarde marron, juncea et la moutarde jaune, Brassica alba.

MATIÈRES ORGANIQUES VOLUMINEUSES

Les agriculteurs de l'Ouest emploient des quantités considérables de *fumier*, de *foin de luzerne*, de *paille de luzerne* et de *paille de haricot*, tant pour leur teneur en matières organiques que pour leur teneur en principes fertilisants.

Quand on emploie de la sciure, de la paille de céréale et autres couvertures végétales à faible teneur en azote, il faut ajouter une quantité d'azote chimique égale à au moins 1,2 % du poids de la fumure végétale. Il faut dix kilos d'azote effectifs par tonne de matières sèches. Cet apport supplémentaire d'azote permet de compenser les déperditions de nitrates qui peuvent se produire pendant la décomposition bactérienne de ces couvertures végétales.

CONCENTRÉS ORGANIQUES

Les *concentrés organiques* comme les résidus de graisse, les farines de sang, de poisson et de graines sont davantage utilisés en engrais mélangés qu'appliqués directement.

Les matières organiques dites volumineuses et les cultures de couverture en général augmentent la teneur en matières organiques du sol, lui restituent des éléments fertilisants, améliorent la granulométrie du sol et servent de tampon pour les principes fertilisants minéraux, augmentent les espaces vides en permettant une meilleure pénétration de l'air et de l'eau, fournissent de l'énergie et de la nourriture aux bactéries. Lorsqu'ils sont bien incorporés au sol, ces produits engendrent la vie et donnent au sol l'état d'ameublissement indispensable aux sols, en même temps qu'ils sont la source principale de carbone dans le sol.

CHAPITRE VI

ENGRAIS CHIMIQUES ET ENGRAIS ORGANIQUES

Au cours de ces dernières années, les partisans de l'horticulture et de l'agriculture à base de produits organiques ont lancé un certain nombre de mots d'ordre :

1. Les engrais chimiques empoisonnent le sol ainsi que les organismes qui y vivent.
2. Les plantes cultivées avec des engrais chimiques sont moins nutritives que celles qui ont absorbé des engrais organiques.
3. Les engrais minéraux ordinaires manquent des éléments essentiels nécessaires à la santé du corps de l'homme et de l'animal. D'aucuns prétendent aussi que les engrais organiques naturels ont des vertus exceptionnelles et ils condamnent la plupart des engrais chimiques.

Aucun agronome digne de ce nom ne conteste le fait que les matières organiques sont utiles dans tout programme d'exploitation du sol. « Alors que le jardinier amateur peut remplacer sur un carré de légumes les engrais commerciaux par le compost qu'il a préparé lui-même » déclare M. L.M. Turk (chef du Service de pédologie de Michigan State College) « il est peu réaliste pour un agriculteur qui vend ses produits d'agir ainsi. Rien ne prouve que les plantes cultivées sans engrais chimiques soient mieux protégées contre les maladies et les insectes que celles qui ont été produites avec des engrais ».

Dans l'Ouest, l'Université de Californie a violemment réfuté les affirmations des partisans d'engrais organiques :

« Il ne faut pas contester la valeur des matériaux organiques et il convient de les utiliser au maximum compatible avec leur coût. Les matériaux organiques n'ont pas de vertu spéciale en tant que fournisseur d'éléments fertilisants. Les plantes de grande

dimension n'absorbent pas les matières organiques. Elles absorbent les sels chimiques. Lorsque l'on applique des matières organiques au sol, elles se minéralisent sous l'action des bactéries. Nombre des éléments nutritifs contenus dans une matière organique ne sont assimilables que très lentement et ne sont pas absorbés à 100 %. Les sels nutritifs absorbés par les plantes sont identiques, qu'ils soient produits par la décomposition des matières organiques ou par une usine de produits chimiques. Lorsque l'on connaît la teneur exacte en éléments fertilisants d'un sol, il est possible d'obtenir une croissance des plantes et des produits d'aussi bonne qualité avec des produits chimiques qu'avec des matières organiques. Cela est maintenant possible sur la plupart des sols de la Californie et considéré comme parfaitement compatible avec les principes de base de nutrition végétale.

« Les matières organiques améliorent la structure du sol : ces matières en particulier celles qui sont assez volumineuses comme le fumier, la paille, les gadoues, les produits provenant des ordures ménagères présentent des avantages particuliers, non pas parce qu'elles fournissent des éléments fertilisants, mais parce qu'elles améliorent la structure du sol. Leur usage permet d'obtenir un meilleur état d'ameublissement du sol et une meilleure perméabilité à l'eau. Ces améliorations sont très réelles et elles confèrent aux matières organiques une valeur supérieure à celle de simples fournisseurs d'éléments fertilisants. Cependant, cette valeur, aussi réelle qu'elle soit, doit être appréciée d'après les résultats des expériences locales et elle n'est probablement pas aussi importante que celle que l'on attribue à certaines de ces matières. » (*Citrus Leaves*, avril 1952.)

M. J.-P. Martin de la Station Expérimentale des Agrumes de Riverside écrit ce qui suit dans un article intitulé « Les organismes du sol — les faits et la fiction » : « En fait, il n'y a pas de différence entre une molécule de phosphate de calcium ou de sulfate d'ammonium qui se forme à la suite de la décomposition de matières organiques et une molécule fournie au sol sous forme d'engrais chimique. Quelle que soit la façon dont le sol est fertilisé, les éléments utilisés par les plantes sont les mêmes. Rien ne prouve que la qualité des denrées alimentaires et la santé de l'homme soient affectées par l'emploi des produits chimiques. Bien au contraire, il semble amplement prouvé que l'inverse est vrai. La teneur des plantes en acides aminés et en protéines est augmentée par l'addition d'azote chimique au sol. Le pourcentage d'éléments fertilisants essentiels comme le phosphore, le calcium, le potassium et le soufre utilisés dans les cultures vivrières augmente par l'application des sels minéraux au sol par des méthodes approuvées. » (*Citrus Leaves*, décembre 1951.)

En résumé, les autorités officielles ont démontré que rien ne prouve, du point de vue scientifique que les engrais commerciaux utilisés pour la culture des plantes n'aient jamais présenté un

danger pour les animaux ou les humains, mais aussi qu'il n'est pas économiquement possible de produire suffisamment de matières organiques pour assurer les besoins en éléments nutritifs de l'agriculture mondiale.

Bien au contraire, un grand nombre de faits convaincants prouvent que l'usage des engrais a apporté des avantages durables à l'Amérique et à sa population.

Un programme rationnel d'utilisation des engrais nécessite l'emploi simultané de produits chimiques et de matières organiques. Au moins 25 % de la production de produits alimentaires et de fibres aux Etats-Unis peuvent être imputées à l'accroissement de la production résultant de l'emploi des engrais chimiques.

CHAPITRE VII

LA PLANTE — LA CELLULE

Théorie de l'absorption des éléments nutritifs.

Le ou les mécanismes par lesquels les plantes se procurent dans le sol les éléments nutritifs est sujet à controverse. Deux théories s'affrontent et bien que chacune d'entre elle explique un grand nombre de phases et processus d'assimilation des éléments nutritifs, aucune n'est incontestable.

Les deux théories sont fondées sur le phénomène des échanges de bases (ions). Par théorie d'échanges de bases nous entendons que tout ion peut être échangé contre un autre. La réaction d'échange ne se produit que dans les sols qui contiennent de l'argile colloïdale ou de matière organique. Les sables et les limons ont une faible capacité d'échange car ils sont constitués de grains de quartz et de minéraux relativement gros.

Les colloïdes sont des particules extrêmement petites avec une surface relativement importante par unité de volume de sol. Les argiles font partie de ce groupe. Ces particules sont électriquement actives et ont un potentiel électrique considérable. Aussi bien la théorie de la solution de sol que celle du contact, sont fondées sur l'absorption par les racines des éléments fertilisants.

A titre d'exemple, de l'assimilation d'un élément nutritif, on peut indiquer qu'un sol peut emmagasiner 47 tonnes de potassium à l'hectare sur une épaisseur de 15 cm, mais que 45 à 72 kilos seulement sont assimilables. Le potassium est solidement retenu par la roche et les particules d'argile du sol. La désagrégation rend une partie du potassium échangeable et assimilable. Dans les sols colloïdaux, chaque particule d'argile retient une pellicule d'eau. A l'intérieur de cette pellicule, il y a du potassium (K^+). Le K^+ ne peut pas sortir naturellement de la pellicule d'eau mais il doit être échangé contre un autre élément.

Théorie de la solution de sol.

La couche primaire d'eau sous forme de pellicules étroitement adhérentes (hygroscopiques) n'est pas facilement enlevée par les racines. Autour de cette pellicule il y a une pellicule capillaire d'eau, légèrement retenue seulement, que l'on appelle parfois la solution de sol. On estime que c'est dans ce milieu que se produit le processus d'échange.

Les racines des plantes dégagent du gaz carbonique qui se combine avec l'eau pour former l'acide carbonique (H_2CO_3). Cet acide libère les ions H^+ qui peuvent déplacer les ions adsorbés sur les particules d'argile. Les cations libérés à la suite de cet échange peuvent passer dans la solution de sol et être absorbés par l'extrémité des racines. Par exemple, le potassium K peut entrer en solution et être remplacé par l'hydrogène.

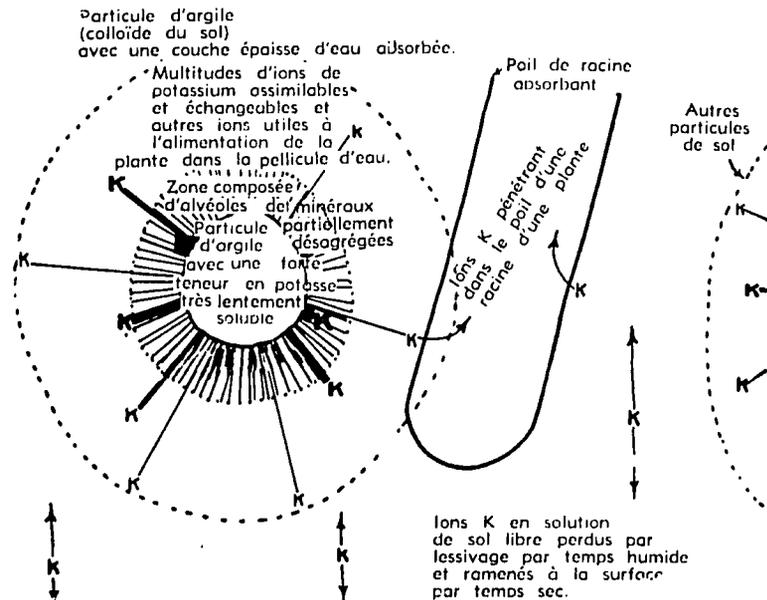


Figure 8. — Théorie de la solution de sol.

Théorie du contact.

Cette théorie ne tient pas compte de la solution de sol et traite directement des rapports entre la particule de sol et la racine. On part de l'hypothèse que la surface de la racine a des ions échangeables directement comme la particule d'argile.

Lorsque le système racinaire est en contact avec la surface de l'argile, un échange d'ions intervient.



En l'occurrence, l'hydrogène H^+ de la racine a changé de place avec le K^+ de l'argile. Cette réaction se produit sans que l'élément fertilisant soit dissous. Les ions « sautent » seulement d'une surface à l'autre.

Ces mêmes théories, peuvent aussi être appliquées à certains autres éléments fertilisants des plantes comme le calcium, le magnésium, l'hydrogène, l'azote et le sodium.

Grâce à l'action de la lumière solaire et des minéraux sur la croissance des plantes, les échanges de bases (ioniques) et la photosynthèse sont les deux grands phénomènes qui rendent la vie possible. En conséquence, les échanges ioniques en tant que caractéristiques des argiles sont le siège de la majeure partie de la chimie du sol. Sans elle il n'y aurait pas de grands réservoirs de base dans le sol, réservoirs dans lesquels les plantes tirent leur nourriture.

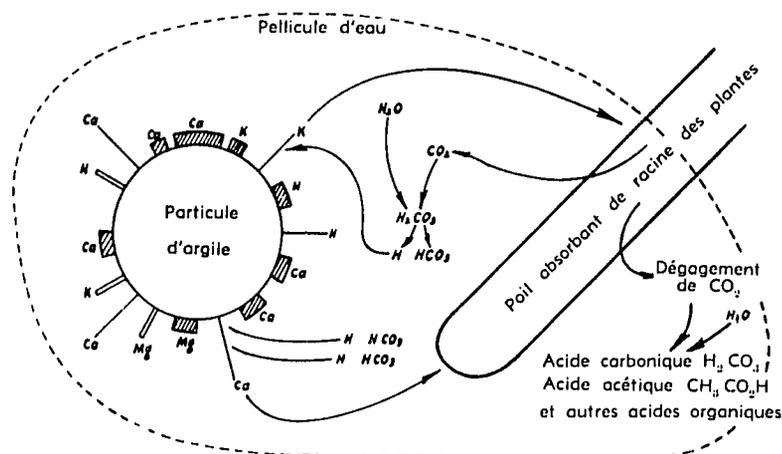


Figure 9. — Théorie du contact.

Effet du pH sur la solubilité des éléments nutritifs.

La réaction du sol (pH) a une action sur l'assimilation des divers éléments minéraux nutritifs.

Par exemple, les sols acides à faible teneur en calcium ou en magnésium peuvent limiter la croissance des plantes.

On sait que la quantité assimilable d'azote, potassium, phosphore, calcium, magnésium, manganèse, cuivre, fer, zinc et autres principes fertilisants varie avec le pH du sol. En général, un sol légèrement acide est celui qui donne les meilleurs résultats. Dans certains cas, un sol à pH trop bas (forte acidité active) libérera des quantités toxiques de certains éléments, comme l'aluminium et le manganèse.

Les phosphates sont les plus insolubles de tous les éléments fertilisants. Pour un pH compris entre 5 et 6, les phosphates sont

fixés surtout sous forme de phosphates de fer et d'aluminium et sont ainsi moins assimilables.

En général, pour les phosphates, la fixation atteint son minimum et l'assimilation son maximum dans la gamme d'acidité légère, entre pH 6,2 et 6,5. Cependant, lorsqu'on acidifie les sols d'alcali et non calcaires neutres des régions arides, en utilisant du soufre, de l'acide sulfurique, du sulfate d'ammoniaque ou autre engrais ammoniacaux, la quantité de phosphore assimilable augmente généralement lorsque le pH tombe à 5. Cette condition peut persister pendant un certain nombre d'années. Finalement cependant, la quantité accrue de phosphore rendue soluble par acidification sera précipitée par le fer et l'aluminium et le sol répondra alors aux lois qui ont été indiquées ci-dessus.

Lorsque le pH passe de 7,5 à 8,5, les phosphates sont précipités par le calcium. Lorsque la valeur du pH dépasse 8,5, généralement la solubilité des phosphates augmente, mais dans ces conditions, la croissance des plantes est restreinte par les effets d'une forte alcalinité et d'une mauvaise structure du sol due à un excès de sels de sodium.

La quantité de zinc, cuivre, manganèse et fer assimilable augmente généralement lorsque le pH diminue et que le sol devient plus acide. A titre d'exemple, dans certains sols, pour un pH de 4,5 la quantité de manganèse libre augmente tellement qu'elle devient toxique pour certaines plantes.

La quantité de molybdène assimilable diminue généralement avec l'abaissement du pH du sol. On a vu que la forte action acidifiable du soufre sur le sol réduisait la quantité de molybdène libre. Ceci réduit l'absorption de molybdène par les plantes qui poussent. Le fait, par exemple, que le trèfle contienne ainsi moins de molybdène rend cette plante sans danger pour le bétail.

La réaction du sol n'a pas une influence aussi grande sur la teneur en potassium libre. Dans les sols fortement acides, le potassium est extrêmement soluble et peut être facilement lessivé. Dans les sols alcalins, une culture intensive et de faible rapport dans les sols minéraux originaux provoque une carence en potassium. Pour un pH compris entre 6 et 7, la quantité de potassium libre atteint son maximum.

Dans les sols fortement alcalins, le calcium et le magnésium peuvent se présenter sous une forme qui n'est pas directement assimilable par les plantes lorsqu'il y a un excès de sodium.

Transformation de l'azote.

La transformation en nitrates de l'azote contenu dans les matières organiques et dans les composés ammoniacaux est un processus important. La transformation en azote nitrique des différentes sources d'azote dans le sol est effectuée par les bactéries

du sol. Ces bactéries subissent l'influence des mêmes conditions que celles qui régissent la croissance des plantes, y compris l'humidité, l'aération et la température du sol. Les bactéries « nitrosomonas » transforment l'azote ammoniacal en nitrites. L'azote nitrite est transformé en azote nitrique par les bactéries nitriques.

Pour que ces bactéries puissent exercer leur fonction, il faut

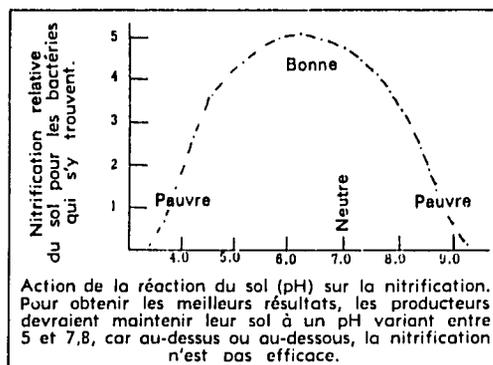


Figure 10. — Fixation de l'azote.

que le pH entre autres facteurs, soit favorable. Dans les sols qui ont un pH inférieur à 5,5, le pouvoir de nitrification de ces bactéries se trouve réduit. Cette réduction de la vitesse de nitrification se produit aussi lorsque le pH est supérieur à 8, ce qui est une raison supplémentaire pour maintenir le pH à un niveau approprié.

L'effet du pH du sol sur les organismes nitrifiants a fait l'objet de longues discussions. Il en est de même pour les autres bactéries et champignons du sol. Chaque catégorie de bactéries ou de champignons a une préférence pour un pH déterminé. Certains ont une activité intense au-dessus de pH 8, comme les organismes qui oxydent le soufre et qui exercent assez bien leur fonction dans un sol alcalin. De telles conditions du sol ont joué un rôle important dans la lutte contre les maladies des plantes. Les applications de soufre sur le sol ont réduit le pH du sol de sorte qu'on a constaté une diminution remarquable des organismes responsables de la pourriture des pommes de terre. Ces organismes ne prospèrent pas dans les sols très acides. D'autres organismes de la pourriture qui attaquent d'autres cultures, comme les choux, ont été traités avec succès d'une manière analogue.

Fonction de la cellule de la plante.

Il y a plus d'un siècle, le grand savant Liebig déclarait : « Le royaume végétal est la source principale d'où l'homme et l'animal tirent ce qu'il leur faut pour croître et vivre. Par contre, les plantes ne trouvent de nouveaux éléments nutritifs que dans les sources inorganiques ».

Cette déclaration historique a préparé la voie à une meilleure compréhension de la manière dont les minéraux, les déchets organiques et les fumiers, l'air, la lumière et l'humidité influent sur la croissance des plantes.

La biologie est la science qui traite à la fois des plantes et des animaux. Du point de vue chimique, les processus vitaux des plantes et des animaux ont un grand nombre de similitudes ¹.

Les animaux, en respirant, absorbent de l'oxygène et dégagent du gaz carbonique. Les plantes utilisent l'oxygène et le gaz carbonique avec l'eau comme matières premières de la photosynthèse et abandonnent leur oxygène. Les plantes utilisent des gaz et des composés minéraux simples comme matières premières ou principes fertilisants et forment des complexes tels que les hydrates de carbone, protéines, graisses, etc. Les animaux utilisent ces complexes comme nourriture.

Les études biochimiques effectuées sur les plantes et les animaux ont révélé une analogie dans un grand nombre de réactions chimiques qui interviennent dans l'utilisation et les transformations des composés indispensables à leur nourriture et à leur croissance.

Le royaume végétal est divisé en quatre groupes : les algues et champignons qui sont des végétaux simples, les mousses, les plantes avec un système ligneux comme les fougères, et le groupe des plantes à semences qui sont les plus importantes pour l'homme.

Les deux derniers groupes sont subdivisés en cinq catégories, les fougères, les conifères, les plantes à graines partant des fleurs, les plantes monocotylédonées et les plantes dicotylédonées.

Le monde est largement tributaire des plantes vertes. Ce sont elles qui fournissent à l'homme sa nourriture. On ne saurait trop souligner l'importance des plantes vertes pour les humains et les animaux. Cependant, les bactéries et les champignons jouent aussi un rôle indispensable à la nature, surtout en ce qui concerne les transformations chimiques qui interviennent dans le sol et dans la décomposition des substances organiques ².

Le vert est la couleur dominante du monde végétal. Cette couleur de la plupart des plantes est due à un mélange de pigments — de chlorophylle A et de chlorophylle B. Les plantes sont divisées en deux catégories, les vertes et les non vertes. Cette différence est fondée sur la façon dont chaque groupe se procure sa nourriture.

1. Les plantes vertes ont le pouvoir de fabriquer elles-mêmes leur propre nourriture. Ceci est dû au fait qu'elles contiennent un pigment vert, la chlorophylle.
2. Les plantes non vertes sont celles qui n'ont pas de chlorophylle et qui ne peuvent pas fabriquer elles-mêmes leur propre nourriture mais qui dépendent d'apports extérieurs.

Le groupe des plantes non vertes qui comme les animaux doit trouver sa nourriture toute prête est constitué par les bactéries (avec quelques exceptions) les champignons et un petit nombre de plantes parasites.

L'une des fonctions de la plante verte est d'emmagasiner l'énergie. Les plantes ont besoin d'énergie pour se nourrir et croître.

Les organismes végétaux simples ont une cellule unique, comme par exemple les champignons et certaines formes d'algues. Des groupes un peu plus complexes ont une simple rangée de cellules ou une plaque de cellules.

Toutes les formes supérieures de la vie végétale (arbres, arbustes, plantes herbacées) ont des millions de cellules et trois types principaux d'éléments structuraux, les tiges, les feuilles et les racines.

Ces éléments structuraux, sont composés de tissus (groupes de cellules), qui remplissent diverses fonctions. Les cellules sont des corps de petites dimensions qui comprennent le protoplasme (matière vivante).

Les plantes, comme les humains, ont un cycle vital : naissance, jeunesse, vie adulte, avec la fonction reproductive, puis la mort. Elles possèdent divers organes qui peuvent remplir les fonctions nécessaires à la vie. La tige supporte les feuilles et les fleurs, distribue à travers la plante l'eau et les sels minéraux venant du sol et les principes fertilisants élaborés dans certains tissus qui en ont besoin pour croître ou pour emmagasiner des réserves alimentaires en vue d'un usage futur; la tige elle-même peut emmagasiner aussi des réserves alimentaires. Les racines fixent la plante au sol, absorbent l'eau et les sels minéraux du sol, ou la solution de sol, et peuvent aussi emmagasiner une certaine quantité d'éléments fertilisants. Les feuilles fabriquent de la nourriture et abandonnent l'eau sous forme de vapeur d'eau et peuvent aussi emmagasiner des produits alimentaires. La cellule végétale simple constitue l'unité structurelle et fonctionnelle de la plante. Elle est la plus petite et la plus mystérieuse usine chimique capable d'absorber des matières, prendre et utiliser l'énergie solaire, produire des aliments à partir des matériaux et de l'énergie qu'elle absorbe, libérer par la respiration de l'énergie pour diverses activités, assimiler les éléments nutritifs (en transformant les éléments insolubles en éléments solubles), élaborer le protoplasme. Tous ces processus sont activés par un groupe de protéines complexes appelées enzymes.

La majeure partie de la chlorophylle se trouve dans les plastes qui sont les éléments spécialisés du cytoplasme de la cellule. On trouve trois types de plastes dans la plante : ils se distinguent les uns des autres d'après leur couleur et leurs fonctions. Les chloroplastes (sauf dans les algues bleues-vertes) sont les seuls qui pos-

sèdent de la chlorophylle. Les leucoplastes sont des plastes incolores qui sont situés dans les cellules de la plante non exposées à la lumière (racines) ou dans les cellules exposées à une lumière intense. Ce sont les organes de la cellule qui accumulent les réserves alimentaires et on en trouve par exemple dans les pommes de terre.

Les chromoplastes sont à l'origine de la couleur rouge, jaune ou orange d'un grand nombre de fruits et légumes ainsi que des pétales de beaucoup de fleurs. Ces couleurs sont dues à des pigments appelés caroténoïdes. La carotte est un exemple frappant d'un organisme de plantes qui possède du carotène. La fonction de ces carotènes n'est pas connue exactement bien qu'il semble prouvé qu'elles jouent un rôle dans certains processus respiratoires.

Le processus de conversion de l'énergie intervient dans les plastes qui contiennent de la chlorophylle, les chloroplastes. Le chloroplaste est le principal laboratoire de denrées alimentaires au monde.

On sait que seize éléments sont nécessaires à la plante pour croître. Ces éléments sont le carbone, l'hydrogène, l'oxygène que la plante se procure dans l'air et l'eau; l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre, le zinc, le fer, le manganèse, le bore, le cuivre, le molybdène et le chlore qu'elle tire du sol.

De même qu'une usine, la plante absorbe ses matières premières et avec l'aide de l'énergie de la lumière fournie par les rayons du soleil, elle utilise par photosynthèse le carbone, l'hydrogène et l'oxygène en combinaison avec les éléments précités afin de se constituer des réserves. Quand ces matières premières ont été bien mélangées et les réactions chimiques ont eu lieu, il se forme des sucres.

Ces sucres sont utilisés comme aliment par les cellules de la plante et la fraction non utilisée est transformée en amidon, graisse, huile, cellulose et fibre de lignine. Ces substances représentent 95 % environ du poids sec d'une plante.

Les 5 % restant du poids sec d'une plante contiennent les trois éléments principaux, l'azote, le phosphore et le potassium, les éléments secondaires — calcium, magnésium et soufre; les oligo-éléments, — fer, zinc, manganèse, cuivre, bore, molybdène et chlore.

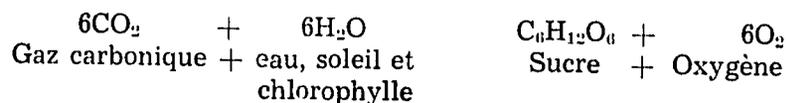
La photosynthèse est le processus par lequel les plantes qui contiennent de la chlorophylle, synthétisent en présence de la lumière solaire des composés organiques à partir de l'eau et du gaz carbonique. Les composés chimiques qui appartiennent à d'autres groupes comme les graisses et protéines sont obtenus par les plantes à partir des hydrates de carbone et de matières premières simples, mais dans ces cas l'énergie utilisée n'est pas l'énergie solaire, et le processus n'est pas la photosynthèse.

Dans les conditions ordinaires de température, d'humidité, etc. nécessaires à la croissance des plantes, la photosynthèse intervient si les trois facteurs essentiels, la chlorophylle, la lumière et le gaz carbonique sont présents.

Ce processus de photosynthèse par lequel la lumière ou l'énergie radiante est capturée par les plantes peut être considéré comme la combinaison, au moyen de la lumière, de composés simples, d'eau et de gaz carbonique pour former des sucres et de l'oxygène. On considère que le glucose est l'un des principaux sucres fabriqués par ce processus.

Le glucose peut être utilisé de plusieurs façons différentes, être décomposé au cours du processus de la respiration libérant ainsi de l'énergie ou transformé en un certain nombre d'hydrates de carbone très proches comme le sucrose (canne à sucre) ($C_{12}H_{22}O_{11}$), ou la cellulose (matière qui forme la paroi de cellule) ou en amidon (réserves alimentaires) transformé en substances grasses; combiné avec de l'azote, du soufre et du phosphore, pour former des protéines et il est employé comme base chimique d'un grand nombre d'autres substances que l'on trouve dans la cellule, telles que la chlorophylle, les glucosides et les alcaloïdes.

Outre ce produit fini qu'est le glucose, il se forme un sous-produit, l'oxygène qui ne joue plus aucun rôle dans le métabolisme de la plante. Cependant, une partie de cet oxygène est utilisée dans la respiration de la plante. Les hommes de science expriment ce processus comme suit :



Dans les cellules où le glucose s'accumule plus rapidement qu'il n'est utilisé, il peut être transformé et conservé sous forme de grains d'amidon dont la formule est $C_6H_{10}O_5$, dans l'eau de la sève de la cellule. Lorsqu'il est utilisé par la plante, le grain d'amidon est digéré ou retransformé en sucre par simple addition d'eau (H_2O).

Les hydrates de carbone, les graisses et les protéines ainsi que les substances azotées simples sont les aliments des plantes comme des animaux. Ils sont les composés organiques qui ont été obtenus à partir de matières premières comme l'eau, le gaz carbonique, les nitrates, le phosphate, les potassiums et les sulfates. Les matières premières sont les composés non organiques. La cellule absorbe les aliments (substance non vivante) avec lesquels elle a synthétisé du protoplasme (substance vivante).

Le processus par lequel les composés non organiques (matières premières) s'accumulent dans le protoplasme vivant de la cellule de la plante est appelé métabolisme ou assimilation. On n'a pas encore expliqué le mécanisme de toutes les transformations chi-

miques qui interviennent dans ce processus, pas plus que les rapports énergétiques.

Les cellules animales transforment les denrées alimentaires en protoplasme et toutes les cellules d'une plante peuvent agir de même. Ainsi nous retrouvons un parallélisme étroit entre les processus de la vie végétale et animale.

(1) R. W. Thatcher, Cornell University, Ithaca, N.Y. The Chemistry of Plant Life, McGraw-Hill Book Co., Inc., N.Y.

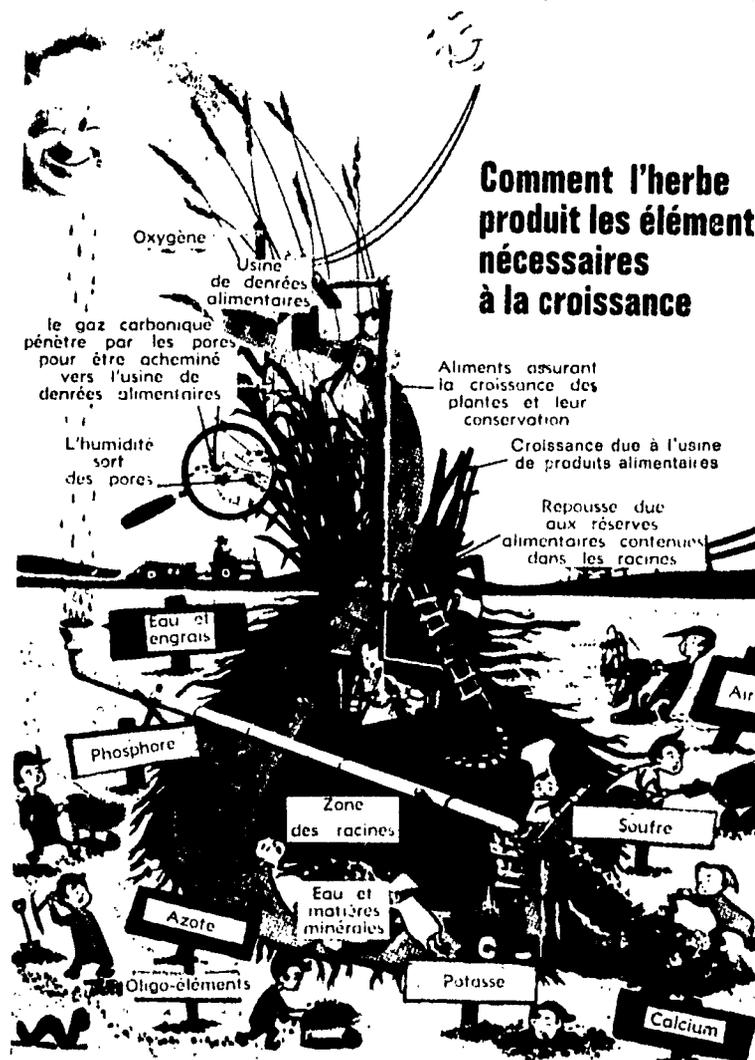
(2) W. W. Robbins and T. E. Weier, U.C. Exp. Sta., Davis, Calif., Botany An Introduction to Plant Science, John Wiley & Sons, Inc., N.Y.

Bibliographie citée avec la permission des propriétaires des droits d'auteur et les éditeurs.

Comment vit une plante

Le schéma ci-dessous indique comment le profane comprend le mécanisme de la croissance des plantes. Ce n'est bien entendu pas scientifiquement exact mais il montre bien toute la structure nécessaire pour que le processus de la vie végétale puisse se dérouler normalement.

Photo USDA-Soil Conservation Service



CHAPITRE VIII

ÉLÉMENTS NÉCESSAIRES A L'ALIMENTATION DES PLANTES

Les seize éléments déjà énumérés comme étant indispensables à la croissance et au développement normaux des plantes comprennent trois de ceux que les plantes se procurent généralement dans l'eau et l'air, à savoir le carbone, l'hydrogène et l'oxygène.

Les autres éléments sont divisés généralement en trois catégories :

Azote	}	Eléments majeurs nécessaires à l'alimentation des plantes
Phosphore		
Potasse		
Calcium	}	Eléments secondaires nécessaires à l'alimentation des plantes
Magnésium		
Soufre		
Bore	}	Oligo-éléments nécessaires à l'alimentation des plantes
Manganèse		
Cuivre		
Zinc		
Fer		
Molybdène		
Chlore		

FONCTIONS DES ÉLÉMENTS DANS LES PROCESSUS DE CROISSANCE VÉGÉTALE

Carbone. — Il constitue une brique dans la paroi de la cellule du tissu; c'est un constituant de sucre, un atome qui influe sur

la saveur des jus, un élément de la structure de la couleur et même un élément du parfum de la fleur.

Hydrogène. — L'un des deux éléments qui constituent l'eau. Cet élément est une partie essentielle de la plante. Avec le carbone et l'oxygène, il est utilisé par la cellule de la plante pour fabriquer des sucres et des amidons simples.

Oxygène. — Un atome de cet élément combiné avec deux atomes d'hydrogène constitue l'eau. L'oxygène se combine avec d'autres éléments pour former des oxydes et des composés organiques complexes.

ÉLÉMENTS MAJEURS NÉCESSAIRES A L'ALIMENTATION DES PLANTES

Azote. — C'est un élément indispensable à la croissance de la plante. Il assure une végétation rapide et donne à la plante cette couleur verte qu'elle doit avoir. Il améliore la qualité des feuilles et tend à accroître la teneur en protéines de toutes les cultures.

Symptômes que présente une plante manquant d'azote :

1. Croissance rabougrie.
2. Couleur jaune pâle.
3. Jaunissement des extrémités et du bord des feuilles commençant au bas de la plante.
4. Faible teneur en protéine.

Phosphore. — Indispensable à la croissance de toutes les plantes en tant qu'ingrédient actif du protoplasme. Il stimule une croissance rapide ainsi que la formation des racines, hâte la maturité, favorise la production de semences et contribue à la robustesse générale des plantes.

Symptômes que présente une plante manquant de phosphore :

1. Faible dimension et en particulier développement insuffisant des racines.
2. Tige fusiforme.
3. Maturité plus tardive.
4. Coloration pourpre sur le feuillage de certaines plantes; les pointes des vieilles feuilles se nécrosent souvent.
5. Absence ou mauvais développement des fruits ainsi que des graines.

Potassium. — On ne connaît pas grand chose au sujet du rôle du potassium dans les plantes. On est beaucoup mieux renseigné sur ce qui se passe lorsqu'il y a carence de cet élément. A partir de ces renseignements on a échafaudé des théories selon lesquelles le potassium permet de mieux résister aux maladies, au froid et autres conditions défavorables et on estime qu'il joue

un rôle dans le processus avec lequel la plante produit des amidons et des sucres à partir du gaz carbonique et de l'eau.

Symptômes que présentent les plantes manquant de potassium :

1. Les plantes poussent lentement.
2. Les bords des feuilles ont un aspect desséché qui se manifeste tout d'abord sur les vieilles feuilles.
3. La tige est faible et les plantes versent facilement.
4. Les graines et les fruits sont vidés.
5. La résistance de la plante aux rouilles et autres maladies est moins forte.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS SECONDAIRES DES PLANTES

Calcium. — On ne connaît pas toujours le rôle exact que joue le calcium dans la croissance des plantes, mais il semble qu'il contribue au déplacement des hydrates de carbone dans la plante. On le considère comme indispensable à la santé des parois des cellules et comme facilitant le développement du système racinaire. Le calcium est un élément actif des produits de chaulage utilisés pour corriger l'acidité du sol et on le trouve dans le gypse (sulfate de calcium) qui est utilisé pour traiter les sols salins ou alcalins.

Les symptômes de carence en calcium sont les suivants :

1. L'extrémité de la plante (bourgeon terminal) meurt en cas de carence grave.
2. Les bords des feuilles atteintes (généralement les plus récentes) ont une apparence dentelée. Le feuillage qui n'est pas atteint aussi gravement est généralement d'une couleur vert sombre anormale.
3. La plante a tendance à perdre prématurément ses fleurs et ses bourgeons.
4. La structure de la tige est affaiblie.

Magnésium. — C'est un élément indispensable à la chlorophylle et il facilite probablement le déplacement de l'amidon dans la plante. On estime aussi qu'il est indispensable à la formation des graisses et des huiles et qu'il contribue probablement au déplacement et à l'absorption du phosphore par les plantes.

Les symptômes de carence en magnésium sont les suivants :

1. Les feuilles perdent leur couleur à l'extrémité et entre les nervures, la décoloration commençant sur les feuilles inférieures et montant vers le haut, suivant la gravité de la carence.
2. Les feuilles sont anormalement minces.

3. Cas de carence grave, le tissu malade peut se dessécher et mourir.
4. Les feuilles de la plante sont cassantes et ont tendance à s'incurver vers le haut.
5. Sur les arbres, les rameaux sont faibles et sujets à des infections par les champignons; ils perdent généralement leurs feuilles prématurément et souvent meurent au cours du printemps suivant.

Soufre. — C'est un composé de la cystine, élément constitutif de la protéine. Le soufre facilite aussi la synthèse des huiles.

Les symptômes de carence en soufre sont les suivants :

1. Les feuilles inférieures ont une couleur vert-jaunâtre.
2. Les tiges ont un faible diamètre, elles sont dures et ligneuses.
3. Malgré le fait que les racines soient bien développées et étendues, elles ont un faible diamètre.

OLIGO-ÉLÉMENTS NÉCESSAIRES AUX PLANTES

(Nécessaires en petites quantités pour le développement normal de la plante)

Bore. — Il est associé à l'utilisation du calcium dans la plante. Chaque fois que dans une plante il y a déséquilibre entre la proportion de calcium par rapport au bore, du fait d'une carence de ce dernier, la partie terminale de la plante se développe mal. La quantité nécessaire aux plantes est extrêmement faible et si elle dépasse légèrement celle qui est nécessaire, le milieu devient très toxique et provoque souvent la mort de la plante. Dans l'Ouest, on trouve des régions déficitaires en bore et d'autres où le bore est excédentaire.

Symptômes que présente une plante manquant de bore :

1. Une carence aiguë de bore commence par produire un changement marqué dans l'extrémité du bourgeon terminal de la plante. Les choux-fleurs manquant de bore sont petits, déformés et parsemés de zones rougeâtres ou brunâtres.
2. Le bourgeon terminal a une couleur vert clair plus pâle à la base qu'à l'extrémité.
3. Sur les racines et tubercules, la carence en bore provoque la maladie du « cœur brun » qui est caractérisée par la présence de taches sombres sur la partie la plus épaisse de la racine ou bien provoque un éclatement du centre de la plante.
4. Les fruits comme les pommes présentent des symptômes de liège interne et externe.
5. La tige du céleri se fend.

TENEUR EN ELEMENTS NUTRITIFS DES PLANTES

Plante	Rendement	Partie de la plante	Livres de N	Livres de P ₂ O ₆	Livres de K ₂ O	Total
Coton	750 livres	charpe				
	1 750 livres	graine	60	30	20	110
	2 000 livres	feuilles, capitules et tiges	45	15	45	105
	Total		105	45	65	215
Tabac	1 800 livres	feuilles	65	13	95	173
		tiges	30	12	40	82
		Total	95	25	135	255
Maïs	100 boisseaux	grain	90	35	25	150
	3 tonnes	fouillage	70	25	95	190
	Total	160	60	120	310	
Blé	40 boisseaux	grain	50	25	15	90
	1,5 tonnes	paille	20	5	35	60
	Total	70	30	50	150	
Avoine	80 boisseaux	grain	50	20	15	85
	2,0 tonnes	paille	25	15	80	120
	Total	75	35	95	205	
Orge	65 boisseaux	grain	57	26	19	102
	1,5 tonnes	paille	17	6	44	67
	Total	74	32	63	169	
Pommes de terre	500 boisseaux	tubercule	100	40	190	330
		tiges	125	20	140	285
		Total	225	60	330	615
Patates douces	300 boisseaux	racines	45	15	75	135
		tiges	30	5	40	75
		Total	75	20	115	210
Betteraves sucrières	20 tonnes	racines	75	30	70	175
		fanes	75	30	100	205
		Total	150	60	170	380
Tomates	20 tonnes	fruit	120	40	160	320
		tiges	80	40	240	360
		Total	200	80	400	680
Cantaloup	7 tonnes	fruit	30	11	60	101
	1,5 tonnes	tiges	20	1	30	51
	Total	50	15	90	155	
Choux Céleri	20 tonnes	le tout	130	35	130	295
	700 mannes (60 livres)	le tout	160	130	170	760
Épinards	9 tonnes	le tout	90	30	45	165
Pommes	1 000 boisseaux	fruit	30	10	45	85
		feuilles et bois	15	5	10	30
		Total	45	15	55	115
Pêches	600 boisseaux	fruit	35	20	65	120
		feuilles et bois	60	10	55	125
		Total	95	30	120	245
Raisins	5 tonnes	fruit	15	10	25	50
		feuilles et bois	20	5	20	45
		Total	35	15	45	95
Oranges	800 boîtes	fruit	85	30	140	255
		feuilles et bois	35	10	35	80
		Total	120	40	175	335
Soja	40 boisseaux	grain	150	35	55	240
		paille	30	10	25	65
		Total	180	45	80	305
Arachides	2 500 livres	noix	90	10	15	115
	4 500 livres	tiges	105	25	95	225
	Total	195	35	110	340	
Haricots	30 boisseaux	grain	73	23	24	120
		paille	22	7	31	60
		Total	95	30	55	180
Luzerne	4 tonnes	foin	180	40	180	400
Méillot	5 tonnes	toute la plante	185	45	165	395
Trèfle violet	2 tonnes	toute la plante	80	20	70	170
Lodi	2 tonnes	toute la plante	130	30	120	280
Lespédéze	2 tonnes	toute la plante	85	20	40	140
Mouquette	2 tonnes	toute la plante	125	25	90	240
Fléole des prés	2 tonnes	toute la plante	55	26	60	135

Cuivre. — Il agit comme activateur des autres éléments dans la plante. Il semble favoriser la formation de vitamines A et exercer une fonction régulatrice lorsqu'il y a trop d'azote dans le sol. Un excès de cuivre est très toxique.

Symptômes de carence en cuivre :

1. Le feuillage et les autres parties de la plante ont un aspect chlorotique qui lui donne une apparence décolorée.
2. Dans les régions productrices d'agrumes, l'apoplexie des jeunes plants est due à une carence en cuivre.
3. Des fruits provenant d'agrumes qui ont manqué de cuivre sont couverts de tâches irrégulières avec des excroissances rouges ou brunes; le jus a une faible teneur en acide et un goût fade.

Fer. — Il est indispensable à la formation de chlorophylle. Le fer semble participer au processus d'oxydation qui libère l'énergie des sucres et des amidons.

Symptômes d'une carence en fer :

1. Chlorose des feuilles, les plus jeunes étant les premières atteintes. Les extrémités et les bords des feuilles gardent plus longtemps leur couleur verte. Les nervures restent vertes.
2. Les feuilles malades sont recourbées vers le haut.

Manganèse. — Il est étroitement associé au cuivre ainsi qu'au zinc et agit apparemment comme un catalyseur dans le processus de croissance.

1. Les symptômes les plus apparents de carence en manganèse sont la chlorose entre les nervures des jeunes feuilles. Même les plus petites ramifications des nervures restent vertes tandis que le tissu entre les nervures est d'une couleur vert-jaune ou presque blanche.
2. La décoloration est souvent suivie par l'apparition de tâches de tissus nécrosés qui peuvent tomber donnant à leur feuille un aspect déchiqueté.
3. Toute la plante risque d'être rabougrie.

Molybdène. — Il est associé à l'utilisation de l'azote. Il en faut de très faibles quantités. Les plantes qui contiennent un excès de cet élément sont toxiques pour le bétail.

Symptômes de carence en molybdène :

1. Les plantes qui manquent de molybdène sont rabougries et de couleur jaune ressemblant beaucoup aux plantes qui manquent d'azote.

Zinc. — Il est apparemment lié au fer et au manganèse dans la formation de la chlorophylle.

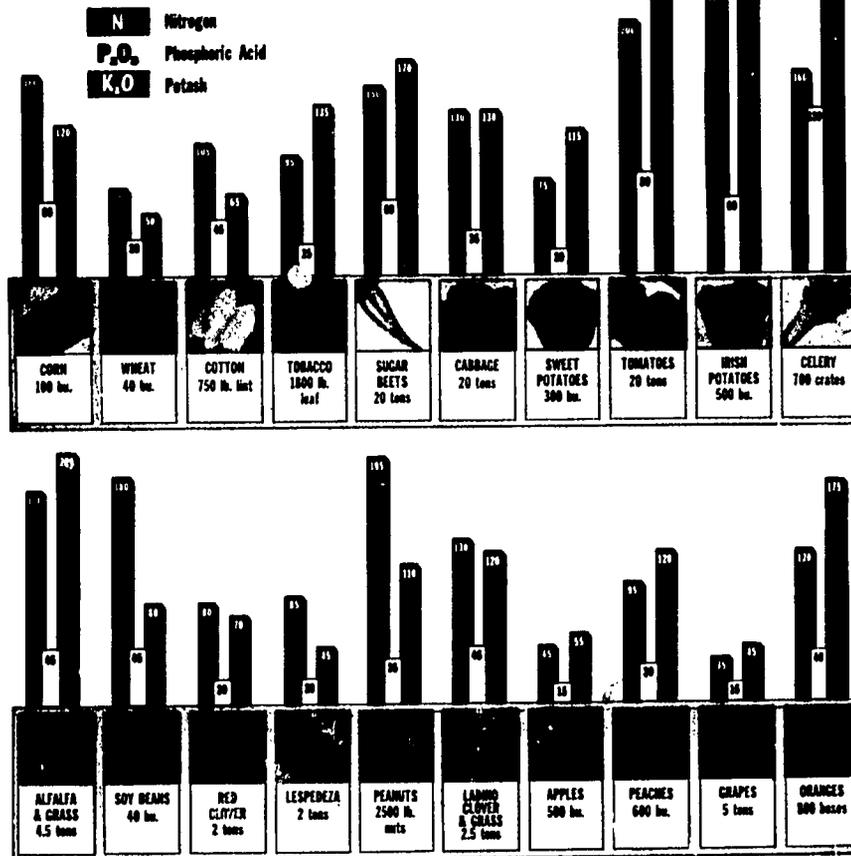
Symptômes de carence en zinc :

1. Les feuilles terminales sont anormalement petites; c'est ce qu'on appelle le rabougrissement des feuilles des arbres fruitiers.
2. La formation des bourgeons floraux est fortement réduite.

PLANT-FOOD UTILIZATION

AMOUNTS IN POUNDS CONTAINED IN
TOTAL PLANT WITH GOOD ACRE YIELDS

COMPILED FROM PUBLISHED DATA



LEGUMES CAN OBTAIN THE GREATER
PART OF THEIR NITROGEN FROM THE AIR

PRINTED BY U. S. A.

Planche XII—Utilisation par les plantes des trois principaux elements:
l'azote, le phosphore et le potassium.



Planche XIII—A gauche, maïs souffrant d'une insuffisance grave d'azote. Notez que le jaunissement commence à la pointe des feuilles inférieures et remonte le long de la nervure centrale, produisant ainsi un V. Au centre, symptôme de sécheresse extrême. Contrairement à l'insuffisance d'azote, la sécheresse affecte aussi bien les feuilles supérieures que les feuilles inférieures. A droite, la plante souffre d'une grave carence en potassium qui se manifeste par un dessèchement de la bordure.

Planche XIV—Cette planche représente plusieurs stades de carence en azote sur des plants de pommes de terre. Le plant représenté en haut et à gauche est normal. Celui à droite commence à souffrir d'une carence en azote, dont les principaux symptômes sont l'enroulement des folioles et une réduction générale de la dimension et de la vigueur. Au dessous, la feuille de gauche est normale. La feuille de droite provient d'un plant de pommes de terre poussant dans un sol très pauvre en azote. Elle est caractérisée par une couleur vert clair, au centre des folioles et par une nette déperdition de chlorophylle sur les bords, avec tendance au flétrissement et à l'enroulement des bords.

Planche XV—Cette photographie représente une carence en phosphore qui provoque le rougissement de certaines variétés de maïs. La plupart des plants ne présentent pas de signes visibles de carence en phosphore. En général, le premier symptôme est une réduction de la croissance, parfois peu apparente. Normalement, la meilleure façon de déterminer si la teneur en phosphore est suffisante ou non pour assurer une croissance satisfaisante de la plante, consiste à faire une analyse concurrente du sol et du tissu de la feuille ou de la plante. Cf. Chapitre IX.



Planche XIV—Carence en azote de la pomme de terre.



Planche XV.- Grave carence en phosphore; les feuilles de certaines variétés de maïs prennent une couleur pourpre.



Planche XVI—Carence en potassium de la luzerne.



Planche XVII—Carence en calcium du chou-fleur.



Planche XVIII—Carence en bore du céleri.

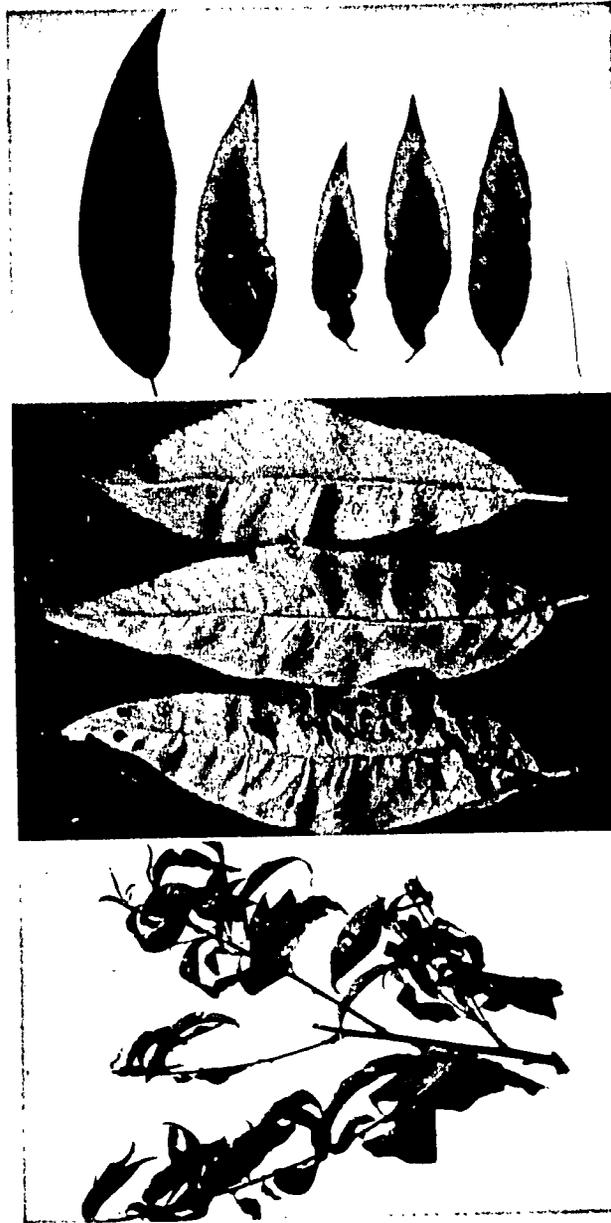


Planche XIX—Symptômes de carence du pêcher. De haut en bas : carence en magnésium des feuilles, carence en azote des feuilles, carence en cuivre des feuilles et des rameaux.

AGRUMES SOUFFRANT DE CARENCES EN OLIGO-ELEMENTS



Planche XX—Carence en zinc de feuilles d'oranger; à gauche, légère, à droite, grave.

Planche XXI—Carence en magnésium de feuilles d'oranger Valencia; modérée à gauche, grave à droite.



Planche XXII—Carence en fer de feuilles d'oranger; légère à gauche, grave à droite. Notez que les nervures restent vertes.

Planche XXIII—De gauche à droite, carence légère à modérée en manganèse sur des feuilles de citronnier.



Planche XXIV—Carence en magnésium du coton.

3. Certaines plantes ont des feuilles marbrées de tissu nécrosé ou mort.
4. Les rameaux commencent parfois à dépérir au bout d'un an.

Le chlore est le dernier oligo-élément dont la présence a été jugée indispensable. On estime que dans la vie des plantes il stimule l'activité de certains enzymes et influence le métabolisme des hydrates de carbone, la production de chlorophylle et la capacité de rétention de l'eau du tissu de la plante. En général il n'y a pas de carence en chlore dans les sols. Sauf dans les régions humides, les pluies normales fournissent suffisamment de chlore au sol.

De nombreux agronomes considèrent le sodium comme un élément nécessaire aux plantes. Bien que le sodium ne soit peut-être pas indispensable à la croissance de toutes les plantes, il est nécessaire pour assurer un rendement maximal et une croissance satisfaisante de certaines espèces. Le céleri, la betterave à sucre, les chardons, les betteraves potagères et les navets réagissent nettement au sodium. Il a été prouvé que l'on peut obtenir de bons résultats par l'application de sodium aux sols à faible teneur en potassium ou en sodium ou en l'un et l'autre.

En ce qui concerne l'iode et le cobalt, il semble que ces éléments soient indispensables aux animaux et aux humains et dans ce sens il peut être justifié de les classer comme éléments essentiels pour les plantes. En fait, on a trouvé que le cobalt n'était indispensable à la fixation de l'azote par les bactéries que dans les nodules de la luzerne. Le cobalt est considéré comme un constituant nécessaire du facteur protéine animal. On sait que l'iode est nécessaire aux animaux et aux humains. Il n'y a pas d'évidence certaine que cet élément soit indispensable à la vie des plantes. Certaines études semblent indiquer que l'iode stimule la croissance des plantes. Des travaux effectués par d'autres chercheurs ont conduit à la conclusion qu'il peut y avoir un rapport entre l'iode et la fonction chlorophyllienne.

Il existe des films de 16 mm en couleur ou en noir et blanc et édités en anglais qui illustrent les faits essentiels de la nutrition des plantes et des carences en éléments fertilisants, ainsi que des collections de diapositives de 35 mm en couleur qui représentent les symptômes de carence des plantes.

Pour tous renseignements, s'adresser à la

CALIFORNIA FERTILIZER ASSOCIATION

2222 WATT Ave.

Sacramento, California 95825

U.S.A.

CHAPITRE IX

ESSAIS PERMETTANT DE DIAGNOSTIQUER LES PROBLÈMES RELATIFS AUX SOLS ET AUX CULTURES

Analyse des sols.

Un Comité californien sur les méthodes d'analyse des sols, composé d'universitaires et de représentants de l'industrie des engrais a fait à ce sujet les déclarations suivantes :

1. *Une analyse du sol ne vaut que dans la mesure où l'échantillon analysé est représentatif.* Si cet échantillon n'est pas représentatif du problème étudié, les résultats sont sans utilité.

2. Les sols sont analysés à différentes fins. Il ne semble pas possible de formuler une recommandation uniforme pour le prélèvement d'échantillon. L'échantillon doit donc être prélevé en fonction du problème étudié. Par exemple si l'on étudie la salinité, il faut prélever des échantillons distincts des croûtes de surface et de différentes couches représentant chacune une texture ou structure différente et allant jusqu'au travers de la zone des racines et jusqu'à la nappe phréatique si possible. Pour l'étude de la fertilité, il est généralement recommandé de prélever un échantillon jusqu'à la profondeur labourée, car il est admis que l'épaisseur labourée est la partie la plus utile du sol, et sera la plus représentative de sa capacité à fournir des éléments fertilisants. Dans l'Ouest, une telle recommandation ne s'applique évidemment pas aux vergers et l'échantillon doit représenter la zone des racines, sans tenir compte de la couverture végétale enfouie.

3. Dans toutes les recommandations relatives aux prélèvements d'échantillons pour mesurer la fertilité du sol, il est conseillé de prendre des échantillons composites. Pour chaque échantillon, il faut prélever des fractions en trois à trente endroits différents afin d'obtenir un échantillon composite. Chaque échantillon doit

représenter une série de conditions censées être uniformes. Etant donné que dans tous les sols à alcali on constate une très grande différence à de courtes distances, le résultat des échantillons composites est parfois erroné. Il est suggéré de prélever des échantillons séparés, représentant l'ensemble de la région étudiée. Les variations dans la croissance de la végétation spontanée ou des cultures sont souvent des indices utiles qui montrent l'endroit où doivent être prélevés les échantillons. Il faut prélever dans un champ autant d'échantillons que nécessaire pour représenter des conditions manifestement différentes, même si le champ a une faible superficie.

4. Il est généralement recommandé que l'échantillon soit prélevé à un moment quelconque, sauf lorsque le sol est excessivement mouillé et de sécher l'échantillon à l'air avant de l'expédier et le cas échéant de le fractionner en sous-échantillon d'environ un demi-litre. Ces échantillons doivent être expédiés au laboratoire dans des récipients solides, étanches et imperméables. Il est indispensable de recueillir et conserver les échantillons de sols salins dans des récipients imperméables pour empêcher que le sel se déplace par capillarité dans le récipient.

5. Il y a lieu de dessiner une carte représentant la région étudiée et l'emplacement des divers sondages qui constituent chaque échantillon composite. Il convient d'indiquer les cultures pratiquées, les variations des cultures et les variations topographiques. Les variations pédologiques (du sol) sont bien entendu extrêmement importantes et déterminent le plus souvent le choix de la zone où seront prélevés les échantillons.

6. Les échantillons doivent être marqués lisiblement et chacun d'eux doit être accompagné d'une déclaration indiquant l'état des cultures, les antécédents cultureux, les cultures futures, les fumures pratiquées et d'autres données importantes.

Les suggestions suivantes concernent l'analyse et la présentation des conclusions :

1. Indiquer clairement ce que représente l'échantillon.
2. Indiquer la méthode d'extraction et le rapport solution-sol.
3. Indiquer la méthode d'analyse.
4. Tous les rapports doivent indiquer clairement à quoi se rapportent les chiffres. Par exemple, si on exprime des chiffres en parties par million, il faut mentionner s'ils représentent des parties par million de sol séché à l'air, de sol humide, ou de sol déshydraté, ou de la solution servant à l'extraction.

Enfin, il convient de souligner que l'analyse du sol ne constitue qu'une partie des éléments nécessaires pour donner des conseils professionnels judicieux.

Dans *Soil Science*, volume 66, n° 2, page 83 (août 1948), le professeur Bray indique ce qui suit dans un article intitulé « Conditions à remplir pour bien réussir les analyses de sols ».

« Les conditions à remplir pour bien réussir une analyse de sol peuvent donc être résumées comme suit :

1. La solution employée pour l'extraction ainsi que la méthode utilisée doivent extraire la quantité totale (ou une fraction proportionnelle) de la forme ou des formes assimilables d'un élément fertilisant contenue dans les sols à propriétés variables.
2. Il convient de mesurer avec une exactitude et une rapidité suffisantes la quantité du principe fertilisant contenue dans l'extrait.
3. Il y a lieu d'établir la corrélation entre les quantités extraites, la croissance et la réaction de chaque culture à cet élément dans des conditions différentes. »

Ceci montre bien l'ampleur du problème dans l'Ouest où il y a une grande variété de conditions pédologiques et climatiques, sans oublier que le nombre de cultures pratiquées est tellement vaste que, dans la plupart des cas, nous ne possédons pas suffisamment de données qui puissent servir de base à la corrélation nécessaire.

Un article paru en décembre 1950 dans « California Agriculture » et intitulé « Phosphate Test for Grain Lands » (Analyse des phosphates dans les terres à céréales), a signalé des progrès réalisés dans ce domaine. Il a été indiqué que l'analyse des phosphates contenus dans le sol à Bingham a été liée avec beaucoup de succès, à la réaction des phosphates sur les cultures de céréales dans quarante comtés de l'Etat.

Plus récemment, en 1954, l'U.S.D.A. a mis au point un essai simple pour déterminer la quantité de phosphore disponible. Cette nouvelle méthode pour extraire le phosphore du sol est décrite dans la circulaire n° 939 de l'U.S.D.A. intitulée « Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate » (Estimation du phosphore disponible dans le sol par extraction avec du bicarbonate de soude). Cette brochure est vendue par le U.S. Govt. Printing Office, Washington 25, D.C. au prix de 15 cents par exemplaire. Cette méthode d'analyse du phosphore dans le sol a été adaptée aux conditions propres à la Californie par les chercheurs de la station expérimentale U.C. M. Mikkelsen, du Département de l'Agronomie à Davis, Californie, signale une excellente corrélation entre ces analyses de sol et la réaction du phosphore sur les sols portant des cultures de coton et de céréales.

Interprétation des analyses du sol pour les éléments fertilisants.

Les méthodes chimiques employées pour analyser les sols diffèrent considérablement d'un laboratoire à l'autre. Il est donc pratiquement impossible de fixer une échelle générale de valeurs

faibles, moyennes et élevées pour l'azote, le phosphore et le potassium. Les résultats donnés par une méthode d'analyse des sols devraient être complétés par une grande expérience acquise avec des essais d'engrais dans les cultures en plein champ avant d'être en mesure de faire des interprétations qui aient une réelle signification. En conséquence, il serait peu utile de présenter une série de tableaux sur la teneur en éléments fertilisants du sol qui pourraient être utilisés pour les interprétations des résultats des analyses. Les pages suivantes donnent des formulaires de rapports d'essais qui semblent être complets et contenir toutes les données nécessaires.

Concentration en ions hydrogène (détermination du pH).

La méthode qui est probablement la plus connue et la plus largement utilisée pour mesurer les réactions d'un sol est la détermination du pH qui mesure la concentration en ions d'hydrogène dans le sol.

L'interprétation de l'échelle pH des réactions du sol utilisée en Californie par le service de pédologie est la suivante :

pH supérieur à 8,5	Sols fortement basiques (ces sols contiennent généralement une forte quantité de calcium et de magnésium précipités et une quantité appréciable de sodium échangeable.
pH 7,8 — 8,4	Sols modérément basiques (il s'agit des sols qui contiennent de la chaux à l'état libre).
pH 7,3 — 7,7	Sols légèrement basiques.
pH 6,6 — 7,2	Sols neutres.
pH 6 — 6,5	Sols légèrement acides.
pH 5,5 — 5,9	Sols modérément acides.
pH inférieur à 5,5	Sols fortement acides.

La plupart des cultures réussissent bien avec un pH s'échelonnant entre 5 et 8,5. Un pH inférieur à 5 indique une forte concentration en ions hydrogène qui risque d'être critique pour certaines cultures. A l'autre extrémité de l'échelle, au-dessus d'un pH 8,5, le sol peut avoir une forte teneur en bases, principalement du sodium, du magnésium et du calcium, et, de ce fait, ne pas convenir à plusieurs cultures.

Détermination de la teneur en alcali du sol.

Le laboratoire du service agronomique qui effectue les analyses de sol et la détermination du pH et qui probablement connaît parfaitement le problème particulier qui se pose sur place, devrait

être en mesure d'interpréter avec le maximum d'exactitude ces essais.

Il n'est peut-être pas toujours nécessaire de faire une analyse complète de l'extrait de sol, et du complexe des échanges pour étudier la plupart des problèmes que pose l'alcali et mettre au point une méthode d'analyse appropriée. Il est important de classer les principales caractéristiques d'un sol à alcali, afin de savoir s'il contient suffisamment de sels solubles pour empêcher la croissance des plantes ou des quantités excessives de cations adsorbés dont la présence est indésirable. Sur certains sols, le sodium, et parfois le magnésium, sont adsorbés en quantité suffisante pour empêcher le développement des plantes du fait de leur toxicité directe. Le sodium adsorbé donne au sol une structure médiocre.

Dans certains cas, un excès de bore peut entraver la croissance des plantes et parfois la présence d'une forte teneur en potassium ou magnésium adsorbé peut causer des difficultés.

Gammes de tolérances à la salinité (fondées sur un essai de conductivité électrique).

Cet essai de conductivité électrique est généralement appliqué aux sols en vue de mesurer leur salinité. Les résultats sont exprimés en millimhos par cm^3 qui indiquent la conductivité de l'extrait saturé à 25°.

Les effets d'une salinité de 0,2 sont pratiquement négligeables. Entre 2 et 4, les rendements de certaines cultures très sensibles risquent de diminuer.

Entre 4 et 8, les rendements d'un grand nombre de cultures diminuent.

De 8 à 16, seules les plantes tolérantes donnent des résultats satisfaisants.

Au-dessus de 16, quelques plantes très tolérantes sont seules capables de donner des résultats favorables.

Il a été indiqué précédemment dans le chapitre sur les sols et l'eau que si le pourcentage de calcium soluble dépassait 30 % de l'extrait saturé, il était peu probable qu'il se produise des difficultés dues à des ions défavorables adsorbés. Il a également été indiqué que les sols contenant 5 à 30 % de calcium dans l'extrait pouvaient être à l'origine de difficultés variables. Dans cette gamme, il peut être utile de déterminer le magnésium présent sous forme soluble ce qui indique si les difficultés sont dues à une forte teneur en magnésium ou en sodium.

Des essais simples ont été mis au point pour déterminer la quantité de calcium nécessaire. Celui-ci est à son tour exprimé en quantité de gypse nécessaire à l'hectare pour fournir le calcium.

ANALYSES DE SOL

NOM

Date

Nombre d'échantillons

* Extraction

Couleur

* Composition

* pH

P.P.M.

Quantité approximative
de sels solubles

Azote nitrite

Azote ammoniacal

Phosphore sous forme
de phosphate

Potassium

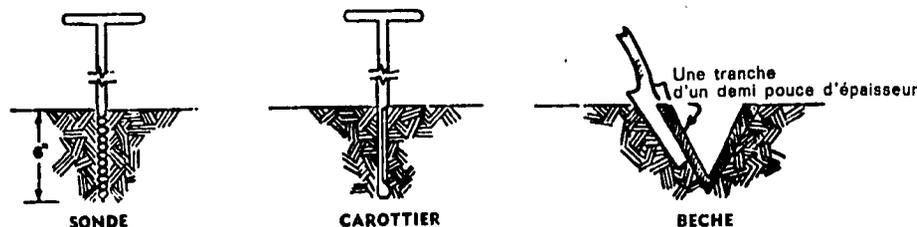
Calcium

Magnésium

Conductivité de l'extrait saturé
(K × 10³)

* Les échantillons de sols, de tourbes, etc., sont extraits avec de l'eau en vue de déterminer leur salinité. Pour l'analyse, la matière séchée à l'air est extraite avec de l'eau (W/5 signifie cinq parties d'eau pour une partie de terre), ou avec une solution tampon d'acétate de soude ayant un pH de 6 (B/5 signifie cinq parties de solution tampon pour une partie de sol). Le pH est mesuré sur la pâte de sol avec un appareil à mesurer le pH. Les concentrations sont exprimées en partie par million de terre sèche, de tourbe, etc. S signifie sableux, L limoneux, A argileux, O organique.

Figure 11. — Rapport d'analyse du sol.



ANALYSE DÉTAILLÉE D'UN ÉCHANTILLON DE SOL

NOM

DATE

Numéro de l'échantillon

1. Capacité approximative en humidité (%)
2. Conductivité électrique (millimhos/cm à 25 °C)
3. Pourcentage de sodium dans la solution du sol
4. Pourcentage de sodium dans les colloïdes du sol
5. Pourcentage de chaux dans le sol sec
6. Pourcentage de calcium soluble dans l'acide dilué
7. Matières organiques (%)
8. pH
9. Dimension des particules

Millimètres

- | | | | |
|------|-------|-------------------------|--------------|
| 2 | -1 | Sable très grossier (1) | ..... |
| 1 | -0,5 | Sable grossier | ..... |
| 0,5 | -0,25 | Sable moyen | ..... |
| 0,25 | 0,10 | Sable fin | ..... |
| 0,10 | 0,05 | Sable très fin | ..... |
| 0,05 | 0,002 | Limon | ..... |
| | | Au-dessous de 0,002 | Argile |

(1) Avant 1947, cet élément était appelé gravier fin. On utilise maintenant ce terme pour dénommer des fragments grossiers de 2 mm à 12,5 mm de diamètre.

Désignations des échantillons :

NOTE : Les résultats indiqués aux points 1 à 5 sont déterminés par la méthode de l'extrait saturé conformément à la publication de l'U.S.D.A. intitulée « Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils » (Diagnostic et amélioration des sols salins et alcalins) Agricultural Handbook n° 60 (3). Le pH est déterminé au moyen de l'appareil de Beckman. La dimension des particules est déterminée par les méthodes du tamis et de l'hydromètre.

Figure 12. — Procès-verbal d'analyse détaillée du sol.

Propriétaire
 Echantillonneur
 N° de laboratoire
 Date d'envoi
 Date de l'analyse

Matières	Equivalents milli- grammes par litre	Parties par million	LBS par acre pied
Calcium (Ca)			
Magnésium (Mg)			
Sodium (Na)			
Potassium (K)			
Carbonate (CO ₃)			
Bicarbonate (HCO ₃)			
Chlorure (Cl)			
Sulfate (SO ₄)			
Nitrate (NO ₃)			
Total pour les éléments solides			

Bore ppm
 Fluor ppm
 Fer ppm
 pH
 Coefficient d'alcali
 CE × 10⁶ à 25 °C

	DURETE grain par gallon
% de calcium	Carbonate de calcium
% de magnésium	Carbonate de magnésium
% de sodium	Dureté totale
% de bicarbonate	Dureté temporaire
% de chlorure	Dureté permanente
% de sulfate	
% de nitrate	

Figure 13. — Compte rendu d'analyse de l'eau.

ANALYSE DE L'EXTRAIT DE TISSU DE PLANTES

Numéro de l'échantillon

*PPM	}	Azote nitrique	(N)	.....
		Phosphore sous forme		
		de phosphate	(P)	.....
		Potassium	(K)	.....
		Calcium	(Ca)	.....
		Magnésium	(Mg)	.....

Culture.....Partie où l'échantillon a été prélevé.....Préparation.....

* Matières végétales fraîches (FP) ou matières végétales sèches (DP) extraites avec une solution d'acétate de soude à 10 % amenées à un pH 6 avec une solution tampon. Les données sont exprimées en fractions d'élément énumérées par million de parties de matières végétales extraites. 10 000 PPM = 1 %.

ANALYSE DES MINÉRAUX CONTENUS DANS UNE PLANTE

Numéro de l'échantillon

Azote	(N)	.....
Phosphore	(P)	.....
Potassium	(K)	.....
Calcium	(Ca)	.....
Magnésium	(Mg)	.....

Désignation de l'échantillon

NOTE : Toutes les valeurs sont exprimées en pourcentage de l'élément indiqué dans la matière végétale sèche.

Figure 14. — Compte rendu d'analyse de l'extrait de tissu végétal et de minéraux contenus dans les plantes.

<i>CE</i>	Conductivité électrique en mhos/cm sauf indication contraire.
<i>CE</i> × 10 ³	Conductivité électrique en millimhos/cm (valeur en mhos/cm × 10 ³).
<i>CE</i> × 10 ⁶	Conductivité électrique en micromhos/cm (valeur en mhos/cm × 10 ⁶).
<i>CE_e</i>	Conductivité électrique de l'extrait saturé.
<i>CE₁, CE₅, CE₅₀</i>	Conductivité électrique de l'extrait d'une suspension contenant 1 gm de sol sel à 1,5 ou 50 g d'eau.
<i>CE_{rw}</i>	Conductivité électrique de l'eau d'irrigation.
<i>CE_{dw}</i>	Conductivité électrique de l'eau de drainage ou d'une solution de sel au fond de la zone des racines.
<i>CE_s</i>	Conductivité électrique de la pâte de sol saturée.
<i>R_s</i>	Résistance de la pâte de sol dans un flacon du Bureau of soils.
mho	ohm réciproque (ohm écrit à l'envers).
mmho	Millimho.
μmho	Micromho.
<i>PSE</i>	Pourcentage de sodium échangeable.
<i>SAR</i>	Taux d'adsorption du sodium.
<i>EPP</i>	Pourcentage de potassium échangeable.
<i>PAR</i>	Rapport adsorption-potassium.
<i>CEC</i>	Capacité d'échange des cations.
meq	Milliéquivalent.
mg/l	Milligrammes de soluté par litre de solution.
p.p.m.	Parties par millions. De la façon dont il est habituellement mesuré et utilisé, ce rapport parties par million est l'équivalent numérique de milligrammes par litre.
pH _s , pH _e , pH ₁ , pH ₅ , pH	De la pâte de sol saturée, extrait saturé, 1/1 ou 1/5 suspension sol/eau. Mesuré avec une électrode en verre sauf indication contraire.
<i>LR</i>	Besoins en lessivage.
<i>CH</i>	Conductivité hydraulique.
<i>PFP</i>	Pourcentage de flétrissement permanent.
<i>FAP</i>	Pourcentage sous quinze atmosphères.
<i>PS</i>	Pourcentage de saturation.
<i>THS</i>	Tension de l'humidité du sol.
<i>PO</i>	Pression osmotique.
<i>PO_e</i>	Pression osmotique de l'extrait saturé.
<i>ΔT</i>	Dépression au point de congélation, °C.
<i>P_w</i>	Pourcentage d'eau sur la base du poids sec.
<i>P_d</i>	Pourcentage d'eau sur la base de la profondeur.
<i>D_w</i>	Densité de l'eau.
<i>D_b</i>	Densité globale du sol.

Symboles et abréviations⁴.

D_p	Densité des particules du sol.
K	Conductivité hydraulique; constante de la conductivité de la cellule.
K_i	Perméabilité intrinsèque.
D_{tw}	Hauteur de l'eau d'irrigation fournie au sol.
D_{dw}	Profondeur (équivalent de hauteur libre) de l'eau de drainage.
D_{ew}	Besoins de consommation exprimés en équivalent de hauteur libre d'eau en un temps spécifié.
E	Efficiéce de l'application de l'eau d'irrigation.
n	Porosité.
$C2, S3$	Exemple de classification de l'eau d'irrigation; C indique la conductivité (électrique); S signifie sodium (SAR); les chiffres indiquent les catégories qualitatives numériques respectives (cf. Chapitre 5).
m	Mètre.
cm	Centimètre.
mm	Millimètre.
mm μ	Millimicron
μ	Micron (10^{-6} mètre); signifie également micro.
Å	Angstrom (10^{-10} mètres).
RCF	Force centrifuge relative.
r.p.m.	Tour par minute.
η	Viscosité.

Symboles et abréviations⁶.

ANALYSES DE LA FEUILLE ET DU TISSU

Pour essayer de déterminer les causes du comportement des cultures par rapport à la fertilité du sol, il semble tout à fait logique d'analyser par des moyens chimiques une partie de la plante elle-même afin de déterminer la quantité d'éléments minéraux essentiels que la plante a pu tirer elle-même du sol. Si nous connaissons les quantités de ces éléments trouvés dans des plantes saines et les quantités trouvées dans des plantes déficientes, nous pourrions interpréter un grand nombre de troubles dont souffrent les plantes au moyen de cette analyse chimique.

Lorsqu'on choisit une partie de la plante à analyser, on considère que la feuille est généralement la meilleure car elle représente une partie absolument essentielle de la plante dans le processus de nutrition. C'est dans la feuille que sont rassemblés les éléments fertilisants et qu'ils sont transformés pour être dans toute la plante. La feuille est l'organe respiratoire et d'élaboration de la plante.

Si la plante ne peut pas tirer une quantité suffisante d'un des éléments minéraux essentiels contenus dans le sol, le processus vital en souffre et la production végétale diminue. L'analyse

des feuilles et son interprétation correcte peut donc révéler des pénuries d'éléments fertilisants essentiels à la plante et servir de guide en vue de l'adoption de meilleures méthodes de fumure et de meilleures variétés.

Pour prélever des échantillons de feuille, il est important de prendre les feuilles dans la même partie de la plante afin que tous les échantillons soient comparables. Par exemple, il a été déterminé que sur les arbres fruitiers, une feuille de la partie inférieure de la nouvelle pousse de l'année ou une feuille adulte d'une petite branche conviennent le mieux pour l'analyse. Sur les orangers, qui sont des arbres à feuilles persistantes, on prélève une feuille poussée au printemps. Pour s'assurer qu'il s'agit bien d'une telle feuille, on choisit pour l'échantillonnage une feuille située juste derrière un petit fruit vert. Sur la vigne on prélève une feuille qui a récemment atteint son plein développement et qui est située à quelque distance de l'extrémité du nouveau sarment. L'échantillon de feuilles choisi sur les betteraves sucrières doit être situé entre les vieilles feuilles extérieures et les petites feuilles centrales qui ne sont pas encore adultes. En d'autres termes, il faut prendre une feuille active et qui a atteint récemment son plein développement. De même, sur d'autres cultures, il est souhaitable de choisir le meilleur emplacement possible des feuilles pour l'échantillon à analyser. Dans certains cas, on analyse toute la feuille, et dans d'autres, seulement la nervure ou le pédoncule.

Tableau I. -- Directives indiquant la partie de la plante sur laquelle doit être prélevée la feuille et l'époque du prélèvement.*

Plante	Partie de la plante sur laquelle doit être prélevé l'échantillon	Epoque du prélèvement de l'échantillon**
ARBRES FRUITIERS (Fruits frais et fruits à coques)		
Pommier	Feuilles adultes sur les dards ou feuilles près de la base de la pousse de l'année.	15 juin au 15 juillet
Abricotier	Feuilles adultes sur les dards ou feuilles près de la base de la pousse de l'année.	1 ^{er} juin au 15 juillet
Amandier	Feuilles adultes sur les dards ou feuilles près de la base de la pousse de l'année.	1 ^{er} juin au 15 juillet
Noisetier	Feuilles adultes de la section moyenne de la pousse de l'année.	15 septembre au 30 sept.
Prunier	Feuilles adultes sur les dards ou feuilles près de la base de la pousse de l'année.	15 juin au 15 juillet
Prunier	Feuilles adultes sur les dards ou feuilles près de la base de la pousse de l'année.	15 juin au 15 juillet

TABLEAU I (suite)

Plante	Partie de la plante sur laquelle doit être prélevé l'échantillon	Epoque du prélèvement de l'échantillon**
Pêcher	Feuilles adultes près de la base de la pousse de l'année.	15 juin au 15 juillet
Poirier	Feuilles adultes sur les dards ou feuilles près de la base de la pousse de l'année.	15 juin au 15 juillet
Olivier	Feuilles adultes de la partie intermédiaire de la dernière pousse.	Mars-août
Noyer	Foliole terminale d'une feuille adulte.	15 juillet-15 août
AGRUMES		
Citronnier	Feuilles adultes de la dernière pousse.	Mai à juillet
Oranger	Feuilles adultes derrière un jeune fruit.	Juillet à octobre
VIGNES ET BAIES		
Vigne	Jeune feuille adulte, généralement la 5 ^e à 7 ^e feuille à partir de l'extrémité d'un nouveau sarment. N'utiliser que les pétioles.	Du 1 ^{er} au 30 juillet (1 mois plus tôt pour les régions où la pousse est plus précoce)
Framboisier	Une jeune feuille adulte, généralement la 4 ^e , 5 ^e ou 6 ^e feuille à partir du bout d'un nouveau rameau. Utiliser les pétioles de la feuille. Si l'on veut déterminer la teneur en magnésium, conserver à cet effet le limbe de la feuille.	du 15 juin au 15 juillet (Washington)
CULTURES DE PLEIN CHAMP		
Luzerne	Milieu du tiers de la tige. Utiliser cette partie du tissu de la tige (sans les feuilles) pour l'analyse.	Quelques jours avant la fauche
Orge	Limbes de feuilles adultes près du sommet de la plante.	15 avril au 15 mai
Haricot (lima)	Pétiole de la feuille, seconde feuille à partir du haut de la plante.	Lorsque les plantes commencent à fleurir
Betterave sucrière	Une feuille adulte. Eviter de prendre les feuilles extérieures et les jeunes feuilles intérieures. N'utiliser que le pétiole de la feuille.	Mi-saison (juin-juillet dans de nombreuses régions)

Plante	Partie de la plante sur laquelle doit être prélevé l'échantillon	Epoque du prélèvement de l'échantillon**
Trèfle (ladino)	Ramasser des feuilles à intervalles réguliers dans le champ. N'utiliser que le pédoncule de feuilles adultes pour l'analyse.	Mai-juin
Coton	Utiliser la première feuille au-dessous des deux feuilles terminales (troisième feuille). Utiliser le pétiole pour l'échantillon.	Au milieu de la floraison
Pommes de terre	La quatrième feuille à partir du haut de la plante. Utiliser les pétioles pour l'analyse.	35 jours après la plantation. (Washington) 35 à 45 jours après la sortie (Californie)
LEGUMES		
Betterave potagère	Une feuille adulte. Eviter de prendre les vieilles feuilles extérieures. N'utiliser que le pétiole de la feuille.	Mi-saison (juin dans de nombreuses régions)
Chou	Nervure centrale de la feuille extérieure.	Lors de la formation de la pomme
Haricot grim pant	Oregon. Feuille trifoliée et pétiole. Washington. Limbe de feuilles trifoliées qui viennent d'atteindre leur plein développement. Les pétioles des feuilles trifoliées viennent d'atteindre leur plein développement.	Pour la détermination du phosphore la première à la quatrième feuilles trifoliées. Pour le potassium, une feuille récemment arrivée à plein développement, au cours de la deuxième ou troisième cueillette. Pour la détermination du phosphore, de la première à la quatrième feuille trifoliée. Pour la détermination du potassium, juste avant la première cueillette.
Melon	Pétiole de feuille adulte.	Lors de la fructification
Carotte	Pétiole de feuille adulte.	Milieu de la saison
Céleri	Pétiole de feuille adulte.	Mi-saison, plantes d'une hauteur de 30 cm à 37,5 cm
Laitue	Nervures centrales de la feuille enveloppante.	Lors de la formation de la pomme
Oignon	Feuilles adulte. Eviter les vieilles feuilles extérieures et les jeunes feuilles intérieures.	Lors de la formation du bulbe

Plante	Partie de la plante sur laquelle doit être prélevé l'échantillon	de l'échantillon** Epoque du prélèvement
Petits pois pour la conserve)	Limbes ou pétioles prélevés au 3 ^e nœud à partir du haut de la plante.	Lorsque les plantes ont de 6 à 9 nœuds (Washington)
Mais sucré	Nervures centrales d'une feuille d'âge moyen.	Au moment de la floraison
Tomates	Première feuille mûre en partant du haut de la plante (quatrième à partir du haut).	Au cours de la première floraison

* En raison de l'influence de sodium sur la teneur en potassium du pétiole de la feuille, le limbe doit être utilisé pour l'analyse du potassium lorsque les pétioles contiennent moins de 1,5 % de sodium.

** Toutes ces dates d'échantillonnage sont valables pour la Californie, sauf indication contraire.

Si l'on veut faire une étude approfondie, il convient de prélever des échantillons de feuilles à plusieurs reprises pendant la saison afin de déterminer dans quelle mesure la plante a été approvisionnée en éléments minéraux au cours de sa croissance et lorsqu'une carence commence à se manifester. Cependant, il a été constaté qu'un échantillon de feuille prélevé et analysé au bon moment de l'année peut donner une indication exacte de la teneur en éléments minéraux de la culture à cette époque et peut servir à prévoir ses besoins futurs.

Cette feuille échantillon doit être prélevée après la première période de croissance et bien avant la récolte. A titre d'exemple, on a constaté que les échantillons de feuilles d'arbres fruitiers prélevés en Californie à la fin de juin et au début de juillet donnaient une bonne indication de la teneur des arbres en éléments fertilisants.

Si une telle feuille prélevée au milieu de la saison indiquait une faible valeur pour un élément, ceci indiquerait que la plante a trop peu de cet élément pour assurer une production maximale. Si l'échantillon indique une valeur élevée, ceci indique qu'il y a une quantité suffisante d'éléments fertilisants pour assurer une bonne récolte.

Lorsqu'on prélève un échantillon dans un champ ou un verger, il est souhaitable de prendre les feuilles tant sur des plantes ou les arbres ayant un bon aspect, que sur ceux qui ont moins bon aspect. Des valeurs différentes révélées par analyse contribuent souvent à faire apparaître une carence.

Procès-verbaux d'analyse et interprétation des résultats.

L'analyse chimique du tissu des feuilles ou des plantes est effectuée sur des matières séchées à l'étuve ou sur des produits frais; en conséquence les résultats doivent être indiqués soit sur

la base de la matière sèche, soit sur la base de la matière fraîche ou verte. Les publications agricoles officielles expriment maintenant les principes fertilisants en éléments chimiques. Les éléments essentiels, l'azote N, le phosphore P, le potassium K, ainsi que les éléments secondaires et les oligo-éléments sont généralement exprimés en pourcentage de l'élément. Dans certains cas, on indiquera des parties par million.

Un grand nombre de recherches fondamentales doivent être faites sur chaque culture avant qu'il soit possible de déterminer la teneur critique en divers éléments et qu'on puisse faire une analyse des feuilles. De même que dans le cas de l'interprétation des analyses du sol, rien ne remplace l'expérience et les renseignements recueillis sur place. Ces travaux ont été faits sur un grand nombre de cultures dans l'ouest et dans ce cas les interprétations d'analyses contribuent grandement à indiquer les besoins en engrais.

Analyse de l'azote dans les plantes.

Pour déterminer la teneur en azote du tissu des feuilles ou des plantes, on dose soit *l'azote nitrique*, soit *l'azote total* suivant la culture. On analyse généralement les feuilles des arbres pour déterminer leur teneur en azote total. En revanche, il est très utile pour connaître les besoins en azote de la culture pendant la période végétative de rechercher la teneur en azote nitrique d'un grand nombre de cultures maraîchères, des betteraves à sucre et de la vigne.

L'épreuve à la diphénylamine pour les nitrates permet de déterminer rapidement les carences en azote des plantes fraîches dans le champ et des plantes séchées en laboratoire. Cet essai a été appliqué à la vigne et les méthodes utilisées ont été décrites par le département d'horticulture de l'université de Californie¹.

Dans le bulletin n° 766 de la Station Expérimentale Agricole de Californie on trouve la description de l'analyse des plantes destinée à servir de guide à la fumure de la betterave sucrière ainsi que des méthodes d'analyse pour la recherche de l'azote et autres éléments.

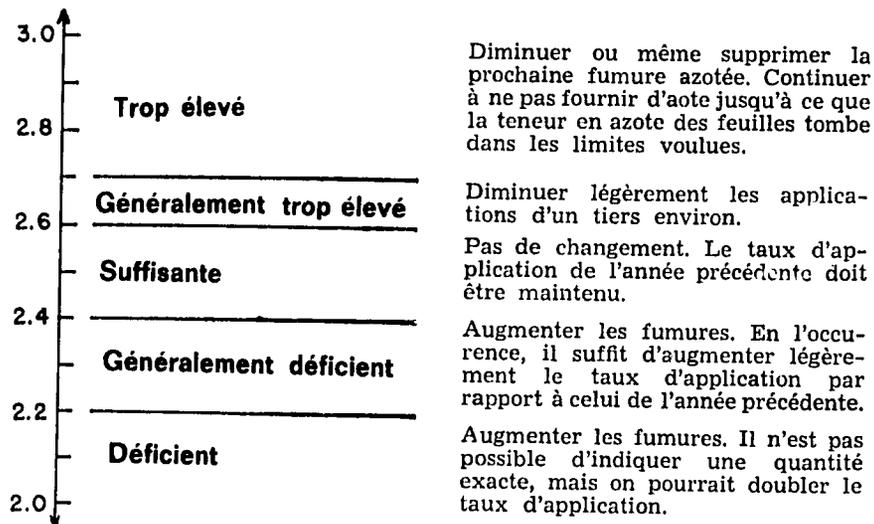
Il ressort des dosages de l'azote total effectués sur des feuilles de poirier qu'un niveau inférieur à 1,7 % de N (base matière sèche) est critique et que l'on peut s'attendre à une réaction à une fumure azotée. Un niveau de 2,2 % de N total semble être suffisant. L'interprétation de l'azote total contenu dans les feuilles des autres arbres à feuilles caduques sert à déterminer les besoins en azote lorsqu'on possède davantage de renseignements sur ces autres cultures.

Au titre d'un programme de contrôle de l'application d'engrais azotés aux orangers, on a mis au point une méthode de dosage de l'azote total dans les feuilles d'agrumes². L'interprétation de ces niveaux d'azote est utilisée pour s'assurer de la valeur

d'un programme de fumure. Les résultats de l'analyse sont exprimés en % de N de la feuille sur la base de la matière sèche. Le schéma suivant indique les différentes teneurs en azote que l'on trouve généralement dans les feuilles d'orangers. Il indique les niveaux considérés comme insuffisants, suffisants ou trop élevés par la station expérimentale des agrumes. On a fait figurer également un tableau d'interprétation. Ceci montre des ajustements qui peuvent être nécessaires d'apporter à un programme de fumure pour amener le niveau de N dans les limites voulues⁴.

% de N dans les feuilles d'oranger

Août-octobre



Le succès d'un programme de contrôle de l'azote dépend du choix judicieux de l'échantillon. L'interprétation est également importante. Il est conseillé aux producteurs de consulter des spécialistes, soit des laboratoires commerciaux, soit des vulgarisateurs agricoles locaux.

On n'a pas encore mis au point de normes d'analyse des feuilles de citronnier, mais le niveau de N nécessaire est à peu près comparable à celui qui est indiqué pour les orangers⁵.



Planche XXV. — Prélèvement de feuilles de maïs.

Tableau Ia. — Signification des résultats des analyses des plantes pour l'azote nitrique sur des échantillons choisis comme indiqué au Tableau I.

CULTURES	TENEUR SATISFAISANTE EN NO ₃ -N Base Matière Sèche	DEFICIENCE EN NO ₃ -N Base Matière Sèche
Vigne	Au-dessus de 500 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Betteraves sucrières	Au-dessus de 2 000 ppm	Au-dessous de 1 000 ppm
Choux	Au-dessus de 8 000 ppm	Au-dessous de 5 000 ppm
Melon (cantaloup) ..	Au-dessus de 10 000 ppm	Au-dessous de 5 000 ppm
Coton	Au-dessus de 2 000 ppm	Au-dessous de 1 000 ppm
Céleri	Au-dessus de 10 000 ppm	Au-dessous de 5 000 ppm
Laitue	Au-dessus de 8 000 ppm	Au-dessous de 4 000 ppm
Pomme de terre.	Au-dessus de 9 000 ppm	Au-dessous de 6 000 ppm
Mais doux	Au-dessus de 1 000 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Tomate	Au-dessus de 5 000 ppm	Au-dessous de 2 000 ppm

* Toutes les indications sont exprimées sur la base matière sèche.

Tableau II. — Signification de la teneur en phosphore des feuilles d'échantillons choisis comme dans le Tableau I.

CULTURES	QUANTITE SUFFISANTE Base M.S.**	CARENCE Base M.S.**
ARBRES FRUITIERS (fruits verts et à coque)		
Pommier	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Abricotier	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Amandier	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Noisetier	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Prunier (prunes d'Agen)	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Prunier (autres prunes)	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Pêcher	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Poirier	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Olivier	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
Noyer	Au-dessus de 0,10 %	Au-dessous de 0,10 %
AGRUMES		
Citronnier	Au-dessus de 0,15 %	Au-dessous de 0,10 %
Oranger	Au-dessus de 0,15 %	Au-dessous de 0,15 %
VIGNES ET ARBUSTES A BAIE		
Vigne	Au-dessus de 500 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Framboisier	Au-dessus de 0,30 %	Au-dessous de 0,30 %

** Sur la base matière sèche.

* Pour cet arbre, la teneur en phosphore est indiquée en ppm de phosphore-phosphate (PO₄P)

Tableau II. — Signification de la teneur en phosphore des feuilles d'échantillons choisis comme dans le Tableau I (suite).

CULTURES	QUANTITE SUFFISANTE Base M.S.	CARENCE Base M.S.
LEGUMES		
Haricot grimpant (Ore. Wash.)	Au-dessus de 4 000 ppm	Au-dessous de 2 500 ppm
Haricot grimpant	Au-dessus de 3 500 ppm	Au-dessous de 2 500 ppm
Betteraves potagères	Au-dessus de 1 000 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Melon	Au-dessus de 3 000 ppm	Au-dessous de 1 500 ppm
Choux	Au-dessus de 3 000 ppm	Au-dessous de 2 500 ppm
Carottes	Au-dessus de 2 000 ppm	Au-dessous de 1 500 ppm
Céleri	Au-dessus de 3 500 ppm	Au-dessous de 2 000 ppm
Laitue	Au-dessus de 3 000 ppm	Au-dessous de 2 000 ppm
Oignon	Au-dessus de 2 000 ppm	Au-dessous de 1 500 ppm
Pois (pour la conservation)	Au-dessus de 2 000 ppm	Au-dessous de 1 200 ppm
Maïs doux	Au-dessus de 1 000 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Tomate	Au-dessus de 3 000 ppm	Au-dessous de 1 500 ppm
CULTURES DE PLEIN CHAMP		
Luzerne	Au-dessus de 1 000 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Orge	Au-dessus de 1 600 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Haricot de lima..	Au-dessus de 1 000 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Betteraves sucrières	Au-dessus de 1 000 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Trèfle	Au-dessus de 1 000 ppm	Au-dessous de 500 ppm
Coton	Au-dessus de 1 000 ppm	Au-dessous de 750 ppm
Pomme de terre.	Au-dessus de 1 600 ppm	Au-dessous de 800 ppm
	Au-dessus de 3 500 ppm	Au-dessous de 1 500 ppm (Californie) (Washington)

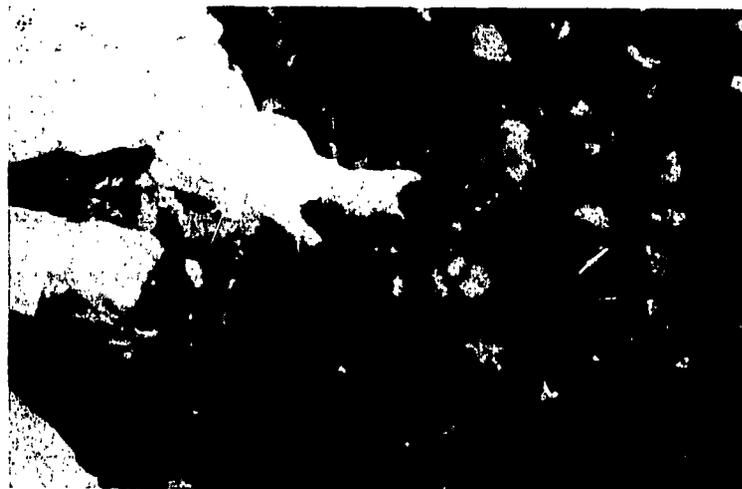


Planche XXVI. — Prélèvement de feuilles de vigne.

Tableau III. — Signification de la teneur en potassium des feuilles échantillons choisis comme sur le Tableau I.

CULTURES	NIVEAU SUFFISANT Base M.S.	CARENCE Base M.S.
ARBRES FRUITIERS (fruits verts et à coque)		
Pommier	Au-dessus de 1,00 %	Au-dessous de 0,75 %
Abricotier	Au-dessus de 2,00 %	Au-dessous de 1,00 %
Amandier	Au-dessus de 0,75 %	Au-dessous de 0,50 %
Noisetier	Au-dessus de 0,75 %	Au-dessous de 0,50 %
Prunier (prunes d'Agen)	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 0,75 %
Prunier (autres prunes)	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 0,75 %
Pêcher	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 0,75 %
Poirier	Au-dessus de 1,00 %	Au-dessous de 0,50 %
Olivier	Au-dessus de 0,75 %	Au-dessous de 0,30 %
Noyer	Au-dessus de 1,00 %	Au-dessous de 0,50 %
AGRUMES		
Citronnier	Au-dessus de 0,90 %	Au-dessous de 0,35 %
Oranger	Au-dessus de 0,90 %	Au-dessous de 0,35 %
VIGNES ET ARBUSTES A BAIES		
Vigne	Au-dessus de 1,00 %	Au-dessous de 0,50 %
Framboisier	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 1,00 %
LEGUMES		
Haricot grimpant Oregon	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 1,00 % ***
Washington ..	Au-dessus de 3,50 %	Au-dessous de 3,00 % ***
Haricot grimpant Betteraves	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 1,00 %
potagères	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 1,10 %
Céleri	Au-dessus de 6,00 %	Au-dessous de 4,00 %
Laitue	Au-dessus de 3,00 %	Au-dessous de 2,00 %
Petits pois (pour la conserve) ..	Au-dessus de 1,20 %	Au-dessous de 0,75 %
Mais doux	Au-dessus de 2,00 %	Au-dessous de 1,00 %
Tomate	Au-dessus de 3,00 %	Au-dessous de 1,50 %
CULTURES DE PLEIN CHAMP		
Luzerne	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 0,75 %
Orge	Au-dessus de 1,00 %	Au-dessous de 0,50 %
Haricot (Lima) .	Au-dessus de 2,00 %	Au-dessous de 0,50 %
Betteraves sucrières	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 1,00 %
Trèfle ladino ...	Au-dessus de 1,50 %	Au-dessous de 0,50 %
Coton	Au-dessus de 2,00 %	Au-dessous de 1,00 %
Pomme de terre.	Au-dessus de 9,00 %	Au-dessous de 7,00 %
	Au-dessus de 11,00 %	(Californie) Au-dessous de 6,00 % (Washington)

NOTE : Une quantité excessive de sodium Na ou de chlorure Cl dans la feuille dépassant 0,50 % rend plus difficile l'interprétation des carences en éléments fertilisants.

* En raison de l'influence du sodium sur la teneur en potassium, du

pétiole de la feuille, il faut utiliser la feuille proprement dite pour l'analyse du potassium lorsque le pétiole contient moins de 0,5 % de sodium.

** Base matière sèche.

*** La différence entre la teneur en potassium K dans les Etats d'Oregon et de Washington est due en partie aux méthodes utilisées. Dans l'Etat d'Oregon, on analyse des feuilles trifoliées complètes, tandis que dans l'Etat de Washington, on les sépare et on analyse le limbe pour déterminer P et les pétioles pour K. Il se produit des fluctuations rapides de la teneur en K pendant la période végétative, fluctuation qui peuvent indiquer s'il est nécessaire de procéder à de nouveaux prélèvements d'échantillons pour mesurer K. Par rapport aux méthodes d'application de K, on a constaté que l'application en bandes tend à accroître la teneur en K des tissus pendant le début de la période de végétation, tandis que des applications à la volée donnent des niveaux beaucoup plus faibles. Plus tard, pendant la période végétative, les valeurs de K résultant des applications en bandes diminuent rapidement tandis que celles des applications à la volée augmentent. Le niveau de K à cette époque donne une meilleure idée des possibilités de rendement.

BIBLIOGRAPHIE

1. Cook, James A., and Kasimatis, Amand N., "Predicting Nitrogen Response in Vineyards, The Petiole Test," University of California, Agricultural Extension Service.
2. Ulrich, Albert, Johnson, C. M., et al "Plant Analysis and Analytical Methods," University of California, Bulletin # 766.
3. Chapman, Homer D., "Leaf and Soil Analysis in Citrus Orchards," Manual 25, University of California, Division of Agricultural Sciences, Citrus Experiment Station, Riverside, California.
4. Jones, W. W., and Embleton, T. W., University of California, Citrus Experiment Station, "Leaf Analysis-Nitrogen Control Program for Oranges," The California Citrograph, September 1960.
5. Beutel, J. A., Los Angeles, Lee, B. W., Ventura and Pehrson, J. E., Santa Ana., "Citrus Leaf Analysis" Agricultural Extension Service Leaflets.
6. United States Salinity Laboratory Staff. "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils," U.S.D.A. Handbook No. 60, Supt. of Documents, U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C. 20025.



Planche XXVII. — Prélèvement d'échantillon de betteraves sucrières. Toutes les feuilles marquées A conviennent pour un échantillon de pétiole (la feuille B est trop jeune et la feuille C trop vieille). Il faut choisir de trente à quarante pétioles dans chaque quart d'un champ que l'échantillonneur parcourt perpendiculairement aux rangées.

BIBLIOGRAPHIE SUPPLEMENTAIRE

Chapman, Homer D. and Pratt, Parker F., "Methods of Analysis For Soils, Plants, and Water," Department of Soils and Plant Nutrition, Citrus Experiment Station, may be purchased from the Office of Agricultural Publications, 207 University Hall, 2200 University Ave., Berkeley, Calif. 94720.

"Plant Analysis and Fertilizer Problems," Proceedings at the Ninth International Botanical Congress, Montreal, Canada, August 1959, Published by American Institute of Biological Sciences, 2000 P Street, N. W., Washington D.C. 20026. Sponsored by the American Potash Institute, Inc., 1102 16th Street, N.W. Washington, D.C. 20006., Edited by Dr Walter Reuther, Chairman, Department of Horticulture, University of California, Riverside.

"Diagnostic Techniques for Soils and Crops", American Potash Institute, 1102 16th Street, N.W., Washington, D.C. 20006 and 330 Village Lane, Los Gatos, Calif. 95030.

"Hunger Signs in Crops" (Third Edition), For sale by David McKay, Publisher, 750 Third Ave., New York, N.Y. 10017.

CHAPITRE X

ENGRAIS COMMERCIAUX ET PRODUITS MINÉRAUX A USAGE AGRICOLE

Les engrais et leur teneur en éléments nutritifs.

Les 16 éléments nutritifs nécessaires au développement normal de la plante ont été étudiés dans un chapitre précédent. Nous avons montré que la plante se procure sa nourriture à trois sources différentes, l'air, l'eau et le sol. La plante trouve l'oxygène et l'hydrogène dans l'eau. Le carbone et l'oxygène sont prélevés dans l'air par les feuilles. Tous les autres éléments utilisés par la plante doivent provenir principalement du sol. La quantité totale de principes fertilisants que peuvent absorber les plantes varie suivant les sols. Le prélèvement de ces éléments par les plantes, plus les pertes par lessivage et celles dues aux conditions atmosphériques comme l'érosion, amène en définitive la plupart des sols au point où il faut leur fournir des engrais minéraux et des matières organiques. Les engrais commerciaux complètent ou compensent donc toutes carences en éléments nutritifs qui peuvent se manifester dans un sol.

Nous parlons des principes fertilisants prélevés dans le sol dans les cultures. Les trois éléments, azote, phosphate et potassium ont longtemps été appelés les éléments essentiels. Progressivement, les éléments secondaires, calcium, magnésium et soufre, ainsi que les oligo-éléments y compris le bore, le manganèse, le cuivre, le zinc, le fer, le molybdène et le chlore ont été ajoutés à la liste des éléments fertilisants nécessaires à la croissance normale des plantes.

A vrai dire, ces éléments que la plante trouve dans le réservoir naturel du sol ou dans les engrais qui lui sont ajoutés ne sont pas des aliments, mais simplement des matières premières ou des

éléments minéraux utilisés par la plante verte. La plante convertit ses matières premières en hydrates de carbone, graisses et protéines complexes et ces produits servent de source de nourriture et d'énergie à la plante.

L'expression aliment pour les plantes qui a été employée dans l'industrie pendant de nombreuses années pour désigner la teneur N-P-K d'un engrais et plus récemment la teneur en élément secondaire et en oligo-éléments fait partie de la terminologie des lois sur le contrôle des engrais.

Ainsi, nous voyons que l'expression « Aliment pour les plantes » a deux significations.

Le terme « Unité d'aliment pour les plantes » a été adopté comme terme chimique officiel par l'Association of American Fertilizer Control Officials, avec la définition suivante : « Une unité d'aliment pour les plantes représente 20 livres, soit 9 kilos ou un peu plus de 1 % d'une tonne. »

Il nous est parfois arrivé d'entendre des agriculteurs dire qu'ils utiliseront X unités d'azote (ou autres éléments fertilisants) à l'hectare. L'emploi de ce terme « unité » n'est pas techniquement correct. L'unité ne s'applique qu'au pourcentage d'éléments nutritifs contenus dans une tonne d'engrais.

En pratique, lorsque les agriculteurs disent « unité à l'hectare », pour indiquer la quantité d'engrais qu'ils doivent utiliser, ils pensent en fait au nombre de livres d'éléments nutritifs à l'hectare.

La plupart des recommandations relatives aux engrais sont exprimées en livre d'éléments fertilisants à l'hectare. Par exemple, pour la betterave sucrière, on recommande parfois d'utiliser (168 kilos) d'azote à l'hectare. La quantité d'engrais à appliquer à l'hectare pour fournir 168 kg d'azote, dépend de l'analyse ou de la composition en pourcentage de l'engrais à utiliser. Un producteur peut facilement déterminer la quantité d'engrais dont il a besoin. Par exemple :

Le sulfate d'ammoniaque contient 21 % d'azote. En d'autres mots, 45 kilos de l'engrais azotés contiennent 9,5 kilos d'azote ou une tonne de sulfate d'ammoniaque contient 190 kilos d'azote. Pour calculer le nombre de livres de sulfate d'ammoniaque nécessaires pour fournir 168 kilos d'azote à l'hectare, on divise simplement les 160 kilos d'azote nécessaire par 0,21.

$160 \text{ N} : 0,21 = 762 + \text{ kilos de sulfate d'ammoniaque}.$

Cette même formule peut être utilisée sur n'importe quelle matière contenant de l'azote, du phosphore ou du potassium.

Une formule d'engrais exprime la quantité et la qualité des matières utilisées pour préparer un mélange ou un composé d'engrais.

Une qualité d'engrais représente la garantie minimale de la teneur de l'engrais commercial en éléments nutritifs. Cette teneur est exprimée en pourcentage d'azote total N, d'acide phosphorique

assimilable sous forme de P_2O_5 * et de potasse soluble dans l'eau sous forme de K_2O .

Là aussi nous constatons qu'à l'exception de l'azote, on continue comme dans les premiers temps de l'industrie des engrais à exprimer l'analyse et les mélanges d'engrais sur la base de leur teneur en équivalent d'oxyde.

Ainsi, par exemple, l'analyse du sulfate d'ammoniaque est exprimée en teneur : azote N; les superphosphates sur la base de leur teneur en acide phosphorique P_2O_5 assimilable; le sulfate de potassium et la chlorure de potassium sur la base de leur teneur en potasse K_2O soluble dans l'eau.

Les fabricants et les distributeurs d'engrais sont tenus par la loi d'étiqueter chaque sac ou récipient d'engrais et d'indiquer l'analyse garantie ou la qualité des éléments fertilisants qui sont censés se trouver dans l'emballage. Ces renseignements sont généralement exprimés en chiffres entiers et les éléments nutritifs sont toujours énumérés dans le même ordre.

Ou trouvera plus loin dans le présent chapitre un tableau qui indique la composition moyenne des engrais.

Généralement dans l'Ouest, les étiquettes sont toujours rédigées de la même façon. Un grand nombre d'Etats exigent simplement qu'on indique l'azote total, l'acide phosphorique assimilable et la potasse soluble dans l'eau. Certaines lois d'état exigent également que l'étiquette indique les matériaux utilisés pour fournir l'azote organique, l'acide phosphorique et la potasse.

Par exemple, les extraits suivants du Code Agricole relatif aux engrais donneront une idée des conditions requises en Californie :

« 1023. Tout lot, paquet ou emballage d'engrais commercial et de produit minéral à usage agricole vendus sur le territoire de l'Etat devront être pourvus d'une étiquette bien visible clairement imprimée ou d'une étiquette descriptive indiquant :

a) Le nom, la qualité et la marque commerciale le cas échéant, sous lequel l'engrais commercial ou le produit minéral est vendu.

b) Le nom et l'adresse du producteur agréé, fabricant, de l'importateur ou du négociant.

c) Le lieu de fabrication et de production.

d) L'analyse chimique, indiquant les pourcentages de chaque constituant (ayant une valeur agricole) déclaré être contenu dans l'engrais, ainsi que les matériaux dont lesdits constituants sont extraits.

* Dans le commerce et aussi dans les lois sur le contrôle des engrais, l'expression acide phosphorique (forme d'acide total, insoluble ou assimilable signifie que la combinaison de phosphore et d'oxygène représente la combinaison de phosphore et d'oxygène exprimée par la formule P_2O_5 . Les termes de anhydride phosphorique ou acide phosphorique peuvent être employés indistinctement. En fait, il s'agit d'un oxyde phosphorique.

En outre, la section 1024 dispose :

« L'analyse des engrais commerciaux doit indiquer les pourcentages d'azote qui sont représentés en spécifiant la forme ou les formes sous lesquelles il est présent et le pourcentage de chaque forme, l'acide phosphorique assimilable et la potasse soluble dans l'eau distillée. Le pourcentage d'acide phosphorique doit être exprimé en anhydride phosphorique et le pourcentage de potasse en oxyde de potasse.

Dans le Code Administratif de la Californie, le règlement concernant les engrais stipule à la section 2301 : Si un engrais est réputé contenir de l'anhydride phosphorique, l'étiquette doit indiquer le pourcentage d'acide phosphorique assimilable. Si en outre il est fait état d'acide phosphorique total, il faut aussi indiquer le pourcentage d'acide phosphorique insoluble. Le terme et le pourcentage d'acide phosphorique assimilable doivent être indiqués aussi nettement que n'importe quel autre terme et pourcentage figurant sur l'étiquette.

De même, en ce qui concerne la rédaction des étiquettes servant à indiquer une forme d'azote, la section 2312 dispose : Chaque fois que de l'azote est réputé être contenu dans un engrais commercial, ou dans un minéral à usage agricole, l'étiquette doit indiquer le cas échéant le pourcentage sous forme nitrique, ammoniacale et organique. S'il y a plusieurs formes d'azote, le pourcentage d'azote total doit aussi être indiqué. Les termes azote nitrique et azote ammoniacale indiquent d'une manière satisfaisante l'origine de ces formes d'azote, mais il faut indiquer les matières à partir desquelles est extrait l'azote organique. L'azote provenant de la cyanamide calcique et de l'urée peut être considéré comme de l'azote organique. »

Le Code Administratif de la Californie stipule en outre :

« 2313. Teneurs en oligo-éléments. Chaque fois qu'un engrais commercial est réputé contenir un constituant minéral, le nom et le pourcentage de celui-ci doivent être indiqués sur l'étiquette en termes de l'élément en même temps que son origine; cependant l'acide phosphorique P_2O_5 , la potasse K_2O , le gypse $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, le carbonate de calcium $CaCO_3$ et le carbonate de magnésium $MgCO_3$ doivent être exprimés en composés et pourcentages. L'engrais peut contenir du calcium, du magnésium et du soufre combinés chimiquement, à condition que la quantité indiquée ne soit pas inférieure à 1 % de l'élément sous forme soluble. L'engrais peut aussi contenir du zinc, du cuivre, du manganèse et du fer combinés chimiquement à condition que leur quantité ne soit pas inférieure à 0,1 % de l'élément sous forme soluble. Un engrais commercial destiné uniquement à la culture hydroponique (culture des plantes sans sol) peut contenir de faibles quantités de ces matières.

Principes fertilisants exprimés en éléments ¹.

En janvier 1963, l'American Society of Agronomy, the Soil Science and the Crop Science Societies of America ont adopté pour principe que les quantités et pourcentages d'éléments fertilisants doivent être exprimés en éléments chimiques dans toutes les publications officielles. Par exemple, on indique le phosphore P à la place de l'anhydride phosphorique P_2O_5 et le potassium K au lieu de l'oxyde de potassium K_2O .

La plupart des sociétés agricoles professionnelles expriment les quantités et les pourcentages d'éléments fertilisants en éléments chimiques. Cette nouvelle façon de faire, vise à simplifier la terminologie et à se conformer au langage utilisé par les hommes de science qui indiquent les valeurs en éléments lors des analyses de sol, de plantes, d'aliments, de bétail et d'insecticides.

Le 1^{er} juillet 1964, l'Université de Californie avait adopté cette méthode pour exprimer les éléments fertilisants dans toutes ses publications agricoles. De nombreux Etats utilisent ce système et d'autres s'appêtent à le faire. Pendant la période de transition, ces publications indiquent entre parenthèses l'équivalent en oxyde.

Ce nouveau système qui consiste à indiquer les éléments chimiques constituera un changement important par rapport à la terminologie traditionnelle consistant à indiquer la teneur en oxydes pour le phosphore et le potassium. *Cependant, la teneur en élément fertilisant n'est pas modifiée. La nouvelle terminologie ne modifie pas la forme ou la quantité des éléments fertilisants contenus dans l'engrais. Il y a toujours la même quantité de phosphore ou de potassium dans l'engrais.*

Par exemple, lorsqu'on applique 45 kilos de superphosphate triple, la teneur en principes fertilisants est la même qu'elle soit exprimée en 20 kilos d'anhydride phosphorique (P_2O_5) ou 9 kilos de phosphore P. La différence entre ces deux valeurs représente le poids de l'oxygène contenu dans P_2O_5 . De même, lorsqu'on utilise 45 kilos de chlorure de potassium, on peut l'exprimer sous forme de 27 kilos d'oxyde de potassium K_2O ou de 22,5 kilos de potassium K.

L'idée de modifier la terminologie des engrais n'est pas nouvelle. Dans les premiers temps, l'azote était étiqueté et vendu d'après son pourcentage en ammoniac NH_3 . En 1916, la plupart des Etats ont décidé d'indiquer la teneur en éléments N et actuellement des engrais azotés sont vendus et étiquetés d'après leur teneur en azote. Les formules P_2O_5 et K_2O ont été adoptées à une époque où les chimistes indiquaient l'analyse chimique des roches et des sels minéraux en oxyde comme bioxyde de silice SiO_2 , l'anhydride phosphorique P_2O_5 , etc. Ces oxydes sont des combinaisons de l'élément avec de l'oxygène. Ces méthodes d'analyse ne sont plus utilisées, mais une partie de la terminologie primitive a été conservée.

En fait, il n'y a ni P_2O_5 ni K_2O dans les engrais. C'est simplement une formule chimique. Le phosphore est très commun sous forme de phosphate monocalcique mais aussi sous forme de phosphate dicalcique, de phosphate tricalcique, de métaphosphate de calcium ou l'un des phosphates ammoniacaux. Le potassium se présente généralement sous la forme de chlorure de potassium, de sulfate de potassium, de nitrate de soude et de potasse ou de nitrate de potassium.

La confusion actuelle porte surtout sur le phosphore et le potassium. Par exemple la teneur en phosphore P des engrais est traditionnellement indiquée d'après la quantité d'anhydride phosphorique P_2O_5 qui ne contient que 44 % de phosphore. Pour éviter ce nom complexe, on a utilisé les expressions acide phosphorique, acide phosphorique assimilable, phosphate et même phosphore. L'emploi de ces termes pour exprimer le P_2O_5 est inexact. Par exemple, l'emploi du terme acide phosphorique pour désigner P_2O_5 provoque facilement une confusion avec l'acide phosphorique liquide qui est appelé à juste titre acide phosphorique. Il n'est pas rare que plusieurs de ces termes soient employés comme synonymes dans la même publication ou le même article.

Problèmes qui se posent à l'industrie des engrais.

Le nouveau système consistant à indiquer les éléments diffère de l'emploi traditionnel de la forme oxyde qui fait actuellement partie de tous les codes d'engrais des Etats pour indiquer le phosphore et le potassium dans les formules d'engrais. La conversion de l'oxyde, exprimée par un nombre entier, en éléments donne souvent des décimales.

L'A.A.F.C.O.* a fait figurer dans un projet d'uniformisation des engrais dans l'Etat une clause facultative selon laquelle le phosphore et le potassium peuvent être garantis comme élément si le désir en est exprimé ou en cas de nécessité. Le projet prévoit une garantie de tous les éléments secondaires et oligo-éléments. Un grand nombre d'Etats ont fait figurer certaines dispositions dans leur propre code des engrais. Voici un extrait de la « Définition des mots et termes » figurant à la section 3 de Proposed Uniform State Fertilizer Bill (Projet de loi pour l'uniformisation des engrais dans l'Etat) :

(g) Analyse garantie :

(1) Jusqu'au 1^{er} juillet 196... , puis en attendant que..... prescrive d'employer l'autre forme d'analyse garantie conformément aux dispositions de l'alinéa 2, le terme « analyse garantie » signifie le pourcentage minimal de principes fertilisants qui doivent être énumérés dans l'ordre et la façon suivante :

A. Azote total N	%
Acide phosphorique assimilable P_2O_5	%
Potasse soluble K_2O	%

B. Pour les produits phosphatés minéraux non acidulés et pour les scories de déphosphoration, il faut indiquer à la fois l'acide phosphorique total

et l'acide phosphorique assimilable ainsi que le degré de finesse. Pour les os, les résidus et autres matières phosphatées organiques, il faut indiquer l'acide phosphorique total.

C. Le règlement du peut autoriser ou exiger des garanties pour les éléments fertilisants autres que l'azote, le phosphore et le potassium. La garantie relative à ces autres principes fertilisants doit être exprimée sous la forme de l'élément. Il peut être prescrit d'indiquer sur la demande d'enregistrement de ces autres éléments fertilisants (oxyde, sel, chélate etc.) et de les mentionner entre parenthèses sur l'étiquette. Les autres substances ou composés utiles dont la présence peut être déterminée par des méthodes de laboratoires, peuvent également être garanties avec l'autorisation de et avec l'avis du Directeur de la Station Agricole Expérimentale. Lorsque les principes fertilisants ou autres substances ou composés sont garantis, ils feront l'objet d'une inspection et d'une analyse conformément aux méthodes et règlements prescrits par

D. Le règlement peut prescrire d'indiquer la basicité ou l'acidité potentielle exprimée en équivalent de carbonate de calcium.

* (2) Si à un moment quelconque, après le 1^{er} juillet 196... constate, après une audience publique, précédée d'un préavis en bonne et due forme, que les conditions requises pour exprimer l'analyse garantie de phosphore et de potassium, sous forme élémentaire, n'imposera pas de difficulté économique aux distributeurs et utilisateurs de l'engrais, en raison des règlements contradictoires sur l'étiquetage suivant les Etats, il peut exiger par ordonnance ultérieure que « l'analyse garantie » soit exprimée sous la forme suivante :

Azote total N	%
Phosphore assimilable P	%
Potassium soluble K	%

il est stipulé, toutefois, qu'il s'écoulera un délai de six mois au moins entre la date d'entrée en vigueur dudit règlement et sa publication et en outre que pendant une période de deux ans, suivant la date d'entrée en vigueur effective dudit règlement, l'équivalent en phosphore et en potassium peut aussi être exprimé sous forme d'acide phosphorique et de potasse; il est stipulé cependant qu'après la date effective d'entrée en vigueur d'un règlement publié conformément aux dispositions de la présente section et exigeant que le phosphore et le potassium soient indiqués sous forme élémentaire, l'analyse garantie du phosphore et du potassium constituera la preuve de la qualité de l'engrais.

Eléments secondaires et oligo-éléments¹.

Dans l'industrie des engrais et dans l'agriculture en général, l'importance des éléments essentiels, azote, phosphore et potassium est reconnue depuis longtemps. L'importance des éléments secondaires et des oligo-éléments a maintenant été pleinement reconnue comme étant nécessaire à la croissance des plantes et ils font maintenant partie intégrante de la famille des éléments fertilisants. Dans quelques Etats, il suffit d'indiquer le composé qui contient l'élément. Si des garanties sont données pour les éléments secondaires et les oligo-éléments, il est généralement prescrit qu'elles doivent être exprimées en éléments.

Des groupes mixtes composés de représentants de l'industrie et fonctionnaires du contrôle des engrais ont étudié la question d'une étiquette garantissant l'exactitude et l'uniformité de l'analyse. Plus de la moitié des Etats ont fait figurer des dispositions particulières pour de telles garanties, et on prévoit que les autres suivront.

L'A.A.F.C.O. a proposé d'adopter les règlements suivants dans les lois des Etats sur les engrais :

« Les éléments fertilisants supplémentaires, outre l'azote, le phosphore et le potassium, qui sont mentionnés sous une forme ou une autre, doivent être enregistrés et garantis. La garantie sera fondée sur la base de l'élément. L'origine des éléments garantis doit être indiquée dans la demande d'enregistrement. Les pourcentages minima qui sont acceptés pour l'enregistrement sont les suivants :

<i>Elément</i>	<i>%</i>	<i>Elément</i>	<i>%</i>
Cuivre (Cu)	0,05	Soufre (S)	1
Fer (Fe)	0,10	Bore (B)	0,02
Manganèse (Mn)	0,05	Chlore (Cl)	0,10
Molybdène (Mo)	0,0005	Cobalt (Co)	0,0005
Sodium (Na)	0,10	Calcium (Ca)	1
Zinc (Zn)	0,05	Magnésium (Mg)	0,5

Les garanties ou demandes concernant les éléments fertilisants supplémentaires énumérés ci-dessus seront les seules qui seront acceptées. Les projets d'étiquette et de mode d'emploi de l'engrais devront être fournis le cas échéant en même temps que la demande d'enregistrement. Un avertissement devra figurer sur l'étiquette de tout produit qui contient 0,03 % ou davantage de bore sous une forme soluble dans l'eau ou 0,001 % ou davantage de molybdène. Tous les éléments précités qui sont garantis devront figurer dans l'ordre indiqué, immédiatement à la suite des garanties concernant les éléments fertilisants principaux, c'est-à-dire l'azote, le phosphore et le potassium.

On procède maintenant de plus en plus à l'incorporation des oligo-éléments dans les formules d'engrais, l'industrie s'inspirant pour cela des recherches sur les besoins locaux. En général, ces éléments fertilisants sont fournis pour être utilisés séparément ou pour être ajoutés à des mélanges composés ou aux solutions d'engrais le cas échéant, en grande partie sur ordonnance.

L'addition des oligo-éléments aux engrais commerciaux en vue d'une application directe sur la terre ou sous forme de pulvérisations foliaires est compliquée par le fait que l'addition de certains oligo-éléments risque de nuire aux plantes ou de réduire la valeur de la culture en tant qu'aliment humain ou animal. Cf. chapitre XI pour une étude plus approfondie sur la façon de remédier aux carences en éléments secondaires et en oligo-éléments.

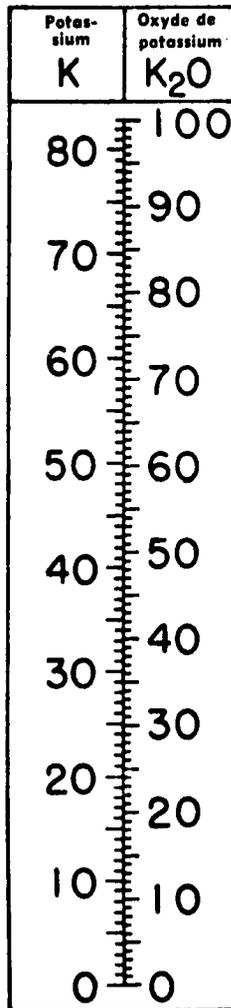
Comment faire la conversion de l'oxyde à l'élément.

Pour déterminer les équivalents techniquement exacts des oxydes ou des éléments, on peut utiliser les tableaux de conver-

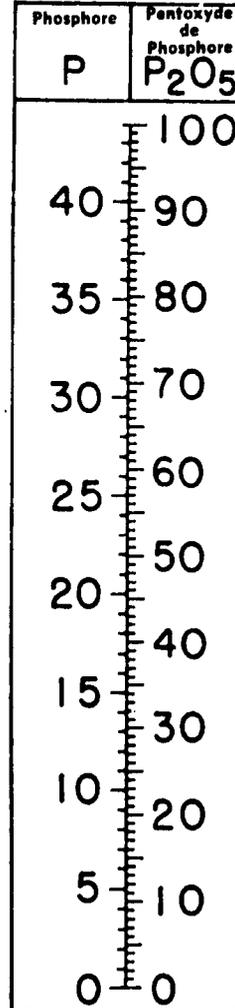
ÉCHELLE DE CONVERSION DES ENGRAIS

(LIVRES OU POURCENT)

Elément Oxyde



Elément Oxyde



sion figurant au chapitre suivant. On peut faire de l'interprétation simple de P et de K en lisant directement l'échelle de conversion ci-dessus.

Pour se souvenir de la façon de convertir les éléments K et P en oxyde de K_2O et P_2O_5 , il faut utiliser le moyen mnémotechnique suivant :

K et P — 1,2 et 2,3

$K \times 1,2 = K_2O$

$P \times 2,3 = P_2O_5$

Pour convertir les oxydes en éléments, diviser par le même facteur de conversion.

La conversion en élément implique un certain nombre de problèmes éducatifs. Les changements apportés en matière de politique de publication par les différentes sociétés scientifiques, collèges, universités et organismes gouvernementaux serviront de point de départ à tout programme d'éducation. Un programme soigneusement mis au point pour un passage progressif et méthodique à l'autre système pourrait atténuer considérablement l'acuité de nombre de ces problèmes. Ceux qui ont étudié ce nouveau système reconnaissent qu'il leur faudrait une période de cinq à dix ans pour que la transition se fasse méthodiquement. Ceci nous amène à insister une fois de plus sur l'effort éducatif nécessaire pour renseigner à fond les agriculteurs, l'industrie, les fonctionnaires des services de contrôle et les fonctionnaires agricoles sur le nouveau système de déclaration.

Il appartiendra à l'industrie et aux organismes officiels de prendre la décision de modifier complètement la terminologie de l'industrie des engrais, y compris le double système d'étiquetage.

Le chapitre XII intitulé « Loi sur les engrais relative aux éléments fertilisants » contient une liste des bureaux de contrôle des engrais dans les différents Etats de l'Ouest et du Canada. On peut se procurer des exemplaires des lois, règles et règlements en écrivant à ces bureaux.

Terminologie employée dans le domaine des engrais.

Toutes les substances chimiques peuvent être divisées en deux grandes catégories, les produits organiques et les produits inorganiques.

Par produit chimique organique, on entend un composé qui à l'instar de la matière végétale et animale (organique) contient l'atome de carbone (autres que le carbonate) comme constituant essentiel. Ces produits organiques sont dérivés des résidus de la vie préhistorique comme le charbon, le pétrole, le gaz naturel ou de matériaux de notre époque comme les produits agricoles.

Les produits chimiques inorganiques sont des composés qui ne contiennent pas de carbone. Ils proviennent des minéraux, des

gaz de l'atmosphère, de l'eau et autres matières. Un petit nombre de produits chimiques inorganiques, comme l'hydrogène élémentaire qui sert à fabriquer l'ammoniac, proviennent de sources organiques telles que le pétrole et le gaz naturel.

Les produits chimiques inorganiques peuvent être divisés en trois grandes catégories :

1. Les acides,
2. Les bases (alcalis-hydroxides),
3. Les sels.

Les acides et les bases, en particulier les plus communs, sont généralement très actifs. Dans la plupart des cas, ils ont une action corrosive sur la peau et attaquent les autres produits chimiques avec lesquels ils entrent en contact et forment ainsi de nouveaux composés chimiques. Les acides sont formés par la combinaison d'éléments non métalliques tels que le soufre, l'azote, le chlore avec l'hydrogène ou avec de l'hydrogène et de l'oxygène.

Les bases sont le résultat de la combinaison d'éléments métalliques comme le calcium, le sodium, le potassium, le fer avec de l'hydrogène et de l'oxygène. L'ammoniaque dissoute dans l'eau forme l'hydroxyde d'ammonium NH_4OH qui est également une base. Au lieu d'un seul élément métallique, nous avons une combinaison des éléments azote N et hydrogène H^+ qui jouent le rôle de métal.

Le mot alcali s'applique aux bases qui contiennent du sodium, du potassium, du calcium et de l'ammoniaque. Ces bases ont une action plus forte sur la peau et sur d'autres produits chimiques que les bases plus faibles qui contiennent du fer, de l'aluminium, du plomb, etc.

Lorsqu'un acide et une base réagissent ensemble, il se forme deux nouveaux produits chimiques. L'hydrogène de l'acide se combine avec l'hydrogène et l'oxygène de la base pour former de l'eau. L'élément métallique ou ion, par exemple Na^+ , de la base s'unit avec l'élément non métallique ou ion NO_3^- de l'acide pour former un sel. Lorsqu'un acide agit sur un métal, le résultat est à peu près analogue à la réaction entre un acide et une base. Il se forme un sel, mais au lieu de former de l'eau, il y a généralement production d'hydrogène gazeux.

Certains acides et certaines bases sont plus actifs que d'autres, c'est-à-dire qu'une base peut avoir une plus grande affinité pour un acide qu'une autre; par exemple, le calcium a une plus grande affinité pour l'acide sulfurique que pour l'acide phosphorique, de sorte que lorsqu'un phosphate de calcium, comme par exemple le phosphate naturel, est traité avec de l'acide sulfurique, une partie ou la totalité du calcium quitte le phosphate et se combine avec l'ion sulfate pour former du sulfate de calcium (gypse).

Telle est la réaction qui se produit lorsqu'on fabrique des superphosphates simples, doubles ou triples, ou de l'acide phosphorique H_3PO_4 . Nous avons un autre exemple d'affinité plus forte

avec le calcium (de la chaux et de l'oxyde de calcium) et l'ammoniaque. Le calcium est la base la plus forte ou la plus active et il remplace l'ammoniaque du sulfate d'ammonium, formant ainsi du sulfate de calcium et libérant de l'ammoniaque.

L'acide phosphorique H_3PO_4 est maintenant largement utilisé à la fois comme engrais et comme élément fertilisant. Ainsi qu'il est indiqué dans la section relative à la qualité de l'engrais au début du présent chapitre, le terme « acide phosphorique » est utilisé dans les codes d'engrais des différents Etats pour désigner l'ion anhydride phosphorique P_2O_5 . Pour éviter toute confusion, il a été nécessaire d'utiliser ces termes avec prudence.

Dans les procès-verbaux d'analyse d'engrais et autres matières on indique couramment le pourcentage de divers éléments fonction de la teneur en oxyde. En d'autres termes, il s'agit du pourcentage de l'acide ou de la base moins l'eau. Dans la nomenclature des engrais, l'anhydride phosphorique est une combinaison de deux atomes de phosphore et de cinq atomes d'oxygène P_2O_5 , alors que l'acide phosphorique utilisé dans le commerce est en fait H_3PO_4 .

La potasse caustique (hydroxyde de potassium) est KOH, mais dans les engrais la potasse est indiquée par la teneur du K_2O qui, en fait, représente l'oxyde de potassium.

Acidité et basicité des engrais.

On sait depuis longtemps que certains engrais laissent un résidu acide dans le sol, ce qui tend à l'acidifier; certains produits laissent des résidus basiques qui tendent à rendre le sol plus basique ou alcalin, tandis que d'autres matières laissent des résidus qui ne sont ni acides, ni basiques.

W.H. Pierre* a étudié l'action des engrais sur l'acidité du sol ou réaction du sol et dans les grandes lignes, ses conclusions sont les suivantes :

1. Les sels de potasse communs tel que le chlorure ou le sulfate de potasse, les sels de fumures et la kainite n'ont pas d'effet résiduel sur la réaction du sol.

2. Les engrais phosphatés dans lesquels l'un des trois hydrogènes de l'acide phosphorique H_3PO_4 est remplacé par une base (à l'exclusion d'un NH_4^+) n'ont en général aucun effet permanent sur la réaction du sol alors que les phosphates dans lesquels plus d'un hydrogène a été remplacé par une base donneront une réaction basique au sol (à l'exclusion de NH_4^+).

Ainsi les superphosphates (simple et double) n'auront aucun effet sur la réaction du sol. Le phosphate mono-ammoniacal n'a de l'effet que par l'ammoniaque. Le phosphate dicalcique, le phosphate tricalcique et les phosphates qui sont plus basiques que les composés mono-basiques donnent une réaction alcaline au sol.

3. Les engrais qui contiennent de l'azote sous forme d'ammoniacale ou sous une forme sujet à nitrification dans le sol, produisent une acidité résiduelle dans le sol, à moins qu'il n'y ait une base suffisante (comme la chaux) pour neutraliser cette acidité.

4. Les engrais azotés dans lesquels l'azote se présente sous forme de nitrate, combinés avec des bases comme le sodium ou le calcium entraînent une diminution de l'acidité du sol ou un accroissement de l'alcalinité.

Les expériences faites avec divers engrais dans des sols où poussaient des plantes indiquent que la moitié environ de l'équivalent d'acide nitrique de l'azote présent a une influence sur la réaction du sol. Ainsi, le sulfate d'ammoniacale laisse dans le sol un résidu acide qui représente l'équivalent en acide nitrique de la moitié de sa teneur en hydrogène, plus l'acidité de la teneur en équivalent d'acide sulfurique (sulfate).

Le sulfate d'ammoniacale (en fait tous les sels ammoniacaux), l'urée, le sang, la farine de graines de coton, le poisson, les gadoues, et certains résidus de conserveries et même les solutions ammoniacales extrêmement alcalines, laissent des résidus acides.

La cyanamide, le nitrate de soude, le nitrate de potasse, le nitrate de calcium et la farine d'os laissent des résidus basiques.

Le résidu acide de toute matière, mesuré en équivalent de carbonate de calcium (chaux pure) nécessaire pour le neutraliser, est appelé acidité équivalente. Le résidu basique de toute matière est appelé de la même façon basicité équivalente.

L'acidité ou la basicité équivalente des matières est indiquée dans le Tableau des engrais avec leur composition.

Avec ce tableau on peut calculer l'acidité équivalente nette d'une formule d'engrais complète et en y ajoutant du calcaire, de la dolomite, etc. on peut préparer un mélange d'engrais qui donnera une réaction acide neutre ou basique dans la proportion voulue.

Compte tenu des données ci-dessus, W.H. Pierre a mis au point une méthode chimique pour déterminer en laboratoire l'acidité ou la basicité d'un engrais ou d'un mélange d'engrais. Cette méthode est communément utilisée par les chimistes spécialistes des engrais et par les fonctionnaires de l'Etat chargé du contrôle.

(1) W.H. Pierre, « Determination of Equivalent Acidity and Basicity of Fertilizers » (Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 5, page 229, 15 juillet 1933 (Edition analytique).

(2) W.H. Pierre « L'acidité et la basicité équivalentes des engrais déterminées par une nouvelle méthode » (Journal of A.O.A.C., février 1934).

(3) Le précédent exposé sur les matières fertilisantes et les termes employés est une adaptation, avec des citations provenant surtout de « Farm Chemicals Handbook », « Dictionary of Plant Foods ». Certains changements ont été apportés pour se conformer au texte en ce qui concerne des conditions propres à l'Ouest (Cf. référence bibliographique à la fin du présent chapitre).

LA CHIMIE DES ENGRAIS

On pose bien souvent la question suivante : « Pourquoi un engrais (ou une formule d'engrais complet) ne contient-il pas 100 % d'éléments nutritifs? La formule 10-10-10 présente 30 % d'éléments nutritifs. En quoi consiste le solde de 70 %. Pourquoi ne pouvons-nous pas acheter un produit contenant un composé à 100 % d'azote, phosphore, potassium? »

La réponse peut être donnée en termes simples en faisant appel à des notions de chimie pratique. Nous savons maintenant qu'il existe 16 principes fertilisants essentiels officiellement reconnus. Au début de l'industrie, le terme « principe fertilisant » était limité à trois seulement : l'azote, le phosphore et le potassium. Une préparation contenant un ou plusieurs de ces éléments à l'état pur pourrait être considérée comme contenant réellement 100 % d'éléments nutritifs.

Cependant, l'azote est un gaz inerte. Près de 80 % de l'air qui nous entoure est composé d'azote. Ni les humains, ni les animaux, ni les plantes ne peuvent utiliser l'azote tel quel. Les légumineuses, dit-on, peuvent prélever l'azote dans l'air. En fait ce n'est pas la légumineuse, mais les bactéries qui se trouvent dans les nodules des racines qui possèdent ce pouvoir.

Le phosphore est une substance jaune, cireuse qui s'enflamme lorsqu'elle est exposée à l'air. Le chimiste la conserve dans de l'eau pour empêcher qu'elle ne prenne feu. L'élément phosphore est toxique et ne peut pas être utilisé tel quel dans les engrais.

Le potassium métallique pur est une substance molle, brillante ayant l'aspect du plomb. Il s'oxyde très rapidement au contact de l'air, et en présence de l'eau, il se combine pour former de la potasse caustique qui comme on le sait communément est un produit extrêmement dangereux. A l'état pur, il faut le conserver dans du pétrole pour empêcher qu'il ne s'oxyde.

En conséquence, ces éléments fertilisants ne peuvent pas être utilisés comme engrais, lorsqu'ils sont au stade d'élément. Tous les éléments communs sont capables d'entrer en combinaison avec un ou plusieurs autres éléments pour former des composés qui diffèrent considérablement des éléments dont ils sont constitués. On peut dire que ces trois éléments n'existent communément qu'en combinaison avec d'autres éléments pour lesquels ils ont une affinité. En d'autres termes, il leur faut subir une transformation chimique.

Le potassium et le chlore proprement dit seraient nocifs pour les plantes, mais le chlorure de potassium composé qui se forme lorsque ces éléments réagissent ensemble, est l'un des engrais potassiques le plus largement utilisé.

COMPOSITION MOYENNE DES ENGRAIS

Engrais	Formule chimique	Azote total N %	Acide phosphorique assimilable P ₂ O ₅ %	Potasse soluble dans l'eau K ₂ O %	Calcium combiné Ca %	Soufre combiné S %	Acidité ou basicité combinée lbs de carbonate de calcium	
							Acide	Base
<i>Engrais azotés :</i>								
Nitrate d'ammonium	NH ₄ NO ₃	33,5					62	
Phosphate mono-ammoniacal	NH ₄ H ₂ PO ₄	11	48		1,4	2,6	58	
Sulfate et phosphate d'ammonium	NH ₄ H ₂ PO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄	13	39			7	69	
Sulfate et phosphate d'ammonium	40 % NH ₄ H ₂ PO ₄ 60 % (NH ₄) ₂ SO ₄	16	20		0,6	15,4	88	
Nitrate et phosphate d'ammonium	****	24	20				60	
Nitrate et phosphate d'ammonium		27	14				60	
Phosphate diammonacal ..	(NH ₄) ₂ HPO ₄	21	53				75	
Superphosphate simple ammoniacal	*****	3-4	16-18		15,0	12	4-7	
Superphosphate triple ammoniacal	*****	4-6	42-45		12,9	1	11-14	
Phosphates nitriques	*****	14-20	14-20		8-10	0-4	15-29	
Chlorure d'ammonium	NH ₄ Cl	25					140	
Sulfate d'ammonium	(NH ₄) ₂ SO ₄	20-21				24	110	
Ammoniac anhydre	NH ₃	82					147	
Ammoniacque en solution aqueuse	NH ₄ OH	20					36	

Solution de nitrate d'ammonium et ammoniacale ..	NH ₄ NO ₃ NH ₄ OH	40					
Solution de nitrate de calcium ammoniacale	11,6 % Ca(NO ₃) ₂ 5,4 % NH ₄ NO ₃	17			8,8	80	
Nitrate de calcium	Ca(NO ₃) ₂	15,5			21	9	20
Cyanamide calcique	CaCN ₂	20-22			37		63
Nitrate de soude	NaNO ₃	16					29
Urée	CO(NH ₂) ₂	45-46				71	
Urée formaldéhyde	***	38					
Solution de nitrate d'ammonium et d'urée	35,4 % CO(NH ₂) ₂ 44,3 % NH ₄ NO ₃	32				57	
<i>Engrais phosphatés :</i>							
Superphosphate simple ...	50 % CaSO ₄ 30 % CaH ₄ (PH ₄) ₂ *		18-20		18-21	12	*
Superphosphate double et triple	CaH ₄ (PO ₄) ₂ *		42-46		12-14	1	*
Acide phosphorique liquide.	H ₃ PO ₄		52-54				110
<i>Engrais potassiques :</i>							
Chlorure de potassium	KCl		62		0,3		neutre
Nitrate double de potassium et sodium	NaNO ₃ -KNO ₃	15					25
Nitrate de potassium	KNO ₃	13					23
Sulfate de potassium	K ₂ SO ₄		53			18	neutre
Sulfate double de potassium et de magnésium	K ₂ SO ₄ . 2MgSO ₄		26		1	15	neutre

* Certaines chercheurs utilisent la formule Ca(H₂PO₄)₂.H₂O, qui a la même signification chimique (Cf. texte).

** Equivalent par 100 lbs de chaque produit.

*** Aussi connu sous forme d'urée; ces produits sont le résultat de réactions entre l'urée et la formaldéhyde.

**** Dans certaines régions, on emploie le terme de « nitro-phosphate d'ammonium » (Cf. texte pour la composition de ces produits).

***** Les produits de l'ammonisation (Cf. texte pour de plus amples détails sur ce processus).

FACTEURS DE CONVERSION

Pour trouver l'équivalent d'un produit ou élément A en élément B, multiplier la quantité A (livres) par le facteur de la colonne A vers B. Pour calculer une quantité inverse, multiplier le nombre de livres de B par le facteur de la colonne B vers A.

A	B	Multiplier	
		A vers B	B vers A
Azote (N)	Ammoniaque (NH ₃)	1,2159	0,8224
Azote (N)	Nitrate (NO ₃)	4,4266	0,2259
Azote (N)	Protéine brute	6,25	0,160
Sulfate d'ammonium (NH ₄) ₂ SO ₄	Azote (N)	0,2120	4,7168
Sulfate d'ammonium	Ammoniaque (NH ₃)	0,2574	3,8793
Sulfate d'ammonium	Soufre (S)	0,2426	4,1211
Nitrate d'ammonium (NH ₄ NO ₃)	Ammoniaque (NH ₃)	0,4255	2,3499
Nitrate d'ammoniaque	Azote (N)	0,3500	2,8571
Nitrate de calcium Ca(NO ₃) ₂	Azote (N)	0,1707	5,8572
Nitrate de calcium	Ammoniaque (NH ₃)	0,2076	4,8172
Nitrate de calcium	Calcium (Ca)	0,2442	4,0942
Nitrate de soude (NaNO ₃)	Azote (N)	0,1648	6,0679
Nitrate de soude	Sodium (Na)	0,2705	3 6970
Nitrate de soude	Ammoniaque (NH ₃)	0,2004	4,9905
Urée CO(NH ₂) ₂	Azote (N)	0,4665	2,1437
Urée	Ammoniaque (NH ₃)	0,5672	1,7631
Acide phosphorique (P ₂ O ₅)	Phosphore (P)	0,4364	2,2914
Phosphore (P)	Phosphate (PO ₄)	3,0662	0,3261
Anhydride phosphorique (P ₂ O ₅)	Phosphate (PO ₄)	1,3381	0,7473
Phosphate mono-ammoniacal NH ₄ H ₂ PO ₄	Ammoniaque (NH ₃)	0,1481	6,7538
Phosphate mono-ammoniacal NH ₄ H ₂ PO ₄	Azote (N)	0,1218	8,2118
Phosphate mono-ammoniacal NH ₄ H ₂ PO ₄	Anhydride phosphorique (P ₂ O ₅)	0,6170	1,6207
Phosphate diammoniacal (NH ₄) ₂ HPO ₄	Ammoniaque (NH ₃)	0,2579	3,8769
Phosphate diammoniacal (NH ₄) ₂ HPO ₄	Azote (N)	0,2121	4,7138
Phosphate diammoniacal (NH ₄) ₂ HPO ₄	Anhydride phosphorique (P ₂ O ₅)	0,5374	1,8607
Phosphate de calcium dibasique (CaHPO ₄ ·2H ₂ O) (secondaire)	Calcium (Ca)	0,2329	4,2938
Phosphate de calcium dibasique (CaHPO ₄ ·2H ₂ O)	Anhydride phosphorique (P ₂ O ₅)	0,4124	2,4247
Potassium (K)	Potasse (K ₂ O)	1,2046	0,8301
Potasse (K ₂ O)	Sulfate de potasse (K ₂ SO ₄)	1,8499	0,5405
Nitrate de potassium (KNO ₃)	Potasse (K ₂ O)	0,4658	2,1466
Nitrate de potassium (KNO ₃)	Azote (N)	0,1385	7,2178
Carbonate de potassium (K ₂ CO ₃)	Potassium (K)	0,5658	1,7674

A	B	Multiplier	
		A vers B	B vers A
Carbonate de potassium (K ₂ CO ₃)	Potasse (K ₂ O)	0,6816	1,4672
Sulfate de potassium (K ₂ SO ₄)	Potassium (K)	0,4487	2,2284
Chlorure de potasse (KCl)	Potassium (K)	0,5244	1,9068
Borax (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O)	Bore (B)	0,1134	8,8129
Anhydride borique (B ₂ O ₃)	Bore (B)	0,3107	3,2181
Anhydride borique (B ₂ O ₃)	Borax (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O)	2,7386	0,3652
Pentahydrate de tétraborate de sodium Na ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O	Trioxyde de bore (B ₂ O ₃)	0,4779	2,0923
Pentahydrate de tétraborate de sodium Na ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O	Bore (B)	0,1485	6,7315
Tétraborate de sodium anhydre Na ₂ B ₄ O ₇	Trioxyde de bore (B ₂ O ₃)	0,6918	1,4454
Tétraborate de sodium anhydre Na ₂ B ₄ O ₇	Bore (B)	0,2150	4,6502
Anhydride phosphorique (P ₂ O ₅)			
Chaux libre (CaO)	Sulfate de calcium (CaSO ₄)	2,4277	0,4119
Sulfate de calcium (CaSO ₄)	Gypse (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	1,2647	0,7907
Chaux libre (CaO)	Gypse (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	3,0702	0,3257
Chaux libre (CaO)	Chaux carbonatée (CaCO ₃)	1,7848	0,5604
Chaux libre (CaO)	Calcium (Ca)	0,7147	1,3992
Chaux libre (CaO)	Phosphate tricalcique Ca ₃ (PO ₄) ₂	1,8437	0,5424
Carbonate de calcium Ca(OH) ₂	Calcium (Ca)	0,4004	2,4973
Carbonate de calcium Ca(OH) ₂	Hydroxyde de calcium Ca(OH) ₂	0,7403	1,3508
Hydroxide de calcium Ca(OH) ₂	Calcium (Ca)	0,5409	1,8487
Hydroxide de calcium Ca(OH) ₂	Oxyde de calcium (CaO)	0,7568	1,3212
Trioxyde de soufre (SO ₃)	Soufre (S)	0,4005	2,4972
Acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	Soufre (S)	0,3269	3,0587
Magnésie (MgO)	Magnésium (Mg)	0,6032	1,6579
Sulfate de magnésium (MgSO ₄)	Magnésium (Mg)	0,2020	4,9501
Sulfate de magnésium (MgSO ₄)	Magnésie (MgO)	0,3349	2,9858
Sels d'Epsom (MgSO ₄ ·7H ₂ O)	Magnésie (MgO)	0,1636	6,1135
Sels d'Epsom (MgSO ₄ ·7H ₂ O)	Magnésium (Mg)	0,0987	10,1356
Sulfate de manganèse (MnSO ₄)	Manganèse (Mn)	0,3638	2,7486
Sulfate de manganèse (MnSO ₄ ·H ₂ O)	Manganèse (Mn)	0,3250	3,0765
Sulfate de manganèse (MnSO ₄ ·3H ₂ O)	Manganèse (Mn)	0,2679	3,7323
Sulfate de manganèse (MnSO ₄ ·6H ₂ O)	Manganèse (Mn)	0,2463	4,0602
Sulfate de manganèse (MnSO ₄ ·5H ₂ O)	Manganèse (Mn)	0,2279	4,3882
Nitrate de cobalt Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Cobalt (Co)	0,2025	4,9381
Sulfate de cobalt (CoSO ₄ ·7H ₂ O)	Cobalt (Co)	0,2097	4,7696

A	B	Multiplieur	
		A vers B	B vers A
Sulfate de cobalt (CoSO ₄)	Cobalt (Co)	0,3802	2,6299
Sulfate de cuivre (CuSO ₄)	Cuivre (Cu)	0,3981	2,5119
Sulfate de cuivre (CuSO ₄ , 5H ₂ O)	Cuivre (Cu)	0,2545	3,9296
Sulfate ferrique Fe ₂ (SO ₄) ₃	Fer (Fe)	0,2793	3,5801
Sulfate ferrique Fe ₂ (SO ₄) ₃ , 9H ₂ O	Fer (Fe)	0,1987	5,0317
Sulfate ferreux FeSO ₄	Fer (Fe)	0,3676	2,7201
Sulfate ferreux FeSO ₄ , 7H ₂ O	Fer (Fe)	0,2009	4,9781
Molybdate de sodium (Na ₂ MoO ₄ , 2H ₂ O)	Molybdène (Mo)		2,5218
Oxyde de zinc (ZnO)	Zinc (Zn)	0,3965	2,5119
Sulfate de zinc (ZnSO ₄)	Zinc (Zn)	0,8034	1,2447
Sulfate de zinc (ZnSO ₄ , H ₂ O)	Zinc (Zn)	0,4050	2,4693
Sulfate de zinc (ZnSO ₄ , 7H ₂ O)	Zinc (Zn)	0,3643	2,7449
		0,2274	4,3982

Le chlorure de sodium (sel commun) offre un exemple du même ordre pour l'alimentation humaine. Le sodium et le chlore sont des poisons pour les animaux ainsi que pour l'homme, mais le produit de leur combinaison, le sel ordinaire est un ingrédient indispensable de l'alimentation humaine.

Dans tous les cas on obtient le pourcentage de pureté en divisant la pureté effective par la valeur théorique et en multipliant par 100. Si le pourcentage de pureté est connu, il faut alors multiplier la valeur théorique obtenue au moyen du facteur de conversion ci-dessus par le pourcentage connu de pureté. Par exemple : si on a constaté qu'un échantillon de sulfate d'ammoniaque contient 20,5 % d'azote, au lieu de 21,2 % théorique, la pureté serait de 20,5 au lieu de $21,2 \times 100$ soit 96,7 %. Ou, si l'on sait que l'échantillon a une pureté initiale de 97 %, il suffira de multiplier la valeur théorique de 21,2 % par 0,97 pour obtenir la valeur réelle.

POURCENTAGE HABITUEL D'ELEMENTS CONTENUS DANS LES ENGRAIS COMMERCIAUX, UTILISES COMME SOURCE D'OLIGO-ELEMENT

Composé	Formule	Elément	% contenu dans le composé
Sulfate de cuivre	CuSO ₄ , 5H ₂ O	Cuivre	25
Monohydrate de sulfate de cuivre	CuSO ₄ , H ₂ O	Cuivre	35
Sulfate ferrique	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Fer	27
Sulfate ferreux	FeSO ₄ , 7H ₂ O	Fer	20
Oxyde de magnésium	MgO	Magnésium	60
Sulfate de magnésium	MgSO ₄ , 7H ₂ O	Magnésium	9,5
Sulfate de magnésium sec ...	MgSO ₄ , 3H ₂ O	Magnésium	13,5
Sulfate de manganèse	MnSO ₄ , H ₂ O	Manganèse	32
Borate de soude (borax) ...	Na ₂ B ₄ O ₇ , 10H ₂ O	Bore	11
Molybdate de sodium	Na ₂ MoO ₄ , 2H ₂ O	Molybdène	39
Oxyde de zinc	ZnO	Zinc	72-79
Sulfate de zinc	ZnSO ₄ , 7H ₂ O	Zinc	22
Sulfate de zinc sec	ZnSO ₄ , H ₂ O	Zinc	36

Outre les produits mentionnés ci-dessus, les produits suivants sont d'importantes sources de quelques-uns de ces éléments.

BORE : *La Rasorite Anhydre* — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ — est un borate concentré de sodium contenant 21,5 % de B. L'acide borique H_3BO_3 contient 17,5 % de B. Le polybore est un borate de sodium spécial composé d'environ 98 % de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ qui contient 20,97 % de B. On peut dissoudre jusqu'à 900 grammes de polybore dans 4 litres d'eau.

FER. *Le fer chélaté* (versénate ferreux disodique, fer EDTA) -- peut contenir jusqu'à 8 % de fer. Les composés chélatés peuvent être utilisés soit dans le sol, soit en applications foliaires. Fer fritté — ces composés sont préparés en ajoutant l'élément à la silice fondue, puis en refroidissant et en broyant. Ils contiennent jusqu'à 10 % de Fe et peuvent aussi contenir du manganèse, du zinc, du cuivre, du bore et du molybdène en plus du fer.

MOLYBDÈNE : *Molybdate d'ammonium* — $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ — contient 48,9 % de Mo.

ZINC : *Sequestrène de zinc* (zinc chélaté, versénate de zinc disodique ou zinc EDTA) qui contient jusqu'à 13 % de Zn.

ÉLÉMENTS MAJEURS³

Les trois éléments nutritifs majeurs des aliments des plantes, l'azote, le phosphore et le potassium sont fournis par des engrais qui contiennent des nitrates ou ammoniacaux, des phosphates ou de la potasse.

AZOTE

Le symbole chimique de l'azote est la lettre « N ». Les plantes l'utilisent sous forme d'un ion ammonium (NH_4^+) ou d'un ion nitrate (NO_3^-). Le symbole chimique NH_4^+ signifie qu'un atome d'azote est combiné à quatre atomes d'hydrogène. (NO_3^-) signifie qu'un atome d'azote est combiné chimiquement à trois atomes d'oxygène.

Il doit y avoir une combinaison chimique de ces formes d'azote ammoniacale ou nitrique avec d'autres éléments qui servent de vecteurs afin que le produit puisse être manipulé sous forme gazeuse solide ou liquide. Seule l'ammoniaque liquide NH_3 n'a pas besoin de vecteur.

Les engrais qui fournissent de l'azote sont classés en engrais *organiques naturels*, *inorganiques* et *organiques* de synthèse.

Les principales sources commerciales d'azote servant d'engrais sont les matières organiques naturelles, le nitrate de soude, l'azote obtenu comme sous-produit du charbon et l'azote fixé synthétiquement.

L'azote organique naturel provenait, dans les tous premiers temps de l'industrie, de matières organiques naturelles, de tour-

teaux d'oléagineux, de tourteaux de ricin, de produits à base de poisson, de résidus animaux, de sang séché, de guano, du purin de fumier séché.

Avec le développement de l'industrie de l'azote synthétique, une partie de ces matières organiques naturelles concentrées, résidus animaux, sang, os, déchets de poisson et tourteaux d'oléagineux ont été en grande partie consacrées à l'alimentation des animaux. En raison de leur prix unitaire élevé, de leur faible teneur en azote, aussi bien que de la limitation des ressources, ils ont davantage de valeur comme sources de protéines pour la volaille et comme aliment du bétail.

L'industrie des engrais continue à être le principal débouché pour un grand nombre de matériaux, tels que les résidus d'oléagineux traités, les gadoues et les résidus de ricin, qui généralement ne peuvent pas servir à d'autres usages.

Le premier composé inorganique d'azote disponible fut le nitrate de soude du Chili. Ce produit était extrait de dépôts minéraux dans le désert du nord du Chili et l'exploitation de cette source naturelle d'azote nitrique destiné à l'exportation a commencé dès 1820.

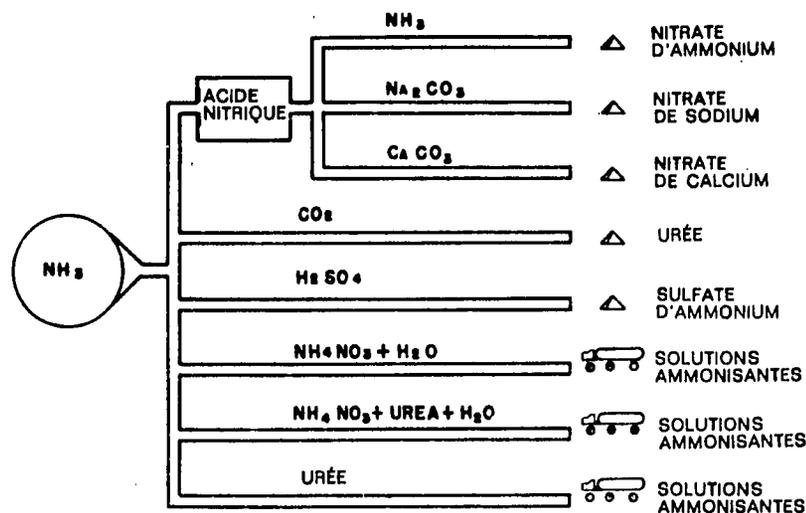
Le Chili est le seul endroit du monde où il existe des gisements connus de nitrate de soude naturel d'une grande importance.

Azote provenant du charbon. Le sous-produit sulfate d'ammonium, dont il a été question pour la première fois en 1860, était fabriqué à partir de l'ammoniaque provenant des usines à gaz des villes et en 1893, la récupération de l'ammoniac dans les gaz de hauts-fourneaux a augmenté les ressources commerciales.

L'ammoniaque sous-produit était traitée par de l'acide sulfurique pour former du sulfate d'ammonium. L'ammoniaque était aussi dissoute dans de l'eau pour faire de la liqueur ammoniacale. Ensuite elle a été utilisée pour fabriquer du phosphate ammoniacal.

Azote synthétique. La production commerciale d'azote synthétique par fixation de l'azote de l'air a commencé pour la première fois en 1921. Pour fabriquer de l'ammoniaque synthétique, on combine de l'azote avec de l'hydrogène en le comprimant en présence d'un catalyseur approprié de façon à former de l'ammoniac (NH_3). L'ammoniac est un gaz incolore à la température ambiante et à la pression atmosphérique. Sa formule NH_3 indique que chaque volume est combiné à trois volumes d'hydrogène. Lorsqu'il est comprimé et refroidi sous forme liquide, on l'appelle ammoniac anhydre liquide. La combinaison chimique a un rapport de poids de 82,25 % d'azote et 17,75 % d'hydrogène et elle est garantie dans le commerce à 82,25 % d'azote.

Un très grand nombre d'engrais azotés sont fabriqués avec de l'ammoniac comme matière première initiale. Le schéma ci-après indique la conversion de l'ammoniac en divers engrais.



Le chlorure d'ammonium NH_4Cl est produit en faisant réagir du chlore (sous-produit de la fabrication du carbonate de soude anhydre) avec de l'ammoniaque.

L'ammoniac anhydre liquide doit être conservée et manipulée dans des récipients à fortes pressions à l'usine, chez les négociants ou à la ferme ou pour être expédiée par camion et wagon citerne.

On dilue l'ammoniac anhydre avec trois parties d'eau pour faire de l'ammoniaque en solution aqueuse NH_4OH . La qualité engrais est garantie à 20 % d'azote, équivalent à 24,3 % d'ammoniac. La faible tension de vapeur de cet engrais azoté liquide permet de le transporter et de le conserver dans des récipients à basse pression.

Les solutions à plus forte concentration qui sont appelées solutions ou liqueurs ammoniacales ont une teneur en ammoniaque qui varie de 25 à 50 %. Elles sont utilisées principalement par l'industrie. Certaines d'entre elles doivent être manipulées dans des bouteilles de gaz comprimé.

La plupart des métaux communs résistent à l'ammoniac sec, mais l'ammoniaque en solution corrode le cuivre, l'étain, le zinc et un grand nombre d'alliages en particulier ceux qui contiennent du cuivre. L'acier n'est pas attaqué par l'ammoniaque, il est recommandé de l'employer pour tout l'équipement de conservation et de transport de l'ammoniaque.

Engrais azotés organiques de synthèse.

L'élément principal contenu dans toutes les formules de composés organiques est le carbone (sauf sous forme de carbonate). Lorsqu'il est appliqué à des matériaux organiques naturels, le terme « organique » ne vise que des substances insolubles dans l'eau. Les engrais azotés organiques de synthèse diffèrent des autres en ce sens qu'ils sont solubles dans l'eau.

La cyannamide calcique, l'urée et l'urée-forme sont produites par synthèse pour être utilisées comme engrais. Elles sont classées comme produits chimiques organiques de synthèse. La définition officielle de l'azote entrant dans ces produits est « azote organique de synthèse non protéique ».

La cyanamide calcique CaCN_2 est obtenue en chauffant de la chaux et du coke à une température élevée dans une atmosphère d'azote.

L'urée $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ est produite par synthèse en faisant réagir de l'ammoniac NH_3 et du gaz carbonique CO_2 sous une forte pression. L'urée est un constituant important naturel de l'urine, du guano et du fumier.

L'urée-forme est un nouveau type d'engrais azoté qui a été lancé dans le commerce en 1955. Ce produit est obtenu en faisant réagir de l'urée et de la formaldéhyde; il contient au moins 35 % d'azote en grande partie insoluble, mais sous une forme lentement assimilable.

Le biuret est un composé formé par la décomposition partielle d'une faible quantité d'urée au cours de la production. Bien que le biuret soit chimiquement apparenté à l'urée, il se comporte d'une façon tout à fait différente dans la plante. Au lieu d'être utilisé par la plante, le biuret s'accumule dans la pointe et le bord des feuilles provoquant le jaunissement ou la chlorose. Les plantes ne sont pas toutes sensibles au même degré au biuret, les graminées étant l'une des plus tolérantes et les agrumes l'une des moins tolérantes.

Grâce à l'amélioration des techniques de fabrication, la teneur en biuret de la plupart des qualités d'azote a été réduite de sorte qu'à l'heure actuelle, la toxicité du biuret n'est pas une source de difficulté lorsque l'urée est appliquée directement au sol. Cependant, lorsque l'urée est utilisée comme engrais foliaire, il faut tenir compte de la teneur en biuret. Pour l'application sur les agrumes, la teneur en biuret ne doit pas dépasser 0,25 % du poids d'urée, tandis que les ananas et les pommiers peuvent tolérer une teneur en biuret allant jusqu'à 1 %.

Lorsqu'on envisage de faire des applications foliaires d'urée sur des plantes, dont on ne connaît pas la tolérance au biuret, il faut procéder à des essais à faible échelle pour déterminer la tolérance avant de traiter toute la culture. Il faut laisser s'écouler une période de quatre semaines environ pour permettre aux symptômes d'attaque par le biuret de se manifester.

PHOSPHORE

Dans l'industrie et dans les lois sur le contrôle des engrais, pour le phosphore (symbole P) on réfère au composé P_2O_5 , qui est de l'anhydride phosphorique appelé également acide phosphorique.

Ainsi qu'il a été indiqué précédemment dans le présent chapitre, pour éliminer toute confusion causée par l'emploi du terme « acide phosphorique » qui signifie à la fois P_2O_5 et H_3PO_4 , on a tendance à utiliser le terme anhydride phosphorique pour désigner la teneur en P_2O_5 d'un engrais. Ceci le distingue de l'acide phosphorique H_3PO_4 .

Les sources commerciales de phosphore sont principalement les minéraux phosphatés, communément appelés phosphates naturels. Le phosphore se présente sous forme de phosphorites et apatites. Dans ces minéraux, il se présente principalement sous forme de phosphate tricalcique. On trouve des gisements dans un grand nombre d'Etats, surtout dans l'Idaho, le Wyoming, l'Utah, la Floride et le Tennessee.

L'Association of American Fertilizer Control Officials donne la définition suivante du phosphore naturel : « Le phosphate naturel contient un ou plusieurs minéraux phosphatés calciques d'une pureté et en quantité suffisante pour qu'il puisse être utilisé soit directement, soit après concentration pour la fabrication de produits commerciaux. » Les qualités commerciales de phosphate naturel contiennent de 58 à 78 % d'équivalent de phosphate tricalcique dont la formule est $Ca_3(PO_4)_2$.

Les os, le minerai de fer et quelques-unes des matières organiques énumérées dans la section relative à l'azote fournissent des quantités limitées de phosphore. Les os sont une source importante de phosphore utilisé comme engrais dans certains pays, mais d'une importance mineure aux Etats-Unis. Les scories de déphosphoration qui sont un sous-produit de la fabrication de l'acier, obtenu par traitement de minerai de fer à forte teneur en phosphore, sont une source de phosphore sur certains marchés mondiaux, mais pas aux Etats-Unis. Le phosphate naturel qui est extrait dans l'Ouest est classé en deux catégories : le phosphate naturel à forte teneur contenant de 31 à 35 % de P_2O_5 et les schistes phosphatiques d'une teneur de 15 à 30 %. La majeure partie de la production se fait par extraction à ciel ouvert.

Les phosphates naturels doivent être traités avec de l'acide sulfurique, phosphorique ou nitrique, pour transformer le phosphate tricalcique en phosphate mono ou dicalcique facilement assimilable par les plantes.

L'expression « assimilabilité » est utilisée pour indiquer la quantité de phosphore contenue dans les phosphates naturels ou les phosphates commerciaux qui est en état d'être utilisée par les plantes. Cette quantité est déterminée par une analyse qui est fondée sur une combinaison de la solubilité dans l'eau et dans une solution neutre de citrate d'ammonium.

La solubilité dans l'eau des phosphates naturels est inférieure à 1 %, et 5 à 10 % de son anhydride phosphorique est soluble dans une solution neutre de citrate d'ammonium. Le phosphate naturel finement broyé, passant généralement par un tamis du

calibre 100, est utilisé dans certaines localités en applications directes sur le sol. L'efficacité de ce produit dépend de son degré de finesse. Généralement les cultures ne réagissent que lorsque l'application est faite dans des sols qui ont une réaction fortement acide. Il n'est pas considéré comme une source de phosphore dans les sols alcalins ou à pH élevé de l'Ouest. Naguère, on a essayé à maintes reprises de populariser l'emploi du phosphate naturel dans les zones irriguées de l'Ouest, mais sans succès, principalement parce que les réactions aux applications ne justifient pas la dépense.

Sources d'engrais phosphatés commerciaux.

Les superphosphates normaux ou simples à 18-20 % de P_2O_5 assimilables sont fabriqués en traitant des phosphates naturels avec de l'acide sulfurique et ils contiennent principalement des phosphates monocalciques et du gypse.

Les superphosphates triples, aussi dénommés superphosphates doubles ou concentrés à 42-46 % de P_2O_5 assimilables sont produits par le traitement des phosphates naturels par de l'acide phosphorique ou avec un mélange d'acide sulfurique et d'acide phosphorique. On emploie deux procédés de fabrication; l'un consiste à traiter le phosphate naturel broyé par de l'acide sulfurique dilué. Le gypse est séparé par filtration et l'acide phosphorique H_3PO_4 est concentré par évaporation. Ce concentré est utilisé pour traiter une quantité supplémentaire de phosphate naturel broyé et il en résulte la formation de superphosphate double ou triple. On peut le considérer comme du superphosphate ordinaire dont la majeure partie du gypse a été éliminée. Dans l'autre procédé, la concentration partielle de l'acide phosphorique et son emploi pour acidifier le phosphate naturel se font au cours d'opérations continues dans un séchoir à chauffage direct. On obtient principalement du phosphate monocalcique avec un peu de dicalcique, de tricalcique, mais avec une relativement faible teneur en gypse.

Le superphosphate concentré comprend surtout du phosphate monocalcique anhydre contenant 54 % environ de P_2O_5 assimilable et 1 % d'humidité. Ce produit de grande pureté est obtenu en traitant du phosphate naturel par de l'acide superphosphorique.

L'acide superphosphorique est obtenu par l'absorption de P_2O_5 au cours du procédé au four dans une forte solution d'acide phosphorique à une température élevée. Elle contient 76 % environ de P_2O_5 .

L'acide phosphorique H_3PO_5 (52-54,5 % de P_2O_5 assimilable) qui est également classé comme solution d'engrais phosphaté est un acide inorganique liquide et il est la seule source commerciale de P_2O_5 sous forme liquide. Il en existe deux types, l'un appelé acide vert qui est fabriqué en faisant réagir de l'acide sulfurique

avec du phosphate naturel de qualité supérieure. Ce produit contient généralement un peu d'acide sulfurique libre et quelques traces d'autres éléments. Au cours de ces dernières années, on a produit de l'acide blanc soit dans un four électrique soit dans un haut-fourneau et on l'appelle aussi acide phosphorique électrothermique. On commence par produire du phosphore élémentaire qui est calciné à l'air et l'anhydride phosphorique formé est absorbé dans de l'eau pour former de l'acide phosphorique H_3PO_4 . L'acide ainsi produit est relativement pur.

On produit aussi un acide phosphorique d'une très grande pureté. Cet acide qui est qualifié de « qualité alimentaire » sert à préparer certains types de denrées alimentaires et de boissons.

Métaphosphates.

Les autres engrais phosphatés tels que le métaphosphate de calcium, le métaphosphate de potassium et le métaphosphate d'ammonium sont fabriqués par des procédés qui comportent la calcination de phosphore élémentaire et une réaction des produits de combustion avec du phosphate naturel, des composés potassiques ou de l'ammoniacque. Dans ces métaphosphates, la concentration de P_2O_5 est beaucoup plus élevée que dans les orthophosphates.

Le métaphosphate de calcium, $Ca(PO_3)_2$ est produit en faisant brûler des vapeurs de phosphore provenant d'un four électrique au contact de phosphates naturels. Cette qualité d'engrais contient de 62 à 65 % de P_2O_5 soluble dans l'acide citrique et 25 % de CaO. Il n'est que légèrement soluble dans l'eau.

Le métaphosphate de calcium commence juste à paraître dans le commerce. Il n'existe aucun renseignement qui permette de connaître dans quelle mesure ce produit s'adapte aux sols alcalins, neutres ou acides.

POTASSIUM ⁴

On représente l'élément potassium par le symbole « K » qui est la première lettre du mot latin *Kalium* qui signifie potassium. Lorsque l'industrie des engrais se sert de ce symbole pour désigner l'élément fertilisant, le code actuel des engrais exige qu'il soit calculé et indiqué en oxyde K_2O . L'oxyde de potassium est appelé potasse.

Le potassium contenu dans les engrais commerciaux est fourni principalement sous forme de chlorure de potassium (muriate de potasse), de sulfate de potassium (nitrate de potasse), de nitrate de potassium (nitrate de potasse), nitrate double de soude et de potasse (nitrate de sodium et de potassium) et de sulfate

double de potassium-magnésium (sulfate double de potasse et de magnésie). (Voir tableau sur la composition moyenne des engrais, chap. X.)

Le nitrate double de potasse et de soude (nitrate de potasse du Chili) est un sel double qui provient des gisements de nitrate au Chili.

Les autres formes commerciales sont l'hydroxyde de potassium, et le carbonate de potassium. En raison de leur coût unitaire élevé et de leur forte réaction alcaline, ces produits sont surtout utilisés dans l'industrie. Lorsque l'adjonction de chlorure ne sert à rien, ces composés sont utilisés pour la fabrication des engrais liquides destinés aux cultures qui ont une faible tolérance au chlore.

L'hydroxyde de potassium ou potasse caustique KOH se trouve dans le commerce sous forme d'un solide qui contient 83,95 % environ de K_2O . Ce produit qui existe aussi en solution aqueuse à 48-50 % aurait une teneur de 40,30 à 42 % en K_2O .

Le carbonate de potassium K_2CO_3 a une teneur en potasse de 68,16 % de K_2O . C'est un produit hygroscopique et avec une teneur en eau de 16,35 %, soit $K_2CO_3 \cdot 1,5 H_2O$ il est équivalent à 57,01 % de K_2O . Le carbonate de potassium est généralement fabriqué par carbonatation de la soude caustique. Cf. section relative au phosphore pour l'étude sur les métaphosphates de potassium.

Dans les premiers temps, la potasse servant d'engrais, provenait principalement des cendres de bois. La majeure partie des sels de potasse vendus dans le commerce aux Etats-Unis sont produits à partir de saumures naturelles provenant de Searles Lake en Californie, des étangs salés de Lake Bonneville dans l'Utah, et des dépôts de sels minéraux situés au voisinage de Carlsbad, New Mexico. Récemment, d'importants gisements ont été découverts et sont exploités dans l'est de l'Utah et du Canada. Les gisements connus aux Etats-Unis représentent 1 % environ de l'approvisionnement mondial en sels de potassium solubles. La production nationale revêt principalement la forme de chlorure de potassium et de sulfate de potassium.

Les plus importants gisements connus se trouvent à Stassfurt, Allemagne, dans la région de la Mer Caspienne en Russie, et dans la Mer Morte à la frontière d'Israël et de Jordanie. Dans le voisinage de Mulhouse, en France et près de Barcelone en Espagne, les gisements naturels sont un petit peu moins importants que les ressources estimées des Etats-Unis.

ENGRAIS PHOSPHO-AZOTÉS ⁵

Les composés phospho-azotés sont de plus en plus populaires dans l'Ouest où l'on a constaté des carences en phosphore dans de nombreuses régions.

On a commencé par produire des superphosphates ammoniés en traitant les superphosphates simples et triples. L'ammonisation des superphosphates ou autres sels phosphatés acides pendant le processus de fabrication de l'engrais est une méthode généralement adoptée dans l'industrie. L'ammoniaque est fournie sous forme d'ammoniac anhydre ou de solutions aqueuses d'ammoniaque ou de sels d'azote, principalement du nitrate d'ammonium ou d'urée.

Des essais effectués en cours de fabrication ont indiqué que les quantités suivantes d'ammoniac pouvaient être absorbées par unité d'anhydride phosphorique P_2O_5 :

- 2,610 kg dans le superphosphate normal,
- 1,310 kg dans le superphosphate triple,
- 3,240 kg dans l'acide phosphorique (H_2PO_4).

Il est difficile d'indiquer une formule exacte pour le superphosphate simple et triple ammonié, car ces matières sont des composés ammoniacaux complexes. L'un des facteurs qui complique la situation est la teneur en gypse $CaSO_4$ des superphosphates simples.

On peut dire que les formules suivantes donnent une image exacte de ces combinaisons. Voir le tableau sur la composition moyenne des engrais pour la teneur en N-P-Ca-S et l'acidité équivalente.

Le degré de finesse des particules du superphosphate et le taux d'ammonisation détermine les proportions de produits ammoniés qui se forment. Il s'agit en grande partie de mono-ammonium-phosphate, de phosphate dicalcique avec un peu de phosphate tricalcique et du sulfate d'ammonium.

Chimie de l'ammonisation.

L'ammoniac, les solutions ammoniacales et les sels d'azote occupent une place tellement importante dans les différents processus de production des nombreux composés phospho-azotés ainsi que des engrais mélangés composés ou complexes, qu'il est important d'expliquer ces réactions.

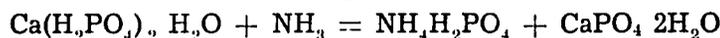
Lors de l'ammonisation du superphosphate simple, les produits obtenus dépendent de la composition du produit initial. Le superphosphate simple est une combinaison de phosphate mono et dicalcique et il contient une certaine quantité de phosphate tricalcique avec un pourcentage variable de sulfate de calcium.

Le mono-ammonophosphate se forme lors du processus d'ammonisation de superphosphate simple et on obtient le rendement maximum lorsque 2,5 % d'ammoniaque ont été absorbés par le superphosphate simple. Si l'on ajoute davantage d'ammoniaque, le mélange est altéré et il commence à se former du sulfate d'ammonium par suite de l'ammonisation de sulfate de calcium.

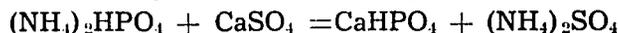
A titre d'exemple, de ces différentes réactions complexes qui peuvent intervenir et en commençant avec de l'acide phosphorique, on peut obtenir les formules suivantes :

$\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, ammoniac plus acide phosphorique égale mono-ammophosphate; en ajoutant davantage d'ammoniac, il se forme du biammophosphate dont la formule est $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

Le superphosphate simple contient une quantité limitée d'acide phosphorique libre. Au cours de la première phase de l'ammonisation, il se produit la même réaction que celle qui a été indiquée ci-dessus. Comme le phosphate monocalcique (monohydrate) est le principal constituant du superphosphate simple, le fait d'ajouter de l'ammoniac libre transforme le phosphate monocalcique en mono-ammophosphate et en phosphate dicalcique (dihydrate). La réaction chimique peut s'écrire comme suit :



Si l'on ajoute davantage d'ammoniac, le mono-ammophosphate est transformé en bi-ammophosphate. Comme il y a toujours du sulfate de calcium (gypse) dans le superphosphate simple, il se produit une réaction supplémentaire lorsqu'on ajoute davantage d'ammoniac et on peut le représenter par la formule suivante :



En même temps que se forme le phosphate dicalcique (CaHPO_4) lorsque ce processus d'ammonisation se poursuit, il se produit une certaine inversion du phosphate et il en résulte la formation de phosphate tricalcique — $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Le phosphate présent dans le superphosphate triple est principalement un phosphate monocalcique. L'ammonisation du triple donnera des produits différents, comme mono-ammophosphate, le di-ammophosphate diammoniacal, le phosphate dicalcique et le sulfate d'ammonium. Les produits formés dépendent du pourcentage d'ammoniac employé, de la température et de la pureté du super triple.

En fait, ces deux matières ammonisées sont constituées par un mélange de plusieurs composés et non d'un produit spécifique. Les équations indiquent seulement les principales réactions pour divers taux d'ammonisation.

Cet ancien procédé a été suivi jusqu'en 1920 pour la production d'engrais à base de phosphate d'ammonium. Ces engrais sont produits par une combinaison d'ammoniac avec de l'acide phosphorique liquide.

Les premiers produits étaient les mono-ammophosphates.

Le mono-ammophosphate 11-48-00 est obtenu par neutralisation de l'acide phosphorique brut (généralement obtenu par traitement du phosphate naturel avec de l'acide sulfurique) avec de l'ammoniac; on fait ensuite évaporer la solution. Ce produit contient aussi un faible pourcentage de sulfate d'ammonium.

Le phosphate-sulfate d'ammonium 16-20-16 est un sel double de phosphate d'ammonium et de sulfate d'ammonium qui contient 45 % environ de sulfate d'ammonium. La qualité 13-39-0 contient aussi des pourcentages variables de sulfate d'ammonium, suivant le procédé utilisé. Les procédés de fabrication diffèrent suivant les producteurs. Un procédé largement utilisé est celui qui consiste à faire réagir de l'acide phosphorique et de l'acide sulfurique avec de l'ammoniac. On modifie la composition en faisant varier la teneur en sulfate de calcium (du gypse).

L'acide phosphorique liquide obtenu par voie humide peut contenir 3 % environ d'acide sulfurique. Au cours du processus d'acidification, l'acide libre se combine avec l'ammoniac pour former du sulfate d'ammonium dans les composés obtenus.

Le di-ammophosphate est préparé au moyen de l'ammoniac provenant des fours à coke ou de l'ammoniac synthétique anhydre que l'on fait réagir avec de l'acide phosphorique liquide. Les qualités courantes sont 21-53-0, 16-48-0 et 18-46-0. La qualité 21-53-0 est un produit cristallin pur qui ne contient pas une quantité importante de calcium, magnésium, soufre ou chlore, car on utilise pour sa fabrication de l'acide blanc de qualité supérieure. 18-46-0 et 16-48-0 contiennent un peu de sulfate de calcium, car ils sont fabriqués avec de l'acide vert obtenu par voie humide.

Les phosphates nitriques, aussi appelés nitro-phosphates, sont obtenus par traitement de phosphate naturel avec de l'acide nitrique ou un mélange d'acide nitrique et sulfurique ou d'acide phosphorique. Les qualités commerciales de phosphate nitrique ont une valeur variable en N et P suivant le processus utilisé. Outre le procédé à l'acide nitrique, les deux autres méthodes de fabrication des phosphates nitriques, à savoir la méthode sulfo-nitrique et phospho-nitrique comporte une réaction légèrement différente pour le produit final. Ces trois procédés aboutissent à la formation de nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ qui doit être éliminé par filtration. Dans le procédé à l'acide sulfurique il y a aussi formation de gypse.

L'ammonisation est nécessaire pour neutraliser l'acide libre présent. Dans le produit final, la majeure partie de l'azote s'y trouve sous forme de nitrate d'ammonium. Le P_2O_5 se présente sous forme d'un mélange de phosphate dicalcique soluble dans le citrate et de phosphate d'ammonium. A l'instar des superphosphates ammonisés qui ont une formule complexe, on peut indiquer la formule représentative suivante $\text{NH}_4\text{NO}_3 (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \text{CaHPO}_4$; les qualités commerciales produites sont 20-10-0, 16-16-0, 20-20-0, 12-12-0.

Le nitro-phosphate d'ammonium qui contient du phosphate d'ammonium et du nitrate d'ammonium s'obtient en faisant réagir de l'acide phosphorique et des solutions ammonisantes de nitrate d'ammonium et d'ammoniaque. Les dosages types sont 24-20-0, 27-14-0, 23-23-0 et 25-25-0.

La teneur combinée en calcium et/ou soufre de quelques-uns de ces composés d'azote et de phosphore peut présenter certains avantages supplémentaires dans l'Ouest sur certains sols salins et alcalins.

AZOTE-PHOSPHORE-POTASSIUM — PLUS ^o

Les compositions moyennes des engrais qui fournissent à la plante les éléments fertilisants essentiels N-P-K, les éléments secondaires et les oligo-éléments sont énumérés aux pages du présent chapitre. Les matières indiquées sur ce tableau qui contiennent de l'azote, du phosphore et du potassium sont appelées matières fertilisantes par le commerce des engrais, quand il s'agit de composés chimiques relativement simples. On a pris l'habitude d'employer l'expression engrais complet pour décrire les types d'engrais contenant N-P-K. Lorsqu'on a besoin d'autres éléments, le « plus » des engrais revêt davantage d'importance lorsqu'il s'agit d'engrais « complets ». Par exemple, en Floride, une formule normalisée comporte du magnésium, manganèse et du cuivre en plus de N-P-K.

Dans l'Ouest, où l'on a constaté des carences en soufre, zinc, bore et autres éléments fertilisants, des formules spéciales ont été mises au point pour fournir ces éléments supplémentaires. En fait, le terme « complet » s'applique aux mélanges, composés ou boues chimiques qui fournissent de l'azote, du phosphore et du potassium, ainsi que certains éléments secondaires et oligo-éléments dont la présence peut avoir été jugée nécessaire pour remédier à une carence du sol ou pour répondre à certains besoins des cultures.

Etablissement de la formule des engrais.

Les engrais mélangés secs sont fabriqués dans l'Ouest depuis plus d'un demi-siècle et ils occupent toujours une place importante dans l'agriculture de notre région. Pour le préparer on mélange mécaniquement des engrais pour obtenir le rapport voulu de N-P-K. Certaines formules comprennent aussi des éléments secondaires et oligo-éléments.

L'azote nitrique peut provenir du nitrate d'ammonium, du nitrate de calcium, des phosphates nitriques ou du nitrate de soude. Les sources d'azote ammoniacal sont le nitrate d'ammonium, le sulfate d'ammonium, l'ammoniac anhydre, les liqueurs ammoniacales, les superphosphates ammoniés, les phosphates d'ammonium, les phosphates nitriques, les sulfo-phosphates d'ammonium. L'azote organique peut provenir de résidus de graisses, de guanos d'oiseau, de déchets de poisson, de sang séché, de

tourteaux, de gadoues traitées, de la cyanamide et de l'urée; le phosphore provient des phosphates simples, triples, ammoniés ou de phosphates d'ammonium, des phosphates nitriques ou de l'acide phosphorique; la potasse provient du chlorure de potassium, du sulfate de potassium, du nitrate double de soude et de potasse, du nitrate de potassium, et du sulfate double de potasse et de magnésie.

Ammonisation.

Outre les produits de l'ammonisation décrits dans la section relative à l'azote et au phosphore, une innovation importante dans la fabrication des engrais, secs mélangés, composés ou des boues chimiques, est l'emploi d'ammoniaque et de solutions ammonisantes pour la production d'engrais granulés. L'ammonisation et la granulation ont transformé la majeure partie des opérations de mélanges à sec en processus chimiques. Les engrais en granules sont l'une des principales améliorations de la technique de la fabrication des engrais.

Le procédé habituel qui consiste à mélanger en une seule fournée et à sec des matières premières solides pesées selon la formule, et qui fournissent de l'azote, du phosphore et du potassium, ainsi que les autres éléments fertilisants nécessaires, dans un tambour rotatif mélangeur comporte maintenant une phase de plus. Un volume déterminé de solution ammonisante permet d'obtenir par mélange une teneur plus forte en azote.

Ce procédé consiste à mouiller le mélange jusqu'à une teneur d'environ 16 à 20 %, avec une solution ammonisante, de l'eau, de la vapeur, de l'acide sulfurique ou de l'acide phosphorique. Le mélange humide est ensuite placé dans le tambour rotatif jusqu'à ce qu'une granulation intervienne avec le séchage en continu du produit. Le produit sec est calibré, les granules de trop grande dimension étant écrasés et les trop fines étant repassés dans le tambour. Ces produits ont une dimension uniforme de particules et une uniformité chimique raisonnable. Ils sont aussi plus faciles à épandre avec un distributeur en ligne.

Engrais sec mélangé par voie chimique.

Dans ce procédé, on fait réagir chimiquement les matières premières de façon à former des produits ayant une composition uniforme en éléments fertilisants et en quantité. Au cours de ces opérations, les produits finaux sont également réduits en granulés.

Les procédés généraux de fabrication des engrais en granules peuvent se répartir comme suit :

1. *Granulation par ammonisation* de superphosphates simp¹ ou triples ou d'acide phosphorique, en utilisant soit de l'ammoniac anhydre, soit une solution aqueuse d'ammoniaque, soit des solutions de nitrate d'ammonium ou d'urée avec addition de potasse au cours du processus de granulation. Le mélange est ensuite séché pour obtenir un engrais de formule N-P-K.
2. *Le procédé des boues* consiste à faire réagir du phosphate naturel avec l'acide sulfurique ou nitrique de façon à former de l'acide phosphorique qui est ensuite ammonisé. On ajoute de la potasse à la boue qui est ensuite séchée.

Produits permettant de régler le dégagement des éléments fertilisants.

Les horticulteurs, les jardiniers amateurs, les architectes paysagistes et les gérants d'entreprise de production de gazon, de serres, de pépinières, et les producteurs commerciaux de fleurs et plus récemment les sylviculteurs ont, depuis longtemps, ressenti le besoin de produits fertilisants qui pourraient fournir à long terme une alimentation aux plantes sans risquer de les endommager. Dans le passé, les matières organiques naturelles qui sont énumérées au chapitre V ont joui d'une certaine faveur en raison du fait qu'elles ne provoquaient pas des brûlures comme les engrais.

L'urée-forme, c'est-à-dire un mélange d'urée et de formaldéhyde, est une forme organique non protéinée d'azote. Ce produit est à peu près insoluble. Son azote se présente sous une forme lentement assimilable. Comme le rapport entre la formaldéhyde et l'urée augmente lors de la production de l'urée-forme, la solubilité dans l'eau diminue ce qui réduit la quantité d'azote assimilable.

Il existe des granulés ou comprimés d'engrais qui produisent de l'azote qui est libéré lentement et pendant longtemps par ces matières. Si on y ajoute les autres éléments fertilisants nécessaires, ces produits fournissent les éléments essentiels, secondaires et les oligo-éléments nécessaires.

Récemment on a incorporé des éléments fertilisants à des résines synthétiques. Par l'échange des ions, les éléments fertilisants sont libérés lentement du fait des modifications qui se produisent dans la solution de sol.

Un autre procédé consiste à enduire les granules d'une membrane résineuse qui règle le taux auquel les éléments fertilisants passent dans la solution de sol.

Tout un groupe de produits fertilisants à base de phosphates d'ammonium et de métaux vient d'être lancé dans le commerce. Plusieurs types sont actuellement produits : le phosphate double

de magnésium et d'ammonium, le phosphate ferreux d'ammonium, le phosphate de zinc et d'ammonium. Ces composés fournissent séparément le magnésium, le fer ou le zinc en plus de l'azote et du phosphore. Leur solubilité est très faible. Ces éléments sont rendus assimilables par dissolution et nitrification. La dimension des particules, leur enfouissement dans le sol, l'humidité du sol et sa température règlent le taux de libération des éléments fertilisants.

Ces nouveaux produits qui libèrent progressivement les éléments fertilisants assurent une fertilité prolongée et diminuent le risque de choc ou de brûlure. Ces produits sont particulièrement utiles pour les arbres fruitiers, les plantes ornementales, les plantes en pot, les semis et le gazon. Leur coût actuel restreint l'emploi de ces produits à des opérations horticoles spécialisées qui justifient cette dépense supplémentaire. Avec l'augmentation de la demande, et du volume de la production, les prix devraient baisser.

ENGRAIS LIQUIDES ⁵

L'ammoniac anhydre liquide, l'ammoniaque en solution aqueuse, les solutions ammoniacales, les solutions azotées et les engrais mélangés liquides sont les principales formes d'engrais liquides. Voir chapitre X, section Azote, l'étude sur les propriétés des formes d'ammoniaque.

Solutions d'azote.

Les solutions d'azote sont classées en types à tension de vapeur et en produits sans tension. Le groupe des produits à tension comprend principalement des solutions aqueuses d'ammoniaque et de nitrate d'ammonium, d'urée-ammoniaque, de nitro-urée et de sulfo-urée d'ammoniaque-ammonium. Les solutions à tension de vapeur sont utilisées principalement pour ammoniser les superphosphates et les mélanges contenant des superphosphates. Sous forme diluée à faible tension, quelques-unes de ces solutions aqueuses sont utilisées en applications directes sur le sol.

Le pourcentage d'azote contenu dans la forme ammoniacale, nitrique et organique varie selon les fabricants et les usages particuliers auxquels sont destinées les solutions. La teneur totale en azote varie de 21 % seulement jusqu'à 58,5 % de N.

Les types sans tension sont des solutions aqueuses de composés azotés utilisés presque exclusivement sous forme de produits à appliquer directement, dont voici la liste :

Nitrate d'ammonium	20	% de N	
Nitrate double de calcium et d'ammonium	17	% de N	
Bisulfite d'ammonium	8,5	% de N	17 % S
Polysulfure d'ammonium	20,6	% de N	40-45 % S
Thiosulfate d'ammonium	11	% de N	26 % S
Urée	23	% de N	
Urée-nitrate d'ammonium	32	% de N	
Nitrate double de sodium et d'am- monium	20	% de N	

Les solutions ammoniacales de bisulfite, polysulfure et thio-sulfate sont mélangées avec de l'ammoniaque en solution aqueuse, en proportion variable pour fournir du soufre en quantité voulue afin de répondre aux besoins particuliers du sol.

Outre ce groupe de produit ordinaire, l'ammoniac anhydre liquide et l'ammoniaque en solution sont utilisés tous deux dans des processus d'ammonisation et pour des applications directes dans les champs.

Cinq des solutions énumérées ci-dessus fournissent aussi du calcium, du sodium ou du soufre, lorsque les conditions de culture ou le sol l'exigent.

Solutions de phosphore et de potassium.

Le potassium servant à la préparation d'engrais mélangés liquides est surtout employé sous forme de chlorure de potassium. Le sulfate de potassium n'est pas suffisamment soluble pour être utilisé dans les engrais liquides. C'est le coût unitaire qui régit l'emploi du nitrate, du carbonate et de l'hydroxyde de potassium. De ce fait, leur emploi est liquidé, sauf pour la préparation d'engrais de formules spéciales, qu'il faut employer lorsqu'une teneur en chlorures du sol et de l'eau nécessite l'emploi d'éléments fertilisants ayant une faible teneur en chlore. Comme nous l'avons indiqué dans la section relative au potassium, certaines cultures telles que le tabac, ont des besoins limités en chlore.

Emmagasinage.

Les conditions à remplir pour l'emmagasinage varient suivant les types de produits à tension de vapeur. Il ne faut utiliser ni cuivre, ni alliage à base de cuivre. Les solutions ordinaires ne nécessitent pas des précautions spéciales. Les catégories à faibles tension de vapeur sont semblables à l'ammoniaque en solution aqueuse. La combinaison des sels azotés avec l'ammoniaque libre attaque l'acier doux. Les solutions ordinaires sont moins corro-

sives mais elles le sont suffisamment pour que certains producteurs aient adopté des réservoirs et un équipement en aluminium. On a constaté qu'en traitant les réservoirs et les citernes utilisés dans les champs avec des solutions chaudes à 8-24-0 on obtient un enduit insoluble de phosphate double de fer d'ammonium. Ceci empêche la rouille et réduit le taux de corrosion. D'autres résines vendues dans le commerce assurent également une protection qui permet d'employer des réservoirs en acier doux.

Les réservoirs ordinaires en acier servent communément à la conservation des mélanges liquides ayant un pH compris entre 6 et 7. Si les produits ont un pH plus faible, il est nécessaire de disposer d'un équipement résistant mieux à la corrosion.

Engrais mélangés liquides.

Deux méthodes principales sont utilisées pour fabriquer des engrais liquides, les procédés par mélange en cuve et le procédé par neutralisation.

Le procédé par mélange en cuve est un système simple qui consiste à dissoudre dans de l'eau la proportion voulue d'éléments fertilisants comme les phosphates d'ammonium, l'urée, le nitrate d'ammonium, le chlorure de potassium, afin d'obtenir la teneur voulue en N-P-K. En raison du coût de la préparation, ce type de production est généralement limité à la fabrication de qualités spéciales.

Le procédé par neutralisation est beaucoup plus largement utilisé. Il consiste à neutraliser de l'acide phosphorique avec de l'ammoniaque. On fait réagir une solution d'acide phosphorique avec de l'ammoniac anhydre ou en solution aqueuse, du nitrate d'ammoniaque et de l'ammoniaque, de l'ammoniaque-urée, des solutions de nitrate d'ammo-urée. Suivant la teneur de N-P-K que l'on veut obtenir, on peut ajouter aussi des sources solides d'azote, de phosphore et de potassium.

Engrais en suspension.

Pour obtenir des mélanges liquides à teneur plus élevée et aussi pour permettre l'utilisation d'acide phosphorique vert à plus bas prix, la T.V.A. et d'autres gros fabricants d'engrais liquides ont mis au point des produits en « suspension ». Des progrès considérables ont été signalés et au moment où cette brochure a été imprimée, au moins deux entreprises commerciales avaient lancé sur le marché ces mélanges d'engrais en suspension à forte teneur. Ce processus comporte la préparation d'un mélange émulsionnant de certaines argiles et autres matériaux qui est ajouté aux ingrédients fertilisants pendant le mélange. Cet agent émulsionnant

supplémentaire retient les impuretés et les petits cristaux en émulsion et empêche leur dépôt et permet des concentrations en éléments fertilisants atteignant jusqu'à 40 %.

Engrais organiques liquides.

Certains mélanges liquides décrits précédemment dans cette section ne sont fabriqués qu'à partir de sels inorganiques. On peut aussi les préparer en n'employant que des matières organiques. Dans certains mélanges on emploie les deux types de produits.

L'urée, l'urée-forme et la cyanamide calcique sont des éléments fertilisants synthétiques qui fournissent de l'azote organique non protéiné. Ils sont utilisés pour préparer quelques-unes de ces préparations liquides.

L'azote protéiné organique provenant de sources naturelles est largement employé pour la composition d'engrais liquide organique. Un concentré provenant des résidus liquides des conserveries de poisson sert de source d'azote organique. Les déchets d'abattoirs comme la liqueur de sang, servent également à préparer certains engrais liquides.

Éléments secondaires et oligo-éléments.

Depuis longtemps on a reconnu une déficience de soufre dans un certain nombre de sols de l'Ouest. C'est la carence en zinc qui est la plus répandue. La carence en bore a été constatée dans un grand nombre de localités. Dans certaines régions limitées, on a relevé d'autres carences en éléments secondaires et en oligo-éléments. Par exemple, il y a une carence en molybdène dans le nord-ouest de l'Etat de Washington. Des carences en calcium, magnésium, cuivre, fer et manganèse ont également été constatées dans certaines régions restreintes de l'Ouest.

Suivant l'exemple de l'industrie des engrais solides secs, les fabricants d'engrais liquides ont jugé nécessaire d'ajouter ces divers éléments pour corriger certaines carences du sol en éléments fertilisants.

Les règlements de la Californie relatifs aux engrais liquides exigent que l'étiquette indique le nombre de livres par gallon de liquide. Ces renseignements, complétés par le poids net ou le nombre de gallons, permettent de calculer la quantité effective d'éléments fertilisants par gallon.

Outre ces renseignements qui s'appliquent surtout aux liquides, la Loi de l'Etat de Californie exige que l'étiquette indique l'analyse garantie en pourcent d'éléments fertilisants ainsi que les noms du produit source de l'azote organique, de l'acide phosphorique et de la potasse assimilables.

DONNÉES SUR LES SOLUTIONS AZOTÉES

Solutions azotées	Teneur en eau pourcentage	Nombre de livres d'azote par gallon	Poids par gallon en livre à 68 °F	Acidité ou basicité calculées en équivalents de lbs de carbonate de calcium	
				Acide	Basique
Ammoniac anhydre .	0	4,18	5,09	148	
Ammoniaque en solution aqueuse	75,7	1,516	7,58	36	
Solution de nitrate d'ammonium à 20 %	42,9	2,11	10,57	36	
Solution de nitrate d'ammonium à 40 %	12,0	3,9	9,5	74	
Solution de nitrate de calcium et d'ammonium	33,0	2,15	12,64	9	
Nitrate de sodium ..	32	2,35	11,76**	23,8	
Nitrate d'ammonium.	50,0	2,19	9,53	41	
Urée	20,3	3,35	11,04	57,6	
Urée-nitrate d'ammonium	47,0	0,914	10,76	69	
Bisulfite d'ammonium	28,5	1,94	9,7	177	
Thiosulfate d'ammonium	40	1,21	11,0	101	

* Equivalent par 100 lbs de chaque produit.

** A 60 °F.

Les variations dans les processus de fabrication peuvent modifier les chiffres précités mais dans la pratique on peut les utiliser.

MINÉRAUX A USAGE AGRICOLE ⁷

L'Association of American Fertilizer Control Officials entend par élément fertilisant secondaire et oligo-élément, les éléments autres que les éléments fertilisants essentiels à une bonne croissance des plantes, et dont certains sols peuvent avoir besoin. On ne range dans cette catégorie que le calcium, le magnésium, le soufre, le manganèse, le cuivre, le zinc, le bore, le sodium, le cobalt, le chlore, le fer, et le molybdène. Ce groupe englobe dans une seule et vaste catégorie les éléments secondaires et les oligo-éléments.

En matière d'engrais, le terme secondaire s'applique aux éléments calcium, magnésium, et soufre. Le troisième groupe c'est-à-dire, le bore, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène, le zinc, le chlore, constituent les oligo-éléments. Ces deux désignations dénotent l'importance relative en tant qu'aliment des plantes de ces constituants secondaires des engrais par rapport aux constituants essentiels, l'azote, le phosphore et le potassium.

Le tableau de la composition moyenne des engrais (chap. X)

indique leur teneur en azote, phosphore et potassium ainsi que leur pourcentage combiné de calcium et de soufre. Les tableaux sur les facteurs de conversion (chap. X) indiquent les produits qui contiennent du calcium, du soufre et du magnésium sous une forme combinée avec d'autres éléments. Au chapitre X on trouvera également un tableau des produits commerciaux utilisés comme source d'oligo-éléments. Les composés qui fournissent les éléments sont souvent classés comme produits minéraux à usage agricole.

Comment corriger les carences en éléments fertilisants secondaires.

Outre qu'ils existent sous des formes chimiquement combinées dans les produits fertilisants, les éléments secondaires se trouvent également dans différents amendements du sol qui sont énumérés dans le chapitre IV. Les éléments secondaires sont indispensables à la croissance normale des plantes. S'il se produit une carence en calcium, soufre ou magnésium dans une plante, on peut remédier à ce défaut en appliquant un amendement qui contient l'élément déficitaire. Suivant le degré de carence du sol, l'application d'un engrais qui contient cet élément secondaire peut servir à corriger partiellement ou complètement une insuffisance.

La *carence en soufre* affecte beaucoup plus de régions de l'Ouest qu'on ne le pensait généralement. Le gypse (sulfate de calcium), le soufre, l'acide sulfurique et autres produits contenant du soufre sont utilisés pour remédier à cette situation. Les engrais contenant du soufre combiné comme le sulfate d'ammonium, le superphosphate, les phosphates d'ammonium, certains phosphates nitriques et le sulfate de potassium fournissent également du soufre pour la nourriture des plantes.

Le gypse raffiné vendu par le commerce et dont il a été question dans le chapitre sur les sols, a une pureté de 95 % environ. On trouve des dépôts naturels de gypsite dans de nombreuses parties de l'Ouest. Ces gisements sont exploités à ciel ouvert. Ce produit contient de 50 à 70 % de gypse. Il est important pour l'utilisateur de calculer la teneur exacte en gypse car la valeur du produit extrait varie suivant sa composition. Cf. formule à la page 69 et le schéma à la page 70.

Le soufre à usage agricole est produit industriellement avec une pureté qui varie de 50 % à plus de 99 % de teneur en soufre élémentaire. Sa valeur agricole doit être calculée sur la base de la teneur effective en soufre.

On corrige la *carence en calcium* du sol en utilisant de la chaux agricole, de la farine de coquille et de la dolomite. Suivant l'ampleur de la carence en cet élément, les produits contenant du calcium qui sont énumérés au chapitre X peuvent fournir partiellement ou totalement la quantité nécessaire.

Une carence en magnésium a été constatée dans des vergers d'agrumes en Californie et a été également décelée dans des régions productrices de céleri et autres légumes. La dolomite fournit à la fois le calcium et le magnésium. Le sulfate double de potasse et de magnésie, l'oxyde de magnésium et le sulfate de magnésium (sels d'Epsom) sont des sources commerciales de magnésium élémentaire.

L'application sur le sol de ces produits a corrigé la carence des sols à texture fine. Il a été établi récemment par la Station Expérimentale des Agrumes de l'Université de Californie que la carence en magnésium des agrumes peut être corrigée par une pulvérisation foliaire. Le nitrate de magnésium est appliqué à peu près aux deux tiers de la croissance de printemps.

La circulaire n° 40 de l'Université de Californie décrit comme suit les autres sources commerciales de calcium, fer, aluminium et soufre :

L'acide sulfurique commercial a une pureté de 93 % environ. L'acide sulfurique (H_2SO_4) contient à l'état pur 32,7 % de soufre. L'acide sulfurique est difficile et dangereux à manipuler et son application nécessite un équipement spécial. Il ne peut être appliqué que par des personnes connaissant parfaitement les méthodes à employer. Les agriculteurs passent généralement un contrat pour les applications d'acide sulfurique avec des entrepreneurs spéciaux qui sont équipés à cet effet et qui ont l'expérience de ce produit chimique.

Il ne faut pas laisser passer l'acide sulfurique, dilué dans de l'eau d'irrigation, dans des tuyaux en béton ou des conduites en acier ou encore dans des écluses, en raison des risques de corrosion. « Il est curieux de constater que l'acide sulfurique concentré attaque moins fortement le métal que l'acide dilué et peut même être transporté dans des fûts en acier et dans des camions citernes. »

La bouillie sulfo-calcique est un liquide d'une couleur rougemarron clair qui contient du polysulfure de calcium et du thio-sulfate. C'est cette solution qui est livrée pour les pulvérisations sur les arbres fruitiers en vue de détruire les insectes et les champignons parasites. La bouillie sulfo-calcique a généralement 32° Baumé et elle contient 24 % environ de soufre combiné et 9 % environ de calcium combiné.

Le sulfate de fer et le sulfate d'ammonium sont solubles dans l'eau, ils peuvent aussi être épandus à la volée, de la même façon que le gypse. A l'état pur, le sulfate de fer $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ contient 11,5 % environ de soufre combiné et de sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ qui contient 14,4 % environ de soufre combiné. L'anhydride sulfureux (SO_2) est un gaz incolore ininflammable ayant une forte odeur suffocante et qui contient 50 % environ de soufre. Ajouté à l'eau, il forme tout d'abord de l'acide sulfureux qui se transforme rapidement en acide sulfurique dans le sol.



Planche XXVIII. — Application avec un injecteur à lance au moyen d'un compresseur à haute pression (University of Calif. Davis).

Facteurs qui influencent les ressources en éléments fertilisants assimilables⁸.

Certains sols sont naturellement déficients en un ou plusieurs éléments fertilisants. Par exemple la fréquence du goître dans certaines régions est liée à une faible teneur en iode des sols, de la végétation ou de l'eau. De nombreuses carences se produisent par épuisement naturel des éléments contenus dans le sol primitif du fait de l'exportation par les cultures ou des pertes par lessivage.

L'absorption des principes fertilisants dépend du rapport racine-sol-eau et du pH (Cf. chap. VII). Les facteurs qui influencent l'absorption sont la fertilité, la profondeur, la texture, l'humidité, la température, le drainage et l'aération. Les éléments ajoutés par les engrais doivent être apportés dans les zones où les racines peuvent être en contact avec eux par pénétration avec l'eau de pluie ou d'irrigation ou bien doivent être introduits mécaniquement dans la zone où ils peuvent être absorbés par le système racinaire de la plante ou de l'arbre.

Les applications en bande avec un semoir, le creusement de tranchées, et les injections au pal injecteur sont des méthodes employées pour les applications massives et qui concentrent les engrais là où ils sont facilement assimilables par les racines nourricières. Généralement ces méthodes ne sont appliquées que sur

des arbres pendant la période de repos de la végétation. Les sels concentrés servant d'engrais peuvent être nocifs pour les arbres s'ils sont mal appliqués. L'expérience locale est le meilleur guide quant à la concentration à employer et beaucoup dépend de la dimension de l'arbre et du type de sol.

Les plantes ou les arbres n'ont pas tous la même aptitude à prélever les éléments dans le sol. Les différentes variétés de la même plante ne se nourrissent pas de la même façon. Un déséquilibre en phosphore peut avoir pour effet secondaire de nuire à l'assimilation de cuivre et du zinc. Un excès de zinc peut empêcher les plantes d'absorber suffisamment le fer. Le potassium a un effet connexe sur l'assimilation du magnésium.

Correction de la carence en oligo-éléments.

Les oligo-éléments peuvent être toxiques pour les plantes en quantités supérieures aux besoins normaux et ils ne doivent être appliqués que dans les cas où une carence a été constatée. Les producteurs doivent tenir compte d'un ensemble d'observations (symptômes de carence), des analyses de sol, des analyses de tissu des plantes; ils doivent aussi connaître les engrais et les amendements (gypse, soufre, chaux ou dolomite) qui ont été fournis à un champ avant de prendre une décision au sujet d'un programme d'application. Les vulgarisateurs des comtés et les fournisseurs d'engrais peuvent donner des renseignements sur les besoins en éléments fertilisants dans la localité, les taux et les méthodes d'application.

Dans l'Ouest, on constate une carence générale en zinc, dans les plantations d'agrumes, d'arbres fruitiers à feuilles caduques et dans les vignobles, ainsi que dans les cultures annuelles. On a généralement recours à des pulvérisations foliaires pour remédier à cette difficulté. Dans certains cas, des applications sur le sol de produits contenant du zinc se sont révélées efficaces. Sur les variétés de vigne dont on coupe les dards, il est habituel d'entendre l'entaille avec une solution de sulfate de zinc. Les pulvérisations foliaires sont très efficaces sur les variétés taillées comme Thompson Seedless. Les cerisiers et les noyers ne réagissent généralement pas aux applications foliaires aussi des injections sont-elles faites dans les arbres autour du tronc ou des grosses branches. Le creusement de tranchées dans lesquelles on introduit du soufre et du sulfate de zinc a donné d'excellents résultats sur les sols sableux à San Joaquin Valley.

On peut remédier à la carence en manganèse par des applications sur le sol ou des pulvérisations foliaires avec du sulfate de manganèse. On peut remédier à la toxicité du manganèse dans

les sols acides en employant de la chaux pour élever le pH du sol.

La carence en cuivre n'est pas fréquente, mais lorsqu'elle se manifeste, on peut y remédier avec des pulvérisations de sulfate de cuivre, sous forme de bouillie bordelaise par exemple.

La carence en bore sévit dans de nombreuses parties de l'Ouest. Un grand nombre d'arbres fruitiers, de légumes et de plantes fourragères, notamment les pommiers, poiriers, pruniers communs, pruniers d'Agen, la vigne, les betteraves, les broccoli, les choux-fleurs, les céleris, les laitues, les navets, la luzerne, etc. sont de qualité marchande médiocre si le programme de fumure ne comprend pas du bore.

Dans certaines parties de Californie, on a décelé depuis longtemps des concentrations toxiques de bore dans le sol. Concomitamment, on constate de graves carences en bore dans différentes cultures, par exemple dans les vignes de la Central San Joaquin Valley, dans les oliviers situés au pied des collines de la North Sacramento Valley. Des carences ont également été constatées dans des vergers de pruniers.

Les plantes ont des besoins de bore très réduits. Les applications sur le sol, ainsi que les pulvérisations se sont avérées efficaces. Lorsqu'il se produit une grave carence en bore, par exemple sur les betteraves potagères, on a constaté qu'une combinaison d'applications sur le sol et de pulvérisations foliaires avec des produits contenant du bore est plus efficace qu'une application sur le sol uniquement. Les applications excessives de produits contenant du borax peuvent être nuisibles.

Dans le nord-ouest, on vend du gypse boraté qui contient 1,5 % de bore. Ce produit peut être utilisé en applications directes sur le sol lorsqu'il y a carence en soufre et en bore. On ajoute des borates ou autres produits contenant du bore aux engrais liquides et secs.

On a constaté des carences en molybdène dans certaines régions. Il faut de très faibles quantités de molybdène pour remédier à cette situation. Le traitement des semences avec des composés à base de molybdène semble être la meilleure façon de l'appliquer sur les cultures annuelles, mais sur les plantes vivaces il faut appliquer des engrais contenant du molybdène.

La croissance des plantes est freinée si la teneur en molybdène est de 0,1 à 0,5 partie par million. Des plants contenant jusqu'à trois parties par million croissent normalement. Une teneur comprise entre trois à cinq parties par million empêchait une utilisation normale du cuivre par les animaux. Les fourrages qui contiennent un excès de molybdène de l'ordre de cinq parties par million ou davantage, provoquent une maladie des bovins connue sous le nom de molybdénose. Cette difficulté surgit en général lorsque les fourrages sont cultivés sur des sols du sud-ouest qui contiennent un excès de molybdène. L'adjonction de

sulfate de cuivre dans les aliments concentrés pour le bétail, l'eau de boisson, ou dans le sel et autres suppléments minéraux, remédie à cette maladie. Les injections de sérum à base de glycinate de cuivre sont un remède pratique.

La carence en fer est un problème commun dans les Etats de l'Ouest, principalement sur les sols calcaires. Cette carence se traduit par un jaunissement ou chlorose des feuilles. On l'appelle parfois la chlorose provoquée par la chaux. Ces symptômes de carence en fer peuvent être causés par une carence effective du sol ou par des complications résultant de l'impossibilité où se trouve une plante de s'assurer ses besoins normaux en fer parce que le sol contient trop de chaux (calcium). La meilleure façon de remédier à la carence en fer des poiriers consiste à introduire du citrate de fer dans des trous forés dans le tronc près de la base de l'arbre. Dans l'Arizona, on a obtenu de bons résultats en injectant du nitrate ferrique dans le tronc de pêcher atteint de chlorose. Les applications faites au début du printemps se sont révélées les plus efficaces. Ces méthodes sont assez laborieuses et l'efficacité du traitement ne dure que quelques années.

Ces dernières années, de nouveaux composés organiques qui en combinaison avec des éléments fertilisants comme le zinc, le fer et le manganèse les rendent plus facilement assimilables par les plantes ont été mis en vente sur le marché. Ces substances sont appelées chélates. Il existe dans le commerce plusieurs chélates de fer, zinc et manganèse. Alors que les chercheurs expérimentent encore ces produits, on signale que leur emploi sous forme de pulvérisations et d'applications sur le sol a donné de bons résultats dans de nombreux cas. Les fabricants et vos services agricoles vous fourniront des recommandations pour l'utilisation de quelques engrais chélatés.

Le chélate de fer, utilisé en pulvérisations foliaires sur les poiriers a très bien réussi à combattre la chlorose due à une carence en fer. Il semble probable que ces agents qui retiennent fermement certains cations (chélates) seront d'une grande utilité pour l'agriculture en retenant les éléments secondaires d'un composé qui sont faiblement toxiques pour le feuillage et qui pourront encore être assimilés par les cellules de la plante.

On ne considère pas que dans les cultures irriguées de l'Ouest il y ait une carence en chlore, dernier produit ajouté à la liste des éléments considérés comme nécessaire pour la croissance normale des plantes. Il n'en faut que de faibles quantités pour la production agricole commerciale. Dans certaines conditions, un excès peut être une source de difficultés. Un grand nombre d'engrais contient de faibles quantités de chlore et le chlorure de potassium qui contient 60 à 62 % de potasse soluble dans l'eau, a une teneur en chlore de 46,9 %.

RÉGULATEURS CHIMIQUES DE CROISSANCE

Au cours de ces deux dernières décennies, les régulateurs chimiques de croissance ont commencé à être utilisés sur certaines cultures. Ils peuvent jouer un rôle vital dans la production végétale future, car les recherches qui se poursuivent aboutissent à de nouvelles découvertes. D'autres recherches sont encore nécessaires pour déterminer la valeur des régulateurs de croissance énumérés dans la présente section. Il convient de s'assurer avec les organismes agricoles officiels que s'usage de ces produits est autorisé sur les cultures vivrières ou fourragères et sur les plantes d'ornementation. (Cf. la loi sur l'utilisation des engrais dans l'Ouest, chapitre XII en ce qui concerne l'agrément nécessaire.)

L'acide gibberellique appelé également gibberelline sert à stimuler la croissance de certaines plantes telles que les vignes Thompson Seedless. Des recherches ultérieures ont indiqué que ce produit retarderait aussi la maturité et provoquerait une perte de pigment vert sur certains fruits tels que les limes et les citrons. Inversement, l'isopropyl N (3-chlorophényl) carbamate, connu sous le nom de chloro IPC, est utilisé sous forme d'aérosol pour empêcher la formation de germes sur les pommes de terre destinées à l'alimentation humaine qui sont conservées en entrepôt.

Les hormones, les auxines, les enzymes, les produits destinés à réduire la chute des fruits avant la récolte, les produits destinés à faciliter l'enracinement des boutures, et tous les autres produits chimiques destinés à régulariser la croissance des plantes sont considérés comme des poisons qui sont fréquemment dénommés pesticides tant par les lois fédérales que par les lois de la Californie. Ces produits ne peuvent être vendus d'un Etat à l'autre ou à l'intérieur de la Californie, s'ils ne sont pas enregistrés et étiquetés comme les produits commerciaux toxiques.

Il est facile de considérer des produits chimiques servant à tuer les insectes ou à défolier les plantes, ou à détruire des rongeurs comme des pesticides, car dans une certaine mesure, ils éliminent un parasite ou suppriment quelque chose de nocif pour les plantes. Il faut faire un effort de réflexion pour comprendre que les régulateurs de croissance sont considérés au point de vue pratique comme des pesticides. Leur inclusion dans la définition des pesticides permet d'utiliser les dispositions de la loi fédérale pour s'assurer de leur qualité effective, de l'étiquetage et de leur utilisation dans de bonnes conditions sur les plantes comestibles. Les engrais, les oligo-éléments, les produits chimiques destinés à amender le sol et autres matériaux communément considérés comme des engrais ne sont pas visés par la définition.

Il est important de savoir que les régulateurs de croissance des plantes sont des pesticides, afin que les fabricants soient conscients de leur obligation de faire enregistrer leurs produits par

les autorités fédérales s'ils les expédient dans d'autres Etats. Aux fins d'uniformité, la loi de la Californie qui antérieurement considérait les régulateurs de croissance comme des engrais a été modifiée en 1965 pour la conformer à la définition fédérale.

Tel qu'il est défini par la loi fédérale, le terme « Régulateur de croissance des plantes » englobe toute substance ou mélange de substances destiné, par une action physiologique, à accélérer ou à retarder le taux de croissance ou de maturation ou à modifier autrement le comportement des plantes ornementales ou des plantes cultivées ou de leurs produits, mais qui ne comprennent pas les substances destinées à servir d'engrais, d'oligo-éléments, d'éléments fertilisants, de substances inoculables et d'amendements. On trouvera ci-après quelques exemples des types de produits et le nom de ces produits destinés à être rangés dans la catégorie des régulateurs de croissance lorsque ces produits font l'objet d'un commerce entre les Etats :

Pour prolonger le repos de la végétation ou retarder la croissance ..	Maléhydrazide, acide naphtho-acétique et chloro IPC.
Pour faire démarrer la végétation ..	Chlorohydrine éthylique sur les pommes de terre, gibberellines sur les pommes de terre.
Pour empêcher la chute des fruits ..	Acide naphthoacétique sur les pommes; acide 2, 4, 5, trichloro-phénoxy-propionique sur les pommes.
Pour faciliter l'enracinement des boutures	Acide indolacétique, acide indolbutyrique, acide naphthoacétique.
Pour favoriser la fructification	Acétamide naphthalène, acide naphtho-acétique, acide bêta naphthoxy-acétique et acide N-métalolyl-phthalamique.
Pour obtenir des sujets polyploïdes.	Colchicine; acide naphthyl-phthalamique.
Pour déclencher la floraison	Acide triiodo-benzoïque, sur les ananas; acide naphthyl-phthalamique sur les tomates.
Pour hâter la maturité	Acide 2,4,5, trichloro-phénoxy-propionique sur les pommes.
Pour allonger ou stimuler la croissance	Acide gibberellique et auxine.
Pour donner une bonne coloration ..	Acide 2,4 dichloro-phénoxy-acétique sur les pommes de terre; éthylène sur les bananes et les agrumes.
Pour déclencher le tallage	Acide gibberellique.
Pour empêcher le tallage ou le draconnement	Maléhydrazide sur le tabac.
Pour éclaircir la floraison	4,6 dinitro-o-crésol sur les pêches; naphthalène acétamide sur les fruits des arbres à feuilles caduques.

On a constaté que certaines amines quaternaires réduisaient la longueur des entre-nœuds des plantes et elles sont utilisées pour limiter la hauteur des chrysanthèmes, poinsettias et autres plantes sans réduire l'importance de la floraison.

ENGRAIS SPÉCIAUX

Déchets organiques.

L'industrie forestière s'est penchée sur le problème de l'utilisation rentable des déchets de bois (sciure, écorce, copeaux, etc.). Naguère, une grande partie des résidus était brûlée. C'était un gaspillage de matières organiques qui pouvaient être utiles aux sols agricoles.

Une méthode pratique a été mise au point pour transformer les déchets de scieries et autres déchets organiques en produits agricoles utiles. Le processus consiste à traiter ces déchets avec des acides minéraux, à y ajouter des engrais puis à chauffer et à conditionner le produit. Le produit fini sert de véhicule aux éléments nutritifs, en même temps qu'il fournit une certaine quantité de matières organiques.

Nouveau produit.

Un produit en granules, le sulfate ferreux et d'ammonium est un produit qui a été récemment introduit dans les Etats de l'Ouest. Outre qu'il fournit de l'azote assimilable à 6 % de N, sa teneur en fer, soluble à l'eau (16 % de Fe) et en soufre (16 % S) sous forme combinée devrait contribuer à corriger les carences du sol et l'alcalinité.

Combinaisons de pesticides, herbicides et engrais pesticides.

Jusqu'à ces derniers temps, le Département de l'agriculture des Etats-Unis était seul responsable de l'enregistrement fédéral des pesticides. Les autres organismes fédéraux donnaient quelques directives au sujet de la toxicité. A l'heure actuelle la Food and Drug Administration du Département de l'Intérieur et le Public Health Service sont chargés d'étudier les pesticides et de s'assurer qu'ils ne sont pas dangereux pour l'homme, les poissons et le gibier avant qu'ils soient enregistrés par l'U.S.D.A.

Les demandes d'enregistrement sont étudiées en vue de déterminer la sécurité de l'emploi envisagé des pesticides; pour se faire, il est tenu compte du dosage à l'emploi, de la toxicité inhérente, de la méthode d'application et autres facteurs ayant une incidence sur la santé humaine.

L'industrie des produits chimiques à usage agricole, les producteurs principaux, les négociants, les vendeurs, les organisations de services chargées des applications et les producteurs se trouvent aux prises avec des règlements de plus en plus stricts et avec de nouvelles lois qui limitent sévèrement l'emploi de certains pesticides. Un nouveau problème auquel se heurte l'agriculture est la législation aux échelons de la localité, de l'Etat et du gouvernement fédéral relative à la lutte contre la pollution de l'eau et de l'air. Ces dispositions concernent les résidus de pulvérisations et de poudrages.

Tous les pesticides sont des produits toxiques. Les fabricants éprouvent des difficultés lors de la préparation et du mélange pour assurer une répartition uniforme du pesticide dans le produit fini. Il est nécessaire d'apposer sur les emballages des étiquettes qui mettent en garde contre les dangers de la manutention et de l'emploi des produits. (Cf. Chapitre XII, page , au sujet des dispositions des Etats et du gouvernement fédéral pour l'enregistrement et l'étiquetage.)

Les mélanges d'engrais-pesticide ou herbicide sont d'une grande utilité pour ceux qui sont chargés d'entretenir les pelouses, pour les agriculteurs et les horticulteurs. Les agriculteurs doivent s'assurer que les cultures pratiquées sur un sol qui a été traité avec ces mélanges sont conformes aux limites de tolérances fixées par les organismes fédéraux.

Les mélanges d'engrais-pesticide qui ont été introduits sur le marché il y a une quinzaine d'années sont de plus en plus employés tous les ans. Un mélange de cette catégorie peut remplir plusieurs fonctions : servir d'engrais ainsi que d'herbicide ou de pesticide ou bien servir uniquement comme engrais. Sous d'autres formes, un produit qui est aussi un engrais peut servir principalement comme fongicide ou défoliant. Par exemple, une application concentrée d'urée, cyanamide calcique, sulfate d'ammonium et kaïnite détruit les mauvaises herbes et les champignons. Le cyanate de potassium, le thiocyanate d'ammonium, la cyanamide monosodique et la cyanamide calcique fournissent également des éléments fertilisants au sol mais sont souvent utilisés surtout comme défoliants.

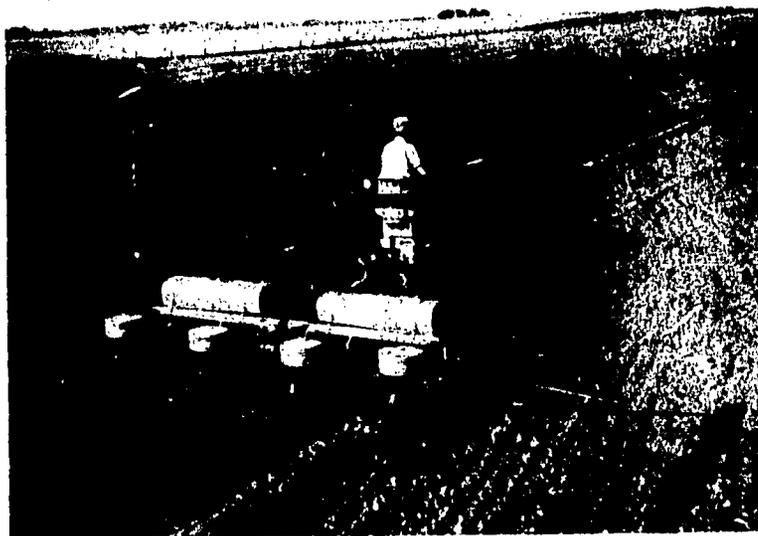


Planche XXIX. — Semis en ligne et application d'un mélange d'engrais et de pesticides qui sont placés au-dessous et sur un côté des semences puis recouverts par une roue de tassement.

La majeure partie de la production commerciale consiste en engrais qui contiennent des pesticides pour la destruction des insectes du sol. Le principal avantage de ces produits à deux fins, semble résider dans le fait qu'il permet d'économiser de la main-d'œuvre.

Les préparations à sec sont faites en mélangeant des pesticides soit à l'état solide, soit en solution, avec des engrais en granulés, cristallins ou ammoniés. Les mélanges d'engrais liquides sont faits en ajoutant des pesticides en émulsion ou sous forme de poudre mouillable.

Un des inconvénients de cette méthode pour les agriculteurs réside dans le poids énorme des éléments nutritifs que doivent contenir les engrais pour obtenir une production rentable des cultures par rapport à la quantité relativement limitée et relativement faible de pesticides nécessaires pour détruire les parasites. L'époque de l'application joue un rôle important. La profondeur d'enfouissement dans le sol nécessaire pour les nématocides diffère de la profondeur d'enfouissement prévue pour les fumures.

L'application abusive ou impropre de certains pesticides peut entraîner l'accumulation dans le sol de résidus qui peuvent provoquer une concentration de pesticides dans une culture, la rendant ainsi impropre au marché. Il faut également tenir compte de l'effet possible de ces résidus sur les cultures qui seront pratiquées ultérieurement sur la même terre. Les produits laissés dans la terre peuvent ne pas convenir à une autre culture. Il faut faire davantage de recherches pour recueillir des renseignements sur l'absorption par les cultures et le bon usage des insecticides.

L'équipement utilisé pour préparer ou appliquer les mélanges qui contiennent 2,4-D, 2,4,5-T ou de l'hexachlorure de benzène ne doit pas être utilisé à autre chose car il risquerait de contaminer les cultures ou de les endommager. L'équipement de pulvérisation qui a contenu des herbicides ne doit pas être utilisé pour appliquer d'autres types de produits sur les plantes qui risquent d'être endommagées car il est difficile et en fait pratiquement impossible d'éliminer tous les résidus d'herbicide de la machine. Cependant, sur les cultures moins sensibles, on peut utiliser le même pulvérisateur pour l'application de fongicides et d'insecticides après l'avoir nettoyé à fond. Note : La brochure U.S.D.A. ARS 22-67 publiée en avril 1961, intitulée « Suggested Guide for Chemical Control of Weeds » contient à la page 17 un article intitulé « General Precautions on Use ». Cette brochure doit trouver sa place dans les bibliothèques d'ouvrages de référence de tous les fabricants, négociants et agriculteurs.

Dans certains comtés, le personnel des services de vulgarisations et les commissaires agricoles peuvent fournir des renseignements sur la lutte contre les parasites et les maladies. Dans les États, les demandes doivent être adressées aux Stations Expérimentales et au Département de l'Agriculture de l'Etat. Les orga-

nismes fédéraux énumérés à la page 166 peuvent fournir des listes de documents de référence qui peuvent être achetés par l'intermédiaire du Superintendent of Documents U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402.

Terminologie des engrais.

L'expression N-P-K PLUS a été utilisée dans le présent chapitre à deux fins.

Tout d'abord, elle a pour objet d'indiquer la nature générale des produits qui peuvent être ajoutés à une formule d'engrais pour fournir à la plante les éléments dont elle a besoin pour lutter contre un carence du sol et assurer son alimentation.

En second lieu, à l'origine, on évaluait la teneur en azote, phosphore et potassium des engrais. Au début de ce chapitre l'étude sur la chimie des engrais a indiqué les éléments nécessaires pour former des composés chimiques. Le chimiste préfère employer le terme ion pour désigner des éléments. (Cf. glossaire page 202).

Un composé est constitué de deux ou plusieurs éléments ou ions unis chimiquement en rapport de poids défini. Ainsi, on peut voir que certains engrais ou composés peuvent contenir du calcium, du soufre, du magnésium, du sodium et d'autres éléments sous une forme combinée en plus de N-P-K. Avec l'accroissement des connaissances sur la nécessité de l'emploi des éléments secondaires et des oligo-éléments, la présence de ces autres ions sous une forme chimiquement combinée dans des produits peut être considérée comme une plus-value.

1. "Official Publication Association of American Fertilizer Control Officials," No. 18, 1964-1965, Dr. Bruce D. Cloaninger, Sec.-Treas., Clemson, S.C.
2. "Farm Chemicals Handbook," also "Dictionary of Fertilizer Materials and Terms," American Fruit Grower Publishing Co., 37841 Euclid Ave., Willoughby, Ohio.
3. Sauchelli, Vincent, Dr. 303 Overhill Road, Baltimore, Maryland 21210, "Chemistry and Technology of Fertilizers," American Chemical Society, Monograph series No. 147, Reinhold Publishing Corp., New York.
4. Bear, Firman E., "Soils and Fertilizers," John Wiley & Sons, inc., New York.
5. McVickar, Malcolm H., "Using Commercial Fertilizers," The Interstate Printers and Publishers, Inc., Danville, Ill.
6. Jacob, K. D., "Fertilizer Technology and Resources," Academic Press Inc., New York.
7. Blanck, Fred C., "Handbook of Food and Agriculture," Reinhold Publishing Corporation, New York.
8. National Plant Food Institute, "Hunger Signs in Crops," also "Fertilizer Handbook," 1700 K St., N.W., Washington, D.C. 20006.
Farm and Home Advisors Office, "Zinc Deficiency in Vineyards," 1720 South Maple Avenue, Fresno, California 93702.



Planche XXX. — Méthode moderne d'ensachage, de conservation et de transport.

CHAPITRE XI

TRANSPORT ET APPLICATION DES ENGRAIS SECS ET LIQUIDES ET DES PRODUITS MINÉRAUX A USAGE AGRICOLE

L'industrie des produits agrochimiques s'automatise.

La tendance est à l'amélioration des méthodes de transport et d'application des engrais et minéraux agricoles. Il en a résulté la mise au point de systèmes unitaires de chargement et de manu-

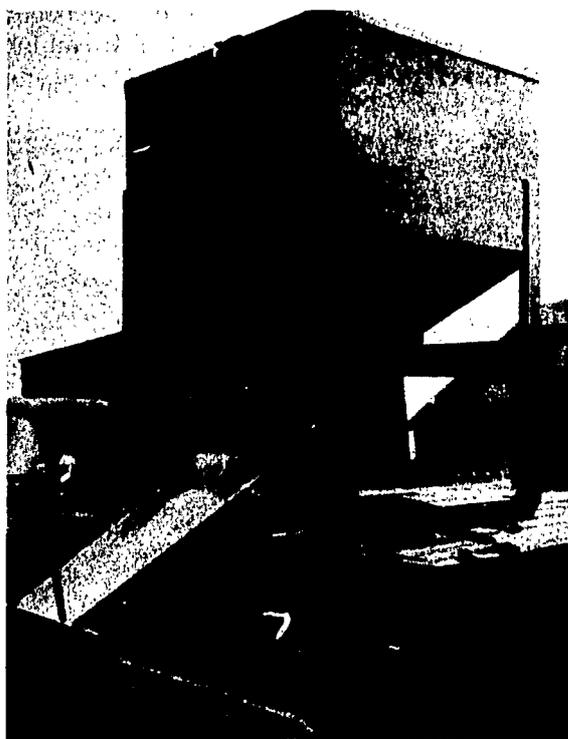


Planche XXXI. — Transfert par gravité d'un engrais sec en vrac dans la trémie de l'épandeur.

tention des sacs, de récipients en vrac pour les matières sèches et l'augmentation de la capacité de transport pour l'ammoniac anhydre et l'ammoniaque en solution aqueuse, les solutions azotées et les engrais mélangés liquides. Ces nouveaux systèmes permettent aux producteurs principaux, au négociant local ou à l'entreprise chargée de l'application, ainsi qu'à l'agriculteur d'économiser du temps et de la main-d'œuvre.

La planche XXX représente de gauche à droite, en haut, la manutention initiale des engrais depuis l'entrepôt de l'usine jusqu'au transporteur à courroie qui les amène à des ensacheuses à grande vitesse; au milieu, on voit une installation moderne d'ensachage et de couture des sacs, un transporteur à bande qui envoie les sacs dans un grand entrepôt et en bas on assiste à l'enlèvement des sacs du transporteur et au chargement sur le camion de livraison aménagé pour protéger les sacs et enfin, à l'arrivée à la ferme les sacs qui sont vidés dans les trémies des épandeurs d'engrais.

Les matières fertilisantes expédiées en vrac et les minéraux à usage agricole sont expédiés du point de production initiale ou des usines de mélange dans des camions, des camionnettes et des camions avec trémies fermées, dans des récipients portatifs, posés sur des camions à plate-forme et dans des camions-citernes.

Les livraisons par chemins de fer permettent d'acheminer et de décharger les voitures dans les entrepôts de négociants de la localité ou sur des quais de débarquement. Les camions transportent le produit directement des usines de mélange, des entrepôts



Planche XXXII. — Transporteur au niveau du sol, entraîné par la prise de force du tracteur et transférant des matériaux en vrac de la benne mobile dans la trémie de l'épandeur.

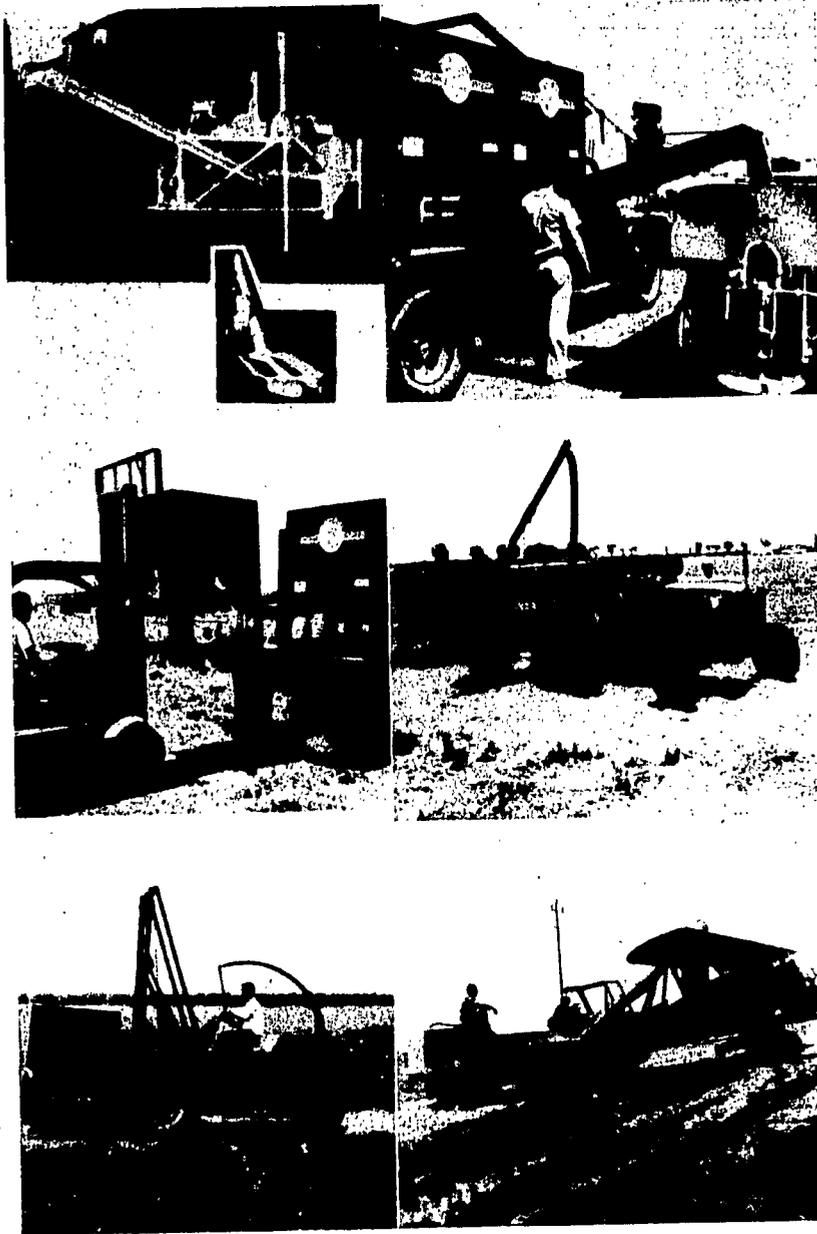


Planche XXXIII. — Transport en vrac et équipement d'application pour les produits secs.



Planche XXXIV. — Transport et utilisation d'ammoniac, ammoniacque en solution aqueuse, de solutions azotées, et d'engrais liquides mélangés.

régionaux jusqu'à l'entrepôt de la ferme ou les déchargent dans le champ. L'engrais est ensuite versé dans les réservoirs de stockage de la ferme, dans des réservoirs mobiles, et dans les trémies des épandeurs d'engrais. Les camions-citernes équipés de compresseurs à air et de grands tuyaux de déchargement activent les opérations de déchargement ou de transfert du produit en vrac en le soufflant jusque dans un coffre ou une trémie.

Les récipients mobiles qui se vident automatiquement sont très utilisés. Quelques-uns sont en contre-plaqué et autres matières qui les rendent non réutilisables. Dans l'Ouest, on utilise de préférence des réservoirs en acier. Le produit sec en vrac est transféré de ces réservoirs à la trémie de l'épandeur par gravité (planche XXXI), ou au moyen d'un transporteur placé au niveau du sol, entraîné par la prise de force du tracteur (planche XXXII).

Sur la planche XXXIII, on voit à gauche l'équipement de déchargement servant à transporter le produit dans des réservoirs mobiles, un tracteur avec élévateur à fourche qui charge les réservoirs sur un camion à plate-forme et le transport des réservoirs jusque dans le champ. A droite et en haut, on voit le transfert du produit en vrac dans un épandeur à ventilateur; au centre, on assiste au déchargement dans le champ des trémies sur un épandeur en ligne, en bas et à droite un transporteur vide un réservoir dans la trémie d'un avion.

Des changements révolutionnaires sont intervenus dans le transport et l'utilisation des produits liquides, grâce à la construction d'équipement de plus grosse capacité. La planche XXXIV montre de gauche à droite en haut des camions-citernes utilisés pour transporter l'ammoniaque en solution aqueuse, et à droite une citerne placée dans un champ avec un compteur qui sert à introduire les solutions azotées sans pression de vapeur ou les engrais liquides dans un système d'irrigation souterraine. Au milieu, l'ammoniaque est transférée du camion-citerne au réservoir de la ferme, au moyen d'un groupe compresseur. A droite, un

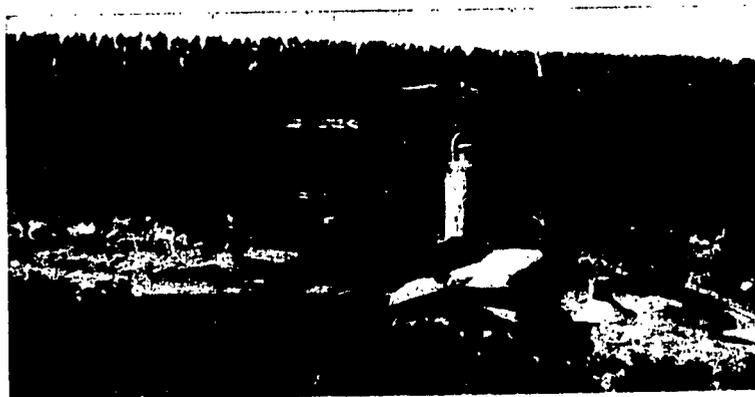


Planche XXXV. — Applicateur d'engrais sous pression utilisé pour l'irrigation par aspersion.

avion fait une application de solution sans pression. En bas et à gauche, transfert d'un réservoir sous pression portatif dans un épandeur; à droite, application d'ammoniacque à grande échelle avant les semis avec un distributeur à injection sur une terre destinée à être plantée en céréales.

Application.

Le concept d'un programme moderne de fumure comporte le thème des quatre questions à se poser. Les producteurs doivent résoudre un certain nombre de problèmes avant de décider; la nature de l'engrais à utiliser, la quantité nécessaire, la date d'application et l'endroit où il faut le mettre. Il n'existe pas de méthode qui soit la meilleure pour tous les sols et toutes les cultures, et bien souvent c'est une combinaison de diverses méthodes qui donne les meilleurs résultats. L'extrême diversité des types de sol, le grand nombre de variétés des plantes, les méthodes de production, et les variations du climat compliquent le problème. Les producteurs doivent tenir compte de la fertilité naturelle d'un sol, de la qualité de l'eau, de la réaction du sol, de l'humidité et de la température, aussi bien que des précédents culturaux et des fumures antérieures.

La fumure doit être conçue de manière à répondre aux besoins de la culture. Il faut respecter deux règles générales. La première est de placer les engrais là où les racines de la plante peuvent les atteindre facilement et à une profondeur suffisante pour qu'ils soient dans la zone des racines qui reçoit l'humidité du sol. Les engrais doivent être placés aussi près que possible des semences ou des racines des plantes, lorsque l'état du sol et l'humidité permettent de le faire sans que la germination des semences en soit entravée ou que les racines soient brûlées. Les types de sol ont une influence très marquée sur la distribution des engrais. Des produits solubles se déplacent généralement plus facilement avec l'humidité du sol dans les sols sableux.

L'engrais à utiliser.

Azote

Il faut tenir compte d'un grand nombre de facteurs pour utiliser l'azote dont on trouve cinq formes principales.

L'azote nitrique se présente sous la forme de l'anion NO_3^- . Il peut être facilement déplacé par l'humidité du sol et il est rapidement assimilable par la plupart des plantes.

L'ammoniac est le composé azoté de formule NH_3 qui, en contact avec l'eau s'hydrolyse pour former le cation ammonium NH_4^+ . Ces formes sont fixées et maintenues par les matières

organiques et autres particules colloïdales comme l'argile. A la suite d'une application initiale, il se produit un déplacement minimal avec l'humidité du sol jusqu'à ce que les bactéries nitrifiantes effectuent la transformation qui dépend de la réaction du sol, de son humidité et de la température.

Certains produits fournissent à la fois de l'azote ammoniacal, et de l'azote nitrique.

Les engrais organiques non protéinés, appelés également composés azotés amides, sont hydrolysés dans le sol pour former des produits ammoniacaux. Leur mobilité dans le sol est intermédiaire entre le nitrate et l'ammoniaque.

Au chapitre X on trouvera une énumération des produits fertilisants qui fournissent ces quatre formes principales d'azote, un tableau indiquant leurs caractéristiques basiques ou acides et une étude des méthodes de production.

L'azote organique naturel et protéique provenant de matières organiques en vrac ou concentré est décomposé par les organismes du sol et finalement l'azote organique est transformé par les bactéries en nitrate.

Phosphore

Pour le phosphore, c'est le pouvoir d'assimilation de la plante qui joue un rôle primordial. La plupart des cultures ont surtout besoin de phosphate au début du cycle de croissance des plantes. Les phosphates se déplacent très lentement dans le sol et il importe de les appliquer à un endroit où les racines de la plante pourront l'exporter. Lorsqu'ils sont mélangés avec la terre, les phosphates ne sont plus assimilables. Il a été prouvé que s'ils sont placés en bande, il y a moins de fixation, car la matière est en contact avec une plus faible quantité de terre (Cf. chapitre VII pour les références sur la solubilité des éléments fertilisants en fonction de la réaction du sol.)

Potassium

Les engrais potassiques agissent par l'intermédiaire des particules colloïdales et d'humus selon un processus d'échange d'ions. Les ions potassium déplacent quelques-uns des ions calcium et autres adsorbés à la surface des particules d'argile et prennent leur place. Les ions de potassium adsorbés ne se déplacent pas facilement dans l'eau et le taux de distribution dans la masse du sol est faible. Ces ions adsorbés peuvent être facilement utilisés par les plantes et sont presque aussi assimilables que s'ils étaient

en véritable solution. On pense que, par un effet de contact, les particules d'argile peuvent réagir directement avec la surface des racines pour fournir le potassium élémentaire K aux racines afin que la plante l'utilise.

On est parvenu à augmenter considérablement la réaction de certaines cultures au phosphate et à la potasse, en augmentant considérablement les quantités de ces principes fertilisants appliquées au sol. Là où naguère on appliquait de 22 à 44 kilos à l'acre (0,4 ha) de P_2O_5 et de K_2O , on utilise maintenant de 136 à 172 kilos à l'acre (0,4 ha). Ces applications sont parfois appelées « applications explosives ». Il est important de bien placer l'engrais pour ne pas endommager les racines. Lorsqu'il s'agit de cultures annuelles, les applications se font généralement par épandage en ligne ou par enfouissage des engrais avant les semis. Sur les plantations d'arbres, ces fortes applications sont faites à la volée sous les arbres, en ligne ou en sillon juste au-dessous de la profondeur atteinte lors des façons culturales, entre les rangées d'arbres.

L'un des résultats intéressants de ces applications massives réside dans l'effet résiduel ou de report pendant plusieurs années après l'application initiale. Ces fortes applications de phosphate et de potasse sont maintenant couramment utilisées. Dans certains sols, les cultivateurs estiment que cette méthode est plus rentable que celle qui consiste à appliquer la même quantité d'éléments P ou K en plusieurs années.



Planche XXXVI. — Application d'engrais sec avant les semis, lors de la préparation de la couche de semis.

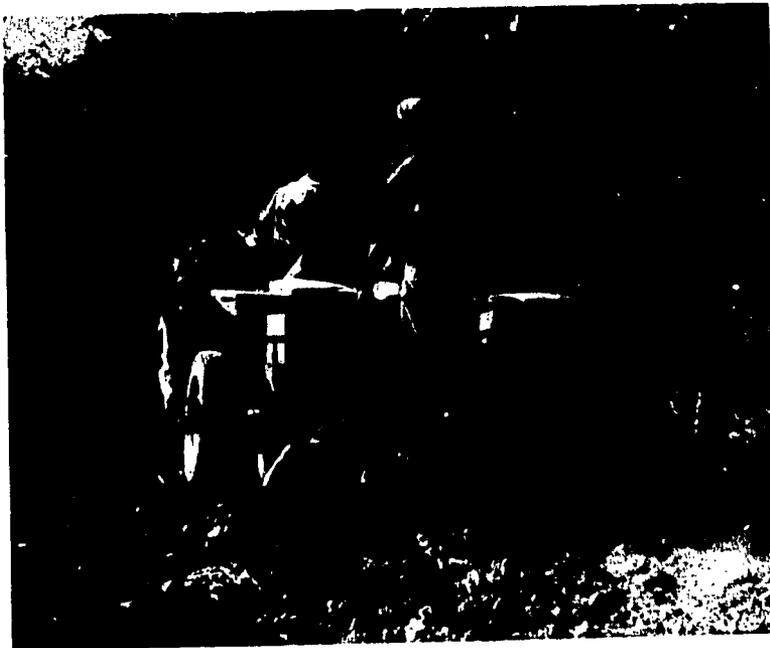


Planche XXXVII. — Enfouissage en profondeur des engrais pour éviter une fixation.

La date d'application et la quantité d'engrais nécessaire.

La date. En règle générale, la meilleure époque pour appliquer des engrais est avant le démarrage de la végétation principale. Il faut tenir compte du type de culture, du sol, du temps et de l'humidité. Les besoins en éléments fertilisants doivent être étudiés compte tenu de ces facteurs.

La quantité qu'il faut employer dans des conditions particulières de sol et de culture est étroitement liée à la date d'application. Les mêmes conditions permettent de répondre aux deux questions.

Le présent manuel n'a pour objet que de présenter les caractéristiques fondamentales des méthodes qui peuvent être suivies. L'extrême diversité des cultures, des types de sol et des conditions atmosphériques dans une vaste région où le présent manuel sera diffusé nous obligent à nous tenir à des considérations d'ordre général. Les directives spéciales relatives à un programme sont nécessairement fonction des conditions locales, des données obtenues par la recherche, de l'analyse des sols et de l'analyse des tissus.

Chaque Etat possède une somme de renseignements qui indiquera comment doit être conçu un programme de fumure. Certains Etats publient des circulaires ou des bulletins présentant des recommandations à jour. D'autres Etats publient des notices pour les différentes cultures. Les négociants locaux, les vulgari-

sateurs, ou la division des publications des stations expérimentales agricoles peuvent fournir ces renseignements.

Pour donner une idée du genre de renseignements que l'on peut se procurer dans les diverses parties de l'Ouest, il n'est pas sans intérêt de lire le résumé suivant :

Dans le nord-ouest de la côte du Pacifique, les besoins en engrais des céréales sont déterminés par les analyses de sol et des essais d'humidité nitrates. On a établi une formule pour l'utilisation de N qui est liée à l'importance des prescriptions dans la région et à l'humidité naturelle du sol.

On possède pour un grand nombre de sols et de cultures des Etats de l'Ouest des résultats d'analyse de sols, d'analyse de tissu des plantes et des feuilles. Les valeurs N-P-K sont énumérées au chapitre IX. L'interprétation des résultats d'analyse des feuilles jointe aux essais de sol et liée aux résultats des essais locaux de fumure servira utilement de guide pour les méthodes de fumures à employer.

Ce bref aperçu indique le type de renseignements disponibles. Il montre aussi les changements extraordinaires qui sont intervenus dans l'agriculture. Le cultivateur ne peut plus compter sur les méthodes empiriques pour choisir un programme de fumure. Il est ainsi prouvé qu'il est capital d'établir un dossier avec ces données qui seront adaptées aux conditions locales.

Où appliquer les engrais.

Le système racinaire des plantes varie selon la nature du champ. Dans des conditions favorables de sol et d'humidité, les racines des plantes s'enfoncent plus profondément qu'on ne le croit généralement. Le fait que les racines s'enfoncent leur procure plus de place pour se nourrir ce qui permet aux racines de pénétrer dans une zone d'humidité plus étendue. La planche XXXVIII montre pour une seule plante, des oignons repiqués, l'importance de la date, et de l'endroit d'application des engrais par rapport aux besoins alimentaires de cette culture. Les oignons qui ont reçu chacun 120 livres d'azote et d'acide phosphorique à l'acre ont donné les meilleurs résultats lorsque l'engrais était appliqué sous la rangée avant la culture.

En règle générale, il est dangereux de recommander de faire l'application sous la rangée. Ceci vaut en particulier pour les engrais azotés potassiques. Les plantes à racines pivotantes ne doivent jamais être fertilisées directement sous la rangée. Les oignons représentés ci-dessous ne sont pas une plante à racine pivotante, et en conséquence ils réagissent comme indiqué dans la figure.

L'époque et l'endroit sont donc des points importants dont il

faut tenir compte pour déterminer le type de produits à utiliser pour fournir à la plante les éléments essentiels N-P-K.

Les principales méthodes d'application sont les suivantes :

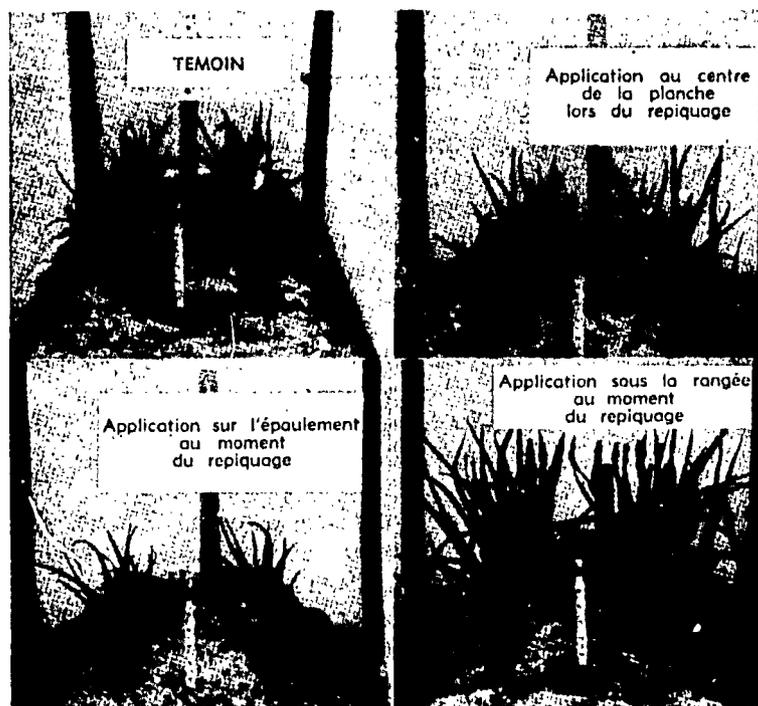


Planche XXXVIII. — Essais de placement des engrais sous des oignons repiqués.

Application à la volée (épandage en surface).

L'épandage en surface de matières sèches ou la pulvérisation de solutions ou de liquides suivie de la préparation de la couche de semis pour les cultures en ligne a pour effet de distribuer les éléments fertilisants sur un plan horizontal dans la couche là où les racines se développeront.

Les applications à la volée et par pulvérisation sont largement utilisées pour la fumure des vergers et des plantes de grandes cultures comme les céréales, sans oublier les prairies de long parcours, les pâturages permanents, les graminées et légumineuses. La fumure en surface est analogue à l'application à la volée. La pénétration dans la zone où s'alimentent les racines se fait soit par l'eau d'irrigation, soit par les pluies, soit par l'injection d'ammoniaque anhydre ou aqueuse ou de solutions.

Un autre système de fumure en surface consiste à appliquer des phosphates liquides, des solutions azotées, des engrais mélangés liquides, ou des matières azotées sèches et solubles dans de l'eau d'irrigation. Cette méthode s'est révélée satisfaisante pour entretenir les anciens pâturages et les peuplements de luzerne.

Réglage, calibre des épandeurs.

La quantité de solution appliquée est déterminée par la dimension de l'orifice de la buse, la vitesse de déplacement et la pression de pulvérisation. Les fabricants d'équipement peuvent fournir des données sur la dimension des buses qui distribuent le volume voulu. Le calibrage se fait généralement en réglant la pression du distributeur à 1,4 kilo ou 2,1 kilos par cm^2 , avec une vitesse de déplacement de 6,4 à 8 kilomètres/heure.

Pour calibrer, il faut remplir le réservoir avec de l'eau puis faire passer le pulvérisateur sur un hectare en utilisant une pression et une vitesse uniformes. La distance à parcourir pour couvrir un acre peut être calculée en divisant le rayon de pulvérisation de distributeur par le nombre de m^2 .

Enfouissage avec les graines.

Pour déterminer la superficie qui pourra être couverte avec la quantité de liquide contenue dans le réservoir, il faut diviser le nombre de litres nécessaires à l'hectare par le nombre de litres contenus dans le réservoir.

Cette méthode est surtout utilisée pour les petites graines qui peuvent tolérer un contact direct avec les engrais chimiques. Il est préférable d'employer des semoirs avec un système de distribution d'engrais que de mélanger l'engrais avec les semences. On évite ainsi un contact étroit dans le sol qui peut avoir des effets nuisibles sur la germination. On peut aussi faire avant les semis des applications d'ammoniaque, de solutions, d'engrais mélangés liquides et de produits secs.



Planche XXXIX. — Application en surface dans un vignoble; cf. aussi distribution à la volée du gypse, planche XI, page 72.



Planche XL. — Epondage à la volée de solutions à même le sol.

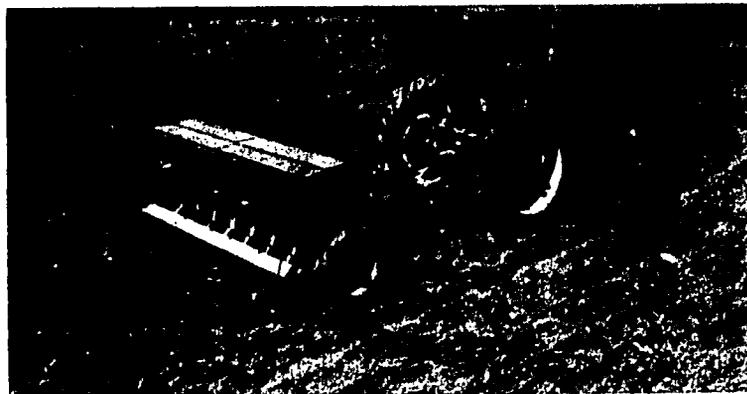


Planche XLI. — Semoir à grain avec un dispositif pour la distribution des engrais.

L'application des engrais au moment des semailles s'est révélée très efficace pour établir des pâturages à la suite de brûlis dans les zones de prairies de long parcours sur terrain sec. On a mis au point un distributeur qui place l'engrais à 2,5 ou 5 cm au-dessous des graines plutôt que de les mettre en contact direct avec celles-ci. Cet instrument est plus sûr que l'application au moment des semis.

Epondage en bande.

Toutes les méthodes d'épondage doivent être fondées sur la connaissance des habitudes d'enracinement des plantes. L'ancien

équipement appliquait les engrais en deux bandes de part et d'autre de la rangée de semences, soit au niveau ou au-dessous du niveau des graines. Ce système d'épandage en bandes divergentes avait un inconvénient. On risquait trop de placer les engrais près des graines, ce qui pouvait réduire la germination ou endommager les racines des semis. L'épandage en bande simple qui dispose la bande d'engrais sur le côté et au-dessous des graines est plus efficace.

La fixation du phosphate et de la potasse par le sol constitue un problème sérieux pour la fertilisation des cultures sur les sols semi-arides de l'Ouest. Le placement en profondeur ou en bande des engrais au moment de la plantation s'est révélé comme l'un des meilleurs moyens de surmonter cette difficulté. Si les engrais sont bien disposés, les racines des plantes peuvent facilement les atteindre surtout lorsque la température du sol est suffisamment basse pour restreindre la croissance des racines.

Fumure latérale.

Ce système consiste à épandre en bande des engrais après la sortie des semis. Les engrais sont généralement disposés en bande le long des couches de semis ou de l'ados au-dessous du niveau de l'eau, le long du sillon d'irrigation. Le fait de régler la distribution met les éléments fertilisants à la portée des racines nourricières. Ce système qui restreint la superficie où sont distribués les engrais ne fournit pas d'éléments fertilisants qui favorisent la croissance des plantes adventices.

Lorsqu'on fait une application en bande ou une application latérale, l'emplacement de l'engrais par rapport au mouvement de l'eau dans le sol présente une importance capitale. La figure 15 indique l'effet du déplacement de l'eau sur la répartition finale de l'engrais lorsque celui-ci est appliqué à deux niveaux différents dans la couche de semis. Les nitrates disposés à une profondeur insuffisante dans la couche remonteront vers le haut et sortiront de la zone des racines lorsque l'eau atteindra la surface de la couche.

Il est généralement préférable de faire des applications de phosphate et de potasse avant les plantations ou au moment des semis que de faire des applications latérales après sortie des plantes. Les applications latérales des phosphates et de la potasse peuvent être trop tardives pour donner le maximum de résultat.

Aucune méthode n'est meilleure que les autres pour faire les applications en bande. Il est généralement admis que pour la plupart des cultures, les applications en bande ou les applications latérales sont supérieures aux applications à la volée. On peut juger du rapport entre les bandes d'éléments fertilisants et la plante qui pousse d'après le type de sol et l'humidité. Les sols lourds permettent de les placer plus près que dans les sols légers.

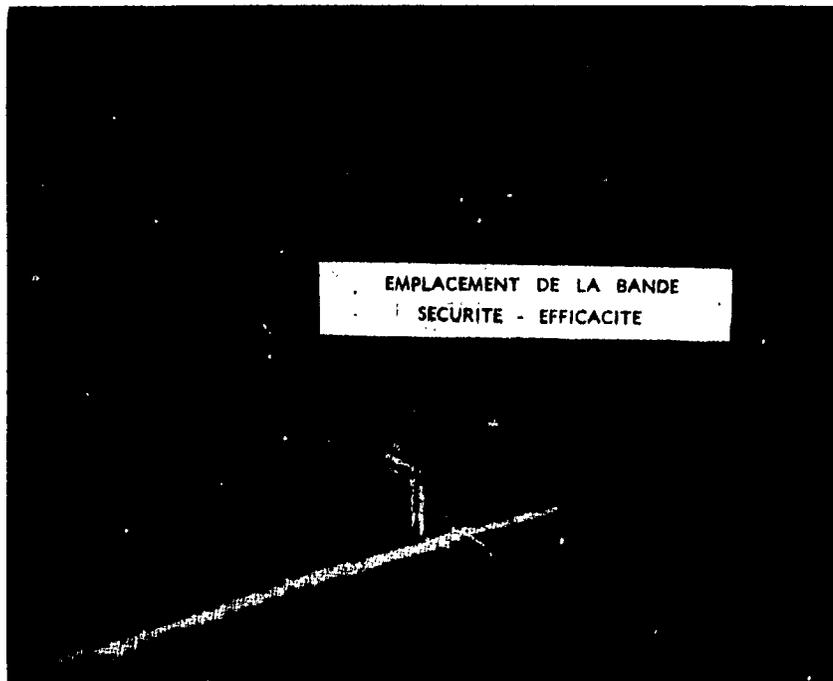


Planche XLII. — Application en bande simple sur le côté et au-dessous des graines. Cette application procure davantage de sécurité car les engrais ne sont pas en contact avec les graines qui germent avec les jeunes semis. Les racines nourricières secondaires interceptent la bande d'éléments fertilisants dans la zone humide, ce qui réduit le risque de brûlure aux racines.

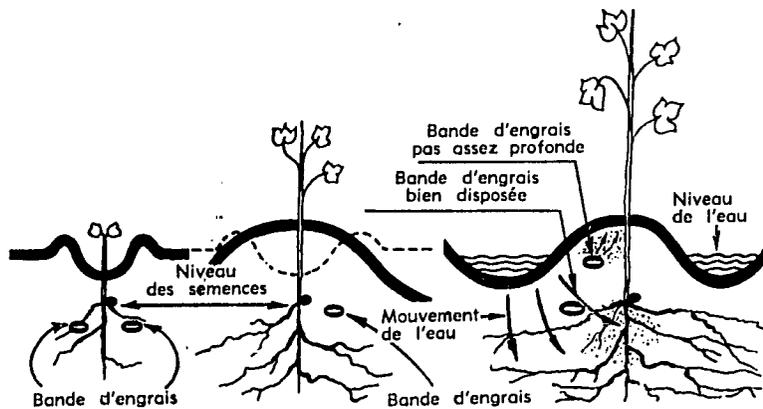


Figure 15. — Ce dessin indique le rapport entre les niveaux auxquels sont placés les éléments fertilisants et le mouvement de l'eau dans le sol.

Etant donné l'extrême variété des engrais azotés actuellement utilisés, il faut, quelle que soit la méthode employée, tenir compte de la solubilité et de la mobilité de N. Pour la plupart des produits, il est généralement recommandé de disposer les engrais à plusieurs centimètres de la graine ou de la rangée de plantes et à plusieurs centimètres au-dessous du niveau des graines. Avec

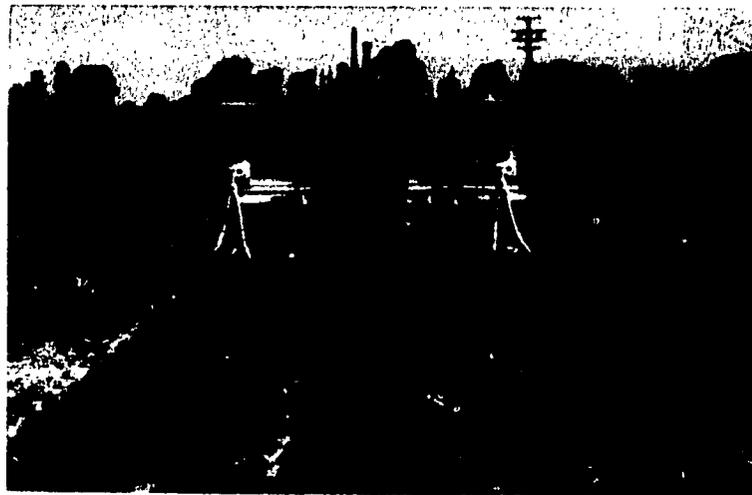


Planche XLIII. — Fumure latérale d'engrais sec sur une culture en ligne.

l'ammoniac anhydre et l'ammoniaque en solution aqueuse, ainsi qu'avec les solutions n'ayant pas de tension de vapeur, il faut placer l'engrais encore plus loin du niveau de la graine ou des racines de la plante et les enfouir plus profondément dans le sol. Ces types d'engrais se diffusent dans le sol et les racines des plantes sont sensibles à l'ammoniaque. Encore une fois, il faut tenir compte de l'expérience locale ainsi que de l'état du sol et de l'humidité.



Planche XLIV. — On peut épandre latéralement à côté d'une culture en ligne et par injection avec un semoir, l'ammoniac anhydre et l'ammoniaque en solution aqueuse, les solutions azotées, l'acide phosphorique liquide et les engrais liquides mélangés.

Tableau pour le calibrage des rampes d'injection.

1. *Largeur du sillon en pied* \times *par gallons à l'acre* = onces par 100 pieds de déplacement.
2. *Onces par 100 pieds de déplacement* = onces par 100 pieds de déplacement par rampe.

Nombre de bras distributeur

3. *Longueur X par largeur X par 23 en déplaçant à gauche de six places la virgule* = acre.
1 pied = 30 cm;
1 gallon = 3,7 litres;
1 acre = 0,4 ha;
1 once = 24 g.

Application d'eau.

Les matières sèches, l'ammoniaque, les solutions azotées, les engrais mélangés liquides, les acides phosphoriques et autres sont appliqués par l'eau d'irrigation. On introduit les produits liquides dans l'eau d'irrigation ou les tuyauteries par gravité ou sous pression et le taux d'application est réglé par un compteur.

Lorsqu'on envoie ces liquides dans des colonnes montantes, ou des conduites sous pression, l'amorçage se fait au moyen de bouteilles d'azote ou de gaz carbonique comprimé ou d'une pompe à pression. L'ammoniac anhydre, en raison de la compression qu'elle exerce dans les récipients, n'a pas besoin d'une pression



Planche XLV. — Application d'ammoniac anhydre dans un déversoir.

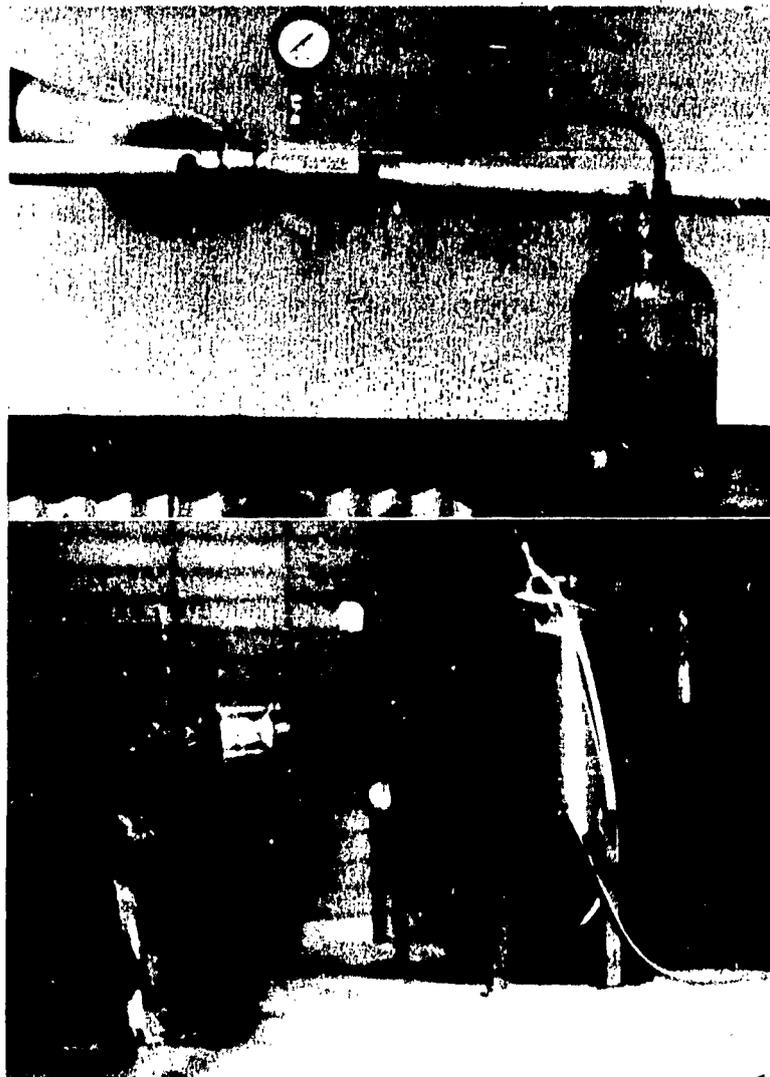


Planche XLVI. — Injecteur pour tuyauterie. La figure du haut représente un injecteur à syphon qui peut être utilisé pour les engrais secs et dissous, les solutions azotées, et les engrais liquides. La photographie du bas représente un injecteur sous pression. Il peut être utilisé pour les mêmes produits.

supplémentaire pour pénétrer dans l'eau des colonnes montantes ou des tuyauteries.

L'ammoniac anhydre est amenée des bouteilles ou réservoirs sous pression qui sont placés dans les fossés d'irrigation, déversoirs ou conduites dans le courant d'irrigation au moyen d'un tuyau de 6,35 mm. Les récipients utilisés dans les champs sont équipés d'un compteur d'ammoniac et d'un thermomètre. Ce dernier détermine la pression dans la bouteille et la dimension de l'orifice nécessaire pour admettre la quantité voulue d'ammoniac dans l'eau.

Pour l'ammoniac anhydre il s'agit simplement de déterminer le nombre d'hectares à l'heure qui doivent être traités et le nombre de kilos d'ammoniac ou d'azote à appliquer à l'hectare afin de calculer le débit nécessaire par heure. Des graphiques simples qui établissent une corrélation entre les températures, la dimension de l'orifice et le nombre de kilos à l'hectare permettent de choisir la dimension de l'orifice nécessaire pour une température ou un taux donné.

L'eau d'irrigation a une forte affinité pour l'ammoniac. Un volume d'eau absorbe environ 1 200 volumes d'ammoniac dans des conditions normales. Dans la pratique, il ne faut jamais que la concentration d'ammoniac dépasse 110 parties par million dans l'eau.

La concentration est l'équivalent d'un débit de 225 g d'ammoniac par heure pour un débit de 36 litres par minute et elle fournit 45 kilos d'azote à l'acre au cours d'une irrigation de 4 acres-pouces (410 900 litres). La pression de vapeur de l'ammoniac dissoute est maintenue à un très faible niveau. Ceci permet une répartition uniforme de l'azote dans l'eau.

Les solutions ammoniacales comme l'ammoniac en solution aqueuse sont livrées dans des récipients à faible pression et leur admission dans l'eau d'irrigation est réglée par des flotteurs. Il est ainsi possible d'avoir un débit uniforme quelle que soit la température de l'ammoniac.

On utilise parfois des pinces, mais ceci nécessite de vérifier plus fréquemment le taux d'application. Les mélanges de liquides et autres produits azotés sont traités de la même façon.

Si une eau d'irrigation est dure, l'ammoniac ou la solution ammoniacale fera précipiter le carbonate de calcium qui se dépose sur le siège des vannes et à l'intérieur des tuyauteries d'irrigation ce qui réduit la capacité de transport. Une solution à ce problème de la précipitation a été mise au point. Elle consiste à ajouter une faible quantité d'un polyphosphate qui conditionne l'eau.

Ce produit agit principalement en empêchant la précipitation. On l'ajoute sous forme de solution séparée lors de l'application

d'ammoniac anhydre et on peut l'ajouter aussi dans les solutions d'ammoniaque en solution aqueuse.

Application des produits secs avec de l'eau.

On applique de plus en plus les engrais et produits minéraux à usage agricole avec de l'eau. Ceci est dû en partie au perfectionnement de l'équipement d'application mécanique destiné à introduire les produits dans l'eau d'irrigation.

Les produits minéraux agricoles nécessaires pour le traitement des sols acides ou des sols alcalins sont énumérés au chapitre IV.

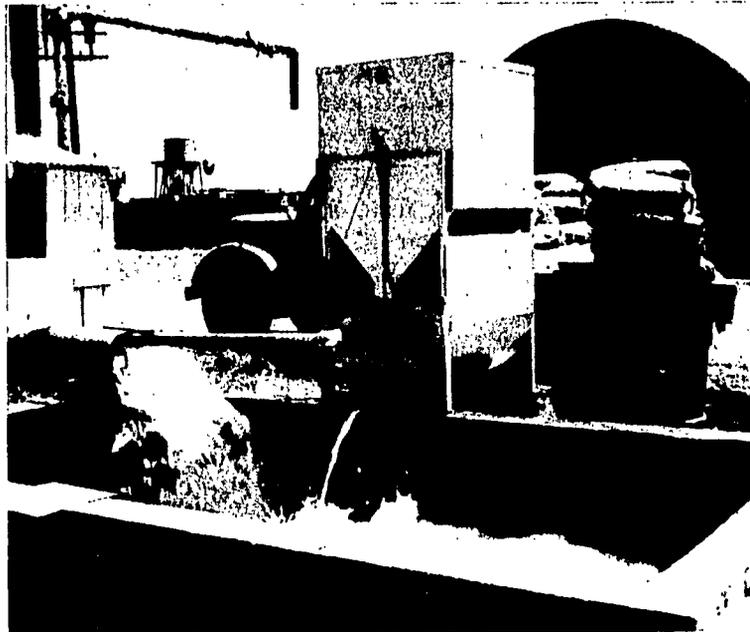


Planche XLVII. — Applicateur d'engrais des produits minéraux à usage agricole.

Solubilité des engrais ⁵.

Le tableau suivant de solubilité permet de déterminer les méthodes et les taux d'application. Ce même tableau peut servir à préparer des solutions pour le démarrage de la végétation et les pulvérisations foliaires. Il sera peut-être parfois nécessaire d'utiliser de l'eau chaude pour dissoudre certains de ces produits.

Alors que certaines formes d'engrais et de minéraux à usage agricole ne sont pas complètement solubles, on a constaté qu'ils restent en suspension. L'irrigation par aspersion fait exception à cette règle. Les produits partiellement solubles pourraient user et même obturer les buses.

Tableau de solubilité

Produit	Nombre approximatif de parties solubles dans 100 parties d'eau froide ¹
<i>Eléments essentiels :</i>	
Nitrate d'ammonium	118
Sulfate d'ammonium	71
Cyanamide calcique	Se décompose
Nitrate de calcium	102
Phosphate diammoniacal	43
Phosphate monoammoniacal	23
Nitrate de soude	73
Nitrate de potassium	13
Superphosphate simple	2
Superphosphate triple	4
Urée	78
<i>Eléments secondaires :</i>	
Borax	5
Chlorure de calcium	60
Oxyde de cuivre	Insoluble
Sulfate de cuivre	22
Sulfate ferreux	29
Sulfate de magnésium	71
Sulfate de manganèse	105
Chlorure de sodium	36
Molybdate de sodium	56
Sulfate de zinc	75

1. Un litre d'eau pèse 1 kilo.

Les solutions de démarrage ajoutées à l'eau utilisée pour la transplantation réduisent les pertes de plantes, stimulent le début de la croissance et complètent un programme normal de fumure. Elles sont préparées avec des engrais solubles qui contiennent généralement une forte quantité de phosphore. Il faut suivre les instructions locales relatives à la dilution et aux conditions d'emploi.

Le gypse et son utilisation ont fait l'objet d'une étude aux chapitres III et IV. Un tableau du chapitre IV indique la méthode de calcul du calcium ou du soufre combiné qui est contenu dans diverses qualités de gypse. Du fait que certains sols ou certaines eaux d'irrigation ont une faible teneur en calcium, il est nécessaire d'introduire constamment du gypse dans l'eau pendant toute la durée de l'irrigation. La teneur en calcium, magnésium et sodium du sol ou de l'eau détermineront s'il est nécessaire d'appliquer du gypse et dans quelle quantité.

Le tableau figurant dans le glossaire indique le nombre de kilos de gypse qu'il faut introduire par heure pour un débit de pompage de 151 litres/heure. Ce tableau est fondé sur du gypse à 100 %, aussi faut-il utiliser le tableau du chapitre IV pour cal-

culer le poids comparatif nécessaire en fonction de la qualité du gypse utilisée. Les besoins en gypse sont déterminés par l'analyse de l'eau utilisée. Pour l'analyse et l'interprétation des résultats il peut être nécessaire d'avoir recours aux services d'un technicien expérimenté de laboratoire ou d'un agent des services officiels.

L'équipement pour l'application avec de l'eau est représenté dans les planches. Parfois les produits sont appliqués au moyen d'une eau sous pression normale. Les applicateurs du type sous pression injectent des solutions ou suspensions de matières dans les tuyauteries d'eau d'irrigation au moyen d'un tuyau sous pression. Cette dernière installation présente un intérêt particulier pour les utilisateurs de systèmes d'irrigation par aspersion.

L'uniformité de l'application est liée à la répartition de l'eau d'irrigation. Les quantités appliquées peuvent être mesurées exactement et introduites dans l'eau ou le courant d'irrigation. Dans le cas d'injection dans des tuyauteries, il faut appliquer les matières au début de la période d'irrigation en laissant la dernière partie de l'eau lessiver les résidus d'engrais ou de minéraux subsistant sur les plantes et nettoyer les conduites et les tuyauteries d'arrosage sous pression.

Application par avion.

On emploie de plus en plus la méthode de pulvérisation de produits secs ou liquides par avion. On peut ainsi faire une application en surface par temps humide lorsqu'il n'est pas possible de circuler dans le champ. Etant donné l'intérêt croissant que l'on porte à la fumure des prairies de grands parcours, cette méthode semble être la plus économique.

Pulvérisation foliaires.

Depuis un grand nombre d'années, on pratique des pulvérisations foliaires d'éléments nutritifs. Cette méthode permet de nourrir des plantes comme les agrumes, les ananas, la canne à sucre et les bananiers. Elle ne remplace pas l'application des éléments nécessaires sur la plupart des cultures commerciales. Les applications principales doivent se faire sur le sol. Demander des renseignements dans la localité.

Comment remédier aux carences en éléments secondaires et en oligo-éléments.

Voir le chapitre X pour une étude complète sur la façon de remédier aux carences tant par des pulvérisations que par des applications sur le sol et d'autres méthodes.

Equipement pour l'application des engrais.

Le Council on Fertilizer Application est un groupement constitué par des spécialistes de la station expérimentale, des ingénieurs agronomes, des fabricants de machines agricoles, des membres de l'industrie des engrais et du National Plant Food Institut.

Le Comité a rédigé une brochure intitulée « Methods of Applying Fertilizer » (méthodes d'application des engrais) qu'il est possible de se procurer auprès de l'Institut. Le Comité a également préparé toute une série de diapositives de 35 mm présentant les derniers modèles d'équipement ainsi qu'un répertoire des machines spéciales pour engrais et des appareils utilisés pour les recherches. L'Institut peut fournir gratuitement un catalogue descriptif qui contient une liste de fabricants et une brève description des diapositives. La plupart des diapositives sont en couleurs et peuvent être achetées au prix de 25 cents l'unité. Le Bureau of Plant Industry U.S.D.A., Beltsville Md. possède aussi des listes de matériel pour les applications d'engrais et les noms des fabricants avec leur adresse.

L'emploi d'un distributeur d'engrais de type approprié est indispensable pour appliquer les engrais au bon endroit, ce qui importe autant que la forme et la quantité des matériaux utilisés, et de l'époque d'application.

Il est indispensable de bien entretenir les machines pour qu'elles fonctionnent avec précision. La plupart des engrais attaquent les métaux soit par oxydation, soit en raison de leur composition chimique. Il faut de temps en temps enlever les engrais des trémies, du mécanisme de distribution ou des autres parties de la machine pendant les périodes d'utilisation et nettoyer les machines pour empêcher la corrosion. Lorsqu'elles sont inutilisées il faut nettoyer les machines à fond, les recouvrir d'un enduit protecteur et les protéger contre les intempéries pour que le métal ne se rouille pas.

BIBLIOGRAPHIE

1. "Methods of Applying Fertilizer," recommendations of the Council on Fertilizer Application National Plant Food Institute, 1700 K Street, N.W., Washington, D.C. 20006.
2. McVickar, Malcom H., "Using Commercial Fertilizer" The Interstate Printers and Publishers, Inc., Danville, Ill.
3. National Plant Food Institute, "Fertilizer Salesman's Handbook," 1700 K St., N.W., Washington, D.C. 20006.
4. American Potash Institute, Inc., 1102 - 16th St., N.W., Washington, D.C. 20006; 330 Village Lane, Los Gatos, Calif.; 2420 S.E. Mulberry Dr., Portland, Ore.; 2801 Clay St., Newport, Beach, Calif.; "Fertilizer Placement," reprint from Better Crops with Plant Food.
5. Knott, J. E., "Handbook for Vegetable Growers," Univ. of Calif., Davis, Calif. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.

CHAPITRE XII

LOI DES ÉTATS DE L'OUEST RELATIVES AUX PRODUITS FERTILISANTS

L'Association of American Fertilizer Control Officials a été créée en 1946. Les buts de cette association sont d'assurer l'uniformité et l'efficacité de la législation, des définitions et règlements et veiller à l'application des lois relatives au contrôle de la vente et de la distribution des engrais mélangés et des produits fertilisants dans toute l'Amérique du Nord. Cette association a pour objet de protéger l'industrie des engrais aussi bien que les agriculteurs contre quiconque cherche à se livrer à des opérations frauduleuses.



Planche XLVIII. — La distribution par avion de produits secs de solutions et d'engrais mélangés liquides est une méthode rapide et économique.

ALASKA

Director of Agriculture
Box 1828
Palmer 99645

ARIZONA

Office of State Chemist
Agr. Experiment Station
P. O. Box 1120
Messa 85202

CALIFORNIA

Chief, Field Crops and
Agricultural Chemicals
1220 "N" Street
Sacramento 95814

COLORADO

Department of Agriculture
Feed and Fertilizer Section
1525 Sherman Street
Denver 80203

HAWAII

Chief, Commodities Branch
Department of Agriculture
Honolulu 96814

IDAHO

Director
Feed and Fertilizer Division
Department of Agriculture
Boise 83702

MONTANA

State Commissioner
Department of Agriculture
Helena 59601
Chemist Dept.
Agr. Experiment Station
Montana State College
Bozeman 59715

NEVADA

Director
Division of Plant Industry
Department of Agriculture
P. O. Box 1209
Reno 89504

NEW MEXICO

Chief, Division
Feed & Fertilizer Control
P. O. Box 366
University Park 88070

OREGON

Chief Chemist
Supervisor of Feed &
Fertilizers
Department of Agriculture
Salem 97310

UTAH

State Chemist
Department of Agriculture
35 State Capitol
Salt Lake City 84114

WASHINGTON

Supervisor
Grain and Chemical Division
Department of Agriculture
P. O. Box 120
Olympia 98501
State Laboratory Branch
P. O. Box 2113
Yakima 98902

WYOMING

Commissioner
Department of Agriculture
Cheyenne 82001
Division of State Laboratories
P. O. Box 3228
Laramie 82071

CANADA

Department of Agriculture
Confederation Building
Ottawa 4, Ontario
District Supervisor
Plant Products Division
Canada Dept. of Agriculture
1101 West Pender Street
Vancouver 1, B. C.

Parmi les membres de l'association en compte :

1. Les agents qui sont chargés par la loi de l'exécution effective des dispositions législatives relatives à la vente des engrais commerciaux et des produits fertilisants.

2. Les suppléants qui peuvent être désignés par les agents cités à la section 1.

3. Les chercheurs employés par les organismes de l'Etat, du Dominion ou du Gouvernement fédéral et qui se livrent à des recherches sur les engrais.

Cet organisme étudie par l'intermédiaire de Comités ou au moyen d'enquêtes tous les problèmes qui peuvent se poser au sujet des divers points énumérés comme objectifs. Il tient une réunion régulière au moins une fois par an. Grâce à leur association, les fonctionnaires des services de contrôle des engrais ont pu travailler à l'amélioration des lois et des définitions et étudier les difficultés de ces dispositions.

Au cours de ces dernières années, l'Association a rédigé un projet de loi modèle sur les engrais « destinés aux Etats en vue d'uniformiser la réglementation des engrais ». Dans la plupart des Etats et des provinces, les dispositions des lois sur les engrais portent sur les mêmes besoins généraux. Cependant les règlements relatifs à l'étiquetage, à l'indication du tonnage et aux tolérances varient considérablement d'une région à l'autre. Il est recommandé que les personnes désireuses de recevoir un exemplaire des lois applicables à la région dans laquelle ils travaillent, écrivent au directeur du service de contrôle des engrais.

Pour de plus amples informations au sujet des Etats qui ne sont pas énumérés dans le présent chapitre, écrire à The Association of American Fertilizer Control Officials, B.D. Cloaninger, Sec.-Treas., Clemson, S.C. L'Association publie tous les ans une brochure officielle qui contient les statuts et les règlements, les termes employés pour les engrais, le rapport annuel et une liste complète des offices du contrôle des engrais des Etats. Le prix du rapport annuel est de 4 dollars.

Il n'y a pas de loi sur le contrôle des engrais aux Iles Hawaii. Les mesures de contrôle relatives à la canne à sucre et aux ananas sont actuellement administrées par l'Hawaiian Sugar Planters Association et par le Pineapple Research Institute of Hawaii. Le Département de l'Agriculture de l'Etat réglemente l'étiquetage et la vente des mélanges d'engrais et de pesticides en application de la loi sur les substances toxiques.

Dispositions de la législation californienne relative aux engrais.

The Field Crops and Agricultural Chemicals unit du Département de l'Agriculture de Californie administre les dispositions

du code agricole relatives aux produits fertilisants, aux produits toxiques (plus communément dénommés pesticides), aux produits nocifs, aux herbicides dangereux, aux résidus de pesticides sur les cultures et aux pratiques de lutte contre les parasites agricoles.

Le bureau central est à Sacramento et il a des bureaux régionaux à Los Angeles, San Francisco et Fresno. Un contrôleur régional est responsable de chaque bureau régional d'où il envoie des inspecteurs pour examiner et prélever des échantillons des produits chimiques visés par ces lois.

Les dispositions statutaires relatives aux produits fertilisants figurent dans l'article sur les produits fertilisants du code agricole de Californie. On peut se procurer des exemplaires de ces textes en s'adressant au Department of General Services, Documents and Publications, Sacramento, Californie 95814.

L'objet essentiel de ces lois est de protéger l'utilisateur. Il vise également à décourager la concurrence déloyale et en conséquence elles sont d'un grand secours pour le fabricant. Ainsi qu'il est indiqué à la section 1021 du code agricole, les dispositions sont applicables à toute substance ou mélange de substances destinées à être utilisées pour favoriser ou stimuler la croissance des plantes, accroître leur productivité, améliorer la qualité des cultures ou produire toute modification chimique ou physique de l'état du sol.

Aux fins de la loi, les différents types d'engrais sont répartis en cinq catégories. Ces catégories ainsi qu'il est indiqué à la section 1022 du code sont les suivantes :

a) « *Engrais commerciaux* ». Ce sont des substances et mélanges de substances contenant 5 % ou davantage d'azote, d'anhydride phosphorique assimilable ou d'oxyde de potassium soluble dans l'eau distillée, séparément, collectivement ou en combinaison, à l'exception des fumiers, foin, pailles, tourbes et terreaux de feuilles.

b) « *Produits minéraux* » à usage agricole. Il s'agit de substances minérales, de mélanges de substances minérales, de mélanges de substances minérales et organiques contenant moins de 5 % d'azote, d'anhydride phosphorique ou d'oxyde de potassium assimilable, séparément, collectivement ou en combinaison à l'exception du sable et de la terre.

c) « *Fumier* ». Ce sont les éjections des animaux domestiques ou des volailles domestiques lorsqu'elles ne sont pas mélangées artificiellement à toute matière autre que celles qui ont été utilisées comme litière pour des usages sanitaires ou pour l'alimentation desdits animaux ou volailles ou pour la conservation du fumier.

d) « *Les produits chimiques auxiliaires* ». Ce sont des substances comme les polyélectrolytes de synthèse, les conditionneurs biocatalytiques de sol, les préparations à base de lignine ou d'humus, les agents mouillants destinés à faciliter la pénétration

des eaux d'irrigation, les inoculants bactériens et les produits similaires destinés à agir sur les sols.

e) « *Les amendements du sol* » sont constitués par toutes les substances, sauf celles figurant dans les subdivisions a), b), c) et d), qui comprennent le foin, la paille, la tourbe, le terreau de feuilles, le sable et les mélanges destinés uniquement à l'empotage des plantes et les substances minérales comme la diatomite, la vermiculite, la perlite, la terre ponce et l'argile qui sont destinées à être utilisées uniquement en raison de leur nature physique et qui se vendent sans référence à leurs constituants chimiques.

Les engrais commerciaux, les minéraux à usage agricole, les produits chimiques auxiliaires doivent tous être enregistrés avant d'être mis en vente dans l'Etat. Le droit d'enregistrement pour les engrais commerciaux est de 50 dollars par exercice financier; il y a aussi une taxe de licence de 14 cents par tonne. Pour les produits minéraux à usage agricole, il y a également un droit d'enregistrement de 50 dollars et une taxe de licence de 5 cents par tonne. Les personnes qui veulent faire enregistrer des engrais commerciaux ou des produits minéraux à usage agricole doivent déclarer tous les trimestres le tonnage de leurs ventes et payer la taxe de licence. L'argent ainsi recueilli est strictement réservé à financer l'application des lois sur les engrais ce qui permet à l'administration responsable de subvenir elle-même à ses besoins. Il n'y a pas de droit d'enregistrement ni de taxe de licence pour les produits chimiques auxiliaires.

Toute personne qui achète des engrais commerciaux ou des minéraux à usage agricole pour ne les céder qu'à des personnes enregistrées peut obtenir, à la place d'un certificat d'enregistrement pour engrais commerciaux ou pour les minéraux à usage agricole un certificat du revendeur, l'autorisant à vendre des engrais commerciaux et autres produits minéraux à usage agricole uniquement à des personnes enregistrées. L'objet de ce genre d'enregistrement est de permettre le passage des produits d'un revendeur à un autre sans qu'il soit nécessaire de payer deux fois la taxe de licence de tonnage, les ventes par les revendeurs à une personne enregistrée sont exemptes de taxe de licence, mais toute vente à une personne non enregistrée donne lieu au paiement d'une telle taxe.

Aucun droit d'enregistrement ou taxe de licence n'est exigible pour la vente de fumier ou d'amendement. L'enregistrement n'est nécessaire que pour les produits chimiques auxiliaires et l'étiquette doit obligatoirement contenir une indication des ingrédients et le mode d'emploi.

Aucun droit d'enregistrement ou taxe de licence n'est exigé pour les amendements comme la tourbe, mais s'ils portent une étiquette, ils doivent être conformes aux indications qui s'y trouvent. Les dispositions générales relatives à la répression des décla-

rations inexactes s'appliquent à ces produits comme aux autres engrais.

Pour l'application des lois sur les engrais, des échantillons sont prélevés conformément à la procédure d'échantillonnage fixée par les règlements sur les engrais qui sont publiés dans le Code administratif de la Californie, Titre 3, Sections 2306 à 2311 inclus. Les échantillons sont analysés et des comptes rendus d'analyse sont délivrés pour chaque échantillon. Un exemplaire du compte rendu d'analyse est envoyé au fabricant, un autre à tous les négociants intéressés et un troisième exemplaire à tout acheteur intéressé si le produit représenté par l'échantillon se trouve entre les mains d'un acheteur.

Sur chaque fraction de 950 tonnes vendues annuellement dans l'Etat, on prélève, pour analyse, environ une tonne d'échantillons. Ce chiffre représente une moyenne globale. En fait les engrais mélangés sont échantillonnés avec une plus grande fréquence que certains engrais simples et que le gypse en vrac. Le Bureau s'efforce d'obtenir au moins un échantillon par vendeur enregistré tous les ans en vue de le représenter. Une publication annuelle intitulée *Fertilizing Materials*, qui indique le nombre d'échantillons prélevés et des statistiques de tonnage peut être fournie gratuitement par la Field Crops and Agricultural Chemicals unit du State Department of Agriculture 1220 N Street Sacramento, California 95814.

La section 1034 du Code Agricole établit les tolérances suivantes pour les engrais commerciaux : Azote 0,5 %, acide phosphorique assimilable 0,7 % et potasse 0,5 %.

La section 1035 du Code Agricole établit une tolérance de 5 % du pourcentage garanti de chaque ingrédient dans un minéral à usage agricole. Ni dans les engrais commerciaux, ni dans les minéraux à usage agricole, la présence d'une plus forte quantité que prévue d'un ingrédient n'est considérée comme compensant l'insuffisance d'un autre. Lorsque les insuffisances sont découvertes, tout doit être mis en œuvre pour en déceler la cause.

La vente d'un engrais commercial ou d'un produit minéral à usage agricole incomplets ou marqués d'une façon erronée est considérée comme infraction à la loi. Le non-respect de l'une des dispositions de la loi est considéré comme un délit et la loi stipule qu'après un procès, le coupable devra payer une amende d'au moins 50 dollars ainsi que les dépens pour le premier délit et au moins 100 dollars ainsi que les dépens pour chaque délit ultérieur. L'amende maximale est de 500 dollars et six mois de prison pour infraction. La loi stipule en outre que le directeur peut, après avoir entendu le coupable, annuler l'enregistrement ou refuser d'enregistrer toute personne qui vend ou propose de vendre des engrais commerciaux, des produits minéraux nuisibles pour les plantes lorsqu'ils sont appliqués suivant les directives fournies ou

qui sont réputés n'avoir que peu ou aucune valeur pour l'usage auquel ils sont destinés, ou au sujet desquels des affirmations fausses ou erronées sont faites explicitement ou implicitement. L'autorisation accordée à une personne qui commet systématiquement des infractions aux dispositions de la loi peut lui être retirée.

Les combinaisons d'engrais et de pesticides doivent être conformes à deux séries de lois de la Californie sur l'enregistrement et l'étiquetage ainsi qu'une loi fédérale s'ils font l'objet d'un commerce entre États. Les mélanges relèvent de la juridiction of the Economic Poisons Article ainsi que du Fertilizing Materials Article du Code Agricole de la Californie. Le Code exige que ces produits soient enregistrés en même temps comme pesticides et comme engrais commerciaux ou minéraux agricoles suivant leur teneur en éléments fertilisants.

Si les produits sont vendus et livrés d'un État à un autre, un enregistrement fédéral est également nécessaire conformément à la loi fédérale sur les insecticides, fongicides et raticides administrée par le U.S. Department of Agriculture.

L'étiquetage des combinaisons d'engrais et de pesticides est nécessairement plus complexe que celui qui est nécessaire pour les engrais ordinaires. Il faut tenir compte 1°) des directives relatives à l'emploi sur des cultures, la quantité à appliquer et l'époque de l'application; 2°) des limitations imposées qui ont pour objet d'empêcher qu'il y ait des résidus de pesticides inacceptables dans ou sur la culture au moment de la récolte; 3°) des lois fédérales et d'État relatives à l'étiquetage, pour signaler les dangers que présente la manutention de ces produits pour les personnes, les cultures ou les animaux et 4°) il faut fournir deux déclarations de la composition garantie c'est-à-dire l'analyse garantie des engrais et la déclaration des ingrédients actifs et inertes contenus dans le pesticide.

Si l'engrais est fortement toxique ou caustique pour l'homme, par exemple, lorsqu'il s'agit d'ammoniac anhydre, d'ammoniaque en solution aqueuse, d'acide phosphorique, d'anhydride sulfureux et d'acide sulfurique, il doit porter une étiquette metten en garde les usagers, conformément aux dispositions de la loi.

Les dispositions légales relatives à cet étiquetage relèvent des organismes suivants :

1. Federal Hazardous Substances Labeling Law U.S. Department of Health, Education and Welfare, Washington D.C. 20025.
2. The General Industrial Safety Orders, State Division of Industrial Safety, 455 Golden Gate Avenue, San Francisco, California 94101.
3. The Poison Law, State Board of Pharmacy, 507 Polk Street, San Francisco, California 94101.

GLOSSAIRE DES TABLEAUX TERMES ET CONVERSIONS UTILES

Les renseignements suivants sont d'une application générale dans l'industrie des engrais et dans les exploitations.

Ion. — L'ion est un atome ou groupe d'atome portant une charge électrique. Par exemple, l'ion sodium a une charge positive (Na^+). L'ion chlore a une charge négative (Cl^-). L'ion hydrogène est aussi un atome avec une charge électrique positive (H^+). Nous indiquons ci-après le groupement des ions positifs ou cations dont il est habituellement question dans la terminologie des produits chimiques, des sols et des engrais et des ions négatifs ou anions.

Cations. — Les ions calcium, magnésium, sodium, ammonium et potassium sont des cations ou constituants de bases. Le calcium, magnésium et le potassium sont des éléments fertilisants indispensables aux plantes. Les recherches effectuées récemment indiquent que le sodium doit être rangé parmi les éléments nutritifs essentiels des plantes. Les cations sont indiqués en équivalents par million (1).

Anions. — Parmi les anions il y a lieu de citer le carbonate, le bicarbonate, le sulfate, le chlorure, le nitrate et le phosphate. Le carbonate rend une eau fortement alcaline; le bicarbonate la rend moyennement alcaline. La quantité totale et les proportions relatives de ces deux produits déterminent dans une large mesure l'alcalinité totale ainsi que le pH de l'eau. Le soufre et l'azote sont fournis par le sulfate et le nitrate. Ce sont des éléments fertilisants essentiels et il est désirable que les eaux d'irrigation en contiennent une quantité raisonnable. Le calcium et le soufre constituent le sel légèrement soluble connu sous le nom de gypse qui a une action favorable sur un grand nombre de sols.

Les anions sont indiqués en équivalents par million.

Termes utilisées dans les procès-verbaux d'analyse. Plusieurs expressions sont utilisées dans les procès-verbaux d'analyse de l'eau. Les termes les plus utiles sont les milli-équivalents par litre (m.e/l). Les sels sont constitués par une combinaison de cations (sodium, calcium, magnésium) et d'anions (chlorure, sulfate, carbonate et bicarbonate). Ces cations et ces anions se combinent en rapport de poids précis. Par exemple dans le sel de cuisine ordinaire, le chlorure de sodium (NaCl), un cation de sodium de 23 g se combinera un anion de chlorure de 35,5 g.

Le poids équivalent d'un élément est le poids équivalent en pouvoir réactif du poids atomique d'hydrogène. Le poids équivalent en gramme d'un acide, d'une base ou d'un sel impliqué dans une neutralisation ou une précipitation représente le poids exprimé en grammes de l'équivalent de la substance nécessaire pour

neutraliser ou précipiter un gramme d'ion d'hydrogène (c'est-à-dire 1,008 gramme H⁺).

En conséquence, un équivalent de sodium est de 23 grammes, qui se combinera avec son équivalent chimique d'anion chlorure de 35,5 grammes ou l'anion de sulfate (SO₄) de 48 grammes ou de bicarbonate (HCO₃) de 61 grammes. Un équivalent milligramme (m.e.) représente le millième d'un équivalent et dans le cas du chlorure de sodium, il serait de 0,023 gramme de sodium et 0,0355 gramme de chlorure dans un litre d'eau.

Récemment, le terme équivalent par million a été utilisé pour les résultats des analyses d'eau. Cette méthode est pratiquement identique à celle de l'équivalent en milligramme et pour toutes les fins pratiques, ces termes sont interchangeable.

Naguère, et dans une certaine mesure encore maintenant, les analyses d'eau étaient exprimées en parties par million (p.p.m.). Ceci représente la concentration d'une partie de sel, ou d'un sel simple, ou cation ou d'un anion dans un million de parties d'eau. Pour le chlorure de sodium, cela représente 450 g de sel, dans 450 000 litres d'eau, ou pour le cation 450 g d'élément pour 450 000 litres d'eau.

Cette façon de chiffrer les résultats d'analyses ne tient pas compte de l'équivalent chimique ou de la combinaison des poids d'un sel ou d'un constituant de sel, le chlorure de sodium (NaCl), ayant un poids équivalent de 58,5 et le cation calcium de 20. Pour comparer ou équilibrer la concentration de divers cations et anions dans une eau, il est souhaitable de convertir les parties par million en équivalent, en milligramme. Cette conversion se fait facilement en divisant les parties par million par le poids équivalent du constituant sel. Les poids équivalents des cations et anions qui sont généralement déterminés dans une eau d'irrigation sont les suivants :

<i>Cations</i>	<i>Poids équivalents</i>	<i>Anions</i>	<i>Poids équivalents</i>
Ammonium (NH ₄)	17,032	Carbonate (CO ₃)	30
Calcium (Ca)	20,04	Bicarbonate (HCO ₃)	61,01
Magnésium (Mg)	12,16	Sulfate (SO ₄)	48,03
Sodium (Na)	22,997	Chlorure (Cl)	35,45
Potassium (K)	39,096	Nitrate (NO ₃)	62
		Phosphate (PO ₄)	31,65

Si une eau contient 69 parties par million de sodium, et 106,5 parties par million de chlorure, l'équivalent en milligramme serait de :

$$\begin{aligned} 106,5/35,45 &= 3 \text{ m.e. de chlorure par litre.} \\ 69/23 &= 3 \text{ m.e. de sodium par litre,} \end{aligned}$$

Le sel ainsi obtenu est le chlorure de sodium (sel de cuisine) car les équivalents milligrammes du sodium et des chlorures sont les mêmes.

Les *équivalents milligrammes* sont transformés en parties par million en multipliant les équivalents milligramme par le poids équivalent du cation ou de l'anion.

Si une analyse est exprimée en pourcent, pour la transformer en parties par million il faut multiplier par 10 000 (par exemple 0,005 % = 50 ppm).

Pour transformer les parties par million en pourcentage il faut diviser par 10 000 (par exemple 0,10 % = 1 000 ppm).

La *conductivité électrique*, conductance électrique qui est l'inverse de la résistance est une mesure utile car elle augmente avec la teneur en sel. La conductivité est exprimée en ohms réciproques ou mhos avec une dimension de mesure mhos/cm. CE est le symbole utilisé pour représenter la conductivité électrique. Comme les valeurs de CE sont presque toujours inférieures à 1 mho par cm, il est habituel de transformer ces mesures en millimhos ou en micromhos pour obtenir un chiffre qui exprime mieux des données.

$$\begin{aligned} \text{CE} \times 10^3 &= \text{CE} \times 1\ 000. \text{ Cette unité est appelée un millimho.} \\ \text{CE} \times 10^6 &= \text{CE} \times 1\ 000\ 000. \text{ Cette unité est appelée un micromho.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A titre d'exemple, si nous avons une valeur de } 0,0152 \text{ mhos} \\ \text{CE} &= 0,0152 \text{ mhos,} \\ \text{CE} \times 10^3 &= 15,2 \text{ millimhos,} \\ \text{CE} \times 10^6 &= 15\ 200 \text{ micromhos.} \end{aligned}$$

Certains chercheurs utilisent la conversion $\text{CE} \times 10^5$ ou $\text{K} \times 10^5$. Généralement, pour les analyses de sol l'unité $\text{CE} \times 10^3$ appelée millimho/cm est utilisée comme étant la plus pratique pour exprimer la salinité des solutions de sol.

$\text{CE} \times 10^6$ est largement utilisé pour exprimer la conductivité des solutions diluées et de l'eau d'irrigation.

Alors qu'il n'y a pas de rapport constant entre la conductivité électrique et les autres mesures de concentration totale, on peut utilement employer les valeurs suivantes: ($\text{CE} \times 10^6$ à 25 °C) divisé par 100 est approximativement égal au nombre total d'anions ou de cations en équivalents par million. $\text{CE} \times 10^6$ multiplié par 0,7 est à peu près l'équivalent des matières solides dissoutes en parties par million.

Pourcentage de sodium. — Pour déterminer le pourcentage de sodium d'une eau, les résultats de l'analyse doivent être indiqués en équivalents par million. On divise ensuite la quantité de

sodium par la somme des quantités de calcium, magnésium, sodium et potassium et le résultat est exprimé en pourcentage.

$$\frac{\text{Sodium} \times 100}{\text{Na} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}} = \% \text{ de sodium}$$

Poids équivalent des éléments.

C'est le poids d'un élément qui est l'équivalent au point de vue capacité de combinaison d'un atome-gramme d'hydrogène. L'équivalent gramme de l'oxygène est le poids de 8 g qui se combine avec 1,008 gramme d'hydrogène. En général, le poids équivalent d'un élément est le poids de cet élément qui se combine avec le poids équivalent de n'importe quel autre élément.

Le poids de combinaison qui est le plus exact est l'équivalent gramme d'un élément qui se combine avec 1,008 g d'hydrogène ou le poids qui peut remplacer l'hydrogène dans un composé.

La valence est capacité de combinaison de l'atome d'un élément. La valence est exprimée par un petit nombre entier. Par exemple, la valence de l'hydrogène est fixée à 1. Le chlore a une valence de 1 également. Par exemple, l'acide chlorhydrique montre qu'un atome de chlore est combiné avec un atome d'hydrogène. Les éléments ont une valence variable et peuvent former plus d'un composé. Il s'ensuit qu'un élément a différents poids équivalents dans des composés divers. (Le manque de place ne nous permet pas d'étudier plus à fond ce sujet et il est donc recommandé de se reporter à des manuels de chimie générale).

Les poids atomiques des éléments qui se trouvent dans les engrais communs sont les suivants :

Noms	Symbole	Poids atomique	Noms	Symbole	Poids atomique
Aluminium	Al	26,98	Magnésium	Mg	24,32
Bore	B	10,82	Manganèse	Mn	54,94
Calcium	Ca	40,08	Molybdène	Mo	95,95
Carbone	C	12,011	Azote	N	14,008
Chlore	Cl	35,457	Nikel	Ni	58,71
Cobalt	Co	58,94	Oxygène	O	16,000
Cuivre	Cu	63,54	Phosphore	P	30,975
Fluore	F	19,00	Potassium	K	39,100
Hydrogène	H	1,008	Sodium	Na	22,991
Iode	I	126,91	Soufre	S	32,066
Fer	Fe	55,85	Zinc	Zn	65,38

Extrait de saturation. — C'est la solution obtenue par la filtration sous pression ou sous vide d'une pâte de sol qui a été saturée en ajoutant juste assez d'eau distillée et en l'agitant pour remplacer tout l'air contenu dans les espaces lacunaires.

Tableau I. — Symboles chimiques, poids équivalents et noms communs des ions, sels et amendements chimiques (3).

Symbole chimique ou formule	Equivalent en gramme	Nom commun
IONS		
Ca ⁺⁺	20,04	Ion calcium
Mg ⁺⁺	12,16	Ion magnésium
Na ⁺	22,991	Ion sodium
K ⁺	39,10	Ion potassium
Cl ⁻	35,46	Ion chlorure
SO ₄	48,03	Ion sulfate
CO ₃	30	Ion carbonate
HCO ₃	61,02	Ion bicarbonate
SELS		
CaCl ₂	55,49	Chlorure de calcium
CaSO ₄	68,07	Sulfate de calcium
CaSO ₄ · 2H ₂ O	26,09	Gypse
CaCO ₃	50,04	Carbonate de calcium
MgCl ₂	47,62	Chlorure de magnésium
MgSO ₄	60,19	Sulfate de magnésium
MgCO ₃	42,16	Carbonate de magnésium
NaCl	58,45	Chlorure de sodium
NaSO ₄	71,02	Sulfate de sodium
Na ₂ CO ₃	52,99	Carbonate de sodium
NaHCO ₃	84,01	Bicarbonate de soude
KCl	74,56	Chlorure de potassium
K ₂ SO ₄	87,13	Sulfate de potassium
K ₂ CO ₃	69,10	Carbonate de potassium
KHCO ₃	100,12	Bicarbonate de potassium
AMENDEMENTS CHIMIQUES		
S	16,03	Soufre
SO ₂	32,03	Anhydride sulfureux
H ₂ SO ₄	49,041	Acide sulfurique
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	111,08	Sulfate d'aluminium (cristallisé)
FeSO ₄ · 7H ₂ O	139,21	Sulfate de fer (ferreux)

Autre méthode pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation ⁵.

« La plupart des eaux d'irrigation contiennent une quantité variable de sels minéraux en solution. Ceux-ci peuvent être concentrés dans le sol en quantité nocive. L'effet probable de l'emploi d'une eau peut être prédit en partie en faisant une analyse chimique de celle-ci. L'effet d'une eau déterminée dépend des conditions dans lesquelles elle est employée, du type de sol sur lequel elle est utilisée, de la nature de la culture, de la hauteur des pluies, et autres facteurs climatiques, de la quantité utilisée et de l'état satisfaisant du drainage. »

Les six premières colonnes indiquent les concentrations totales en sel des différentes unités de la façon suivante :

1. Millimhos par centimètre de conductivité électrique à 25 °C.
2. Micromhos par centimètre de conductivité électrique à 25 °C.
3. Equivalent par million e.p.m. (expérimenté en milli-équivalents par litre m.e./l).
4. Parties par million ppm.
5. Grains par gallon gr/gal.
6. Tonnes par acre pied t.a.f. La septième colonne indique le bore en ppm; La huitième colonne indique le sodium en pourcent du calcium plus le magnésium, plus le sodium exprimé en e.p.m. La neuvième colonne indique la proportion dans laquelle le carbonate plus le bicarbonate sont supérieurs au calcium plus magnésium, dosés l'un et l'autre en e.p.m. La dixième colonne indique la quantité de gypse pur nécessaire pour remédier au Na_2CO_3 résiduel dans chaque acre pied d'eau (1 233 000 l) utilisée. La dernière colonne indique la quantité de gypse pur ajoutée toutes les heures à l'eau par 370 litres d'eau de pompage par heure.

« Ce graphique doit être employé sous certaines réserves. Une eau sera jugée d'après l'une de ces colonnes. Si elle atteint un niveau élevée dans plusieurs colonnes, elle sera généralement considérée comme plus mauvaise que si elle n'est élevée que dans une colonne. La sensibilité des cultures est variable. Ce que l'on peut appeler une eau bonne pour une culture peut être une eau médiocre ou très médiocre pour une autre. L'expérience locale doit servir de guide pour déterminer à quel niveau d'une colonne il faut rechercher une meilleure eau, adopter une culture plus tolérante, employer des méthodes spéciales d'irrigation ou adopter un système de traitement de l'eau ou du sol.

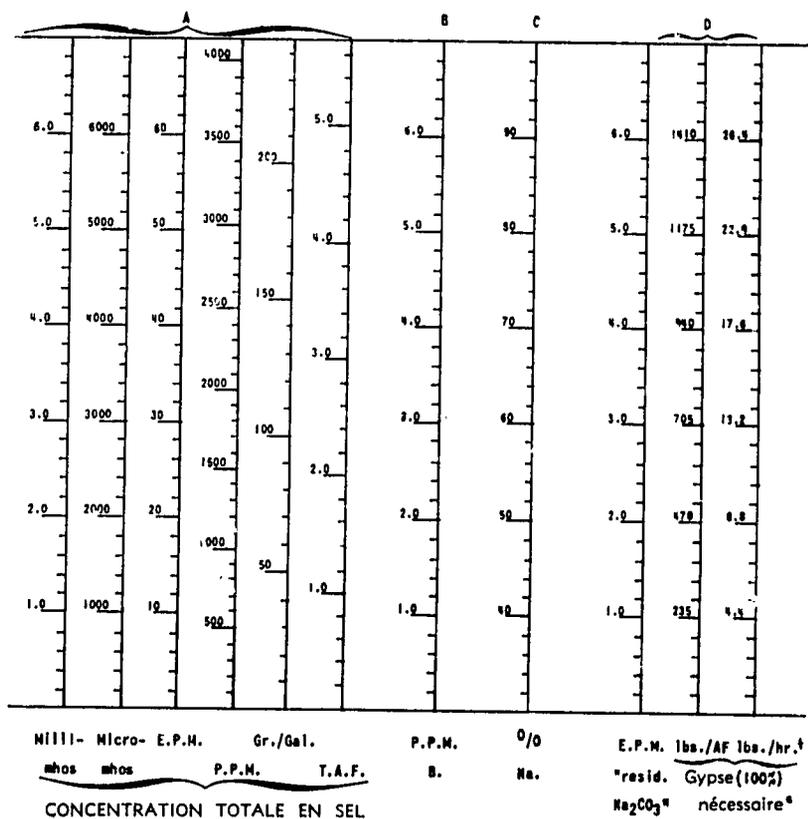
Conversions utiles

Il est souvent très important de faire des expériences pour déterminer les besoins du sol et des cultures en éléments fertilisants supplémentaires. Ceci peut se faire à même dans le champ, dans la serre ou dans des petites parcelles expérimentales à la ferme. Les données suivantes sont utiles pour calculer les taux d'application :

- 1 acre-pied de terre = 1 814 000 kilos.
- 1 tonne à l'acre = 20,8 g par pied carré = 224 g/m².
- 1 tonne à l'acre = 1 000 g par 4,459 m².

1 tonne à l'acre sur une profondeur de 15 cm = 1 g par 1000 g de sol.
 1 g par pied carré = 43 kilos à l'acre = 106 kg à l'hectare.
 1 lb par acre = 0,0104 g par pied carré = 0,11 g par m².
 100 lbs à l'acre = 1,04 g par pied carré = 11 g par m².
 Grammes par pied carré × 96 = livres à l'acre.
 Grammes par 16 pieds carrés × 6 = livres à l'acre.
 Grammes par 20 pieds carrés × 4,8 = livres à l'acre.
 Lbs par quadrat de 21,78 pieds carrés = tonnes à l'acre.

GRAPHIQUE INDIQUANT LA QUALITÉ DE L'EAU



* Pour enlever Na₂CO₃ résiduel

† Taux de pompage 100 g.p.m.

A et B : plus les valeurs de ces colonnes sont élevées, plus il faut un excès d'eau.

C et D : rechercher s'il n'y a pas un obstacle à la perméabilité.

Que faut-il entendre par capacité de rétention de l'eau de votre sol?

Les sols sableux contiennent de 12,5 à 38 mm d'eau par 30 cm; les sables limono-argileux retiennent de 25 mm à 63 mm d'eau; les limons et limons argileux 63 mm et les argiles de 76 mm à 101 mm par 30 cm. Ce sont là les résultats les plus exacts que vous puissiez obtenir en laboratoire.

Quelle est la profondeur de la zone des racines de votre culture? Les pâturages, les cultures maraîchères, les pommes de terre, les betteraves sucrières et les céréales à petits grains ont des racines qui s'enfoncent de 45 cm à 1,20 m, le coton et le maïs de 1,20 m à 1,50 m, la luzerne et les arbres fruitiers de 1,50 m à 2,40 m et davantage.

Le taux de pénétration de l'eau varie de 2,5 mm à 76 mm par heure et on arrive à le déterminer généralement grâce à l'expérience acquise. Cependant, les autorités agricoles locales peuvent vous fournir des données plus exactes sur les taux d'absorption.

Ceci étant connu, supposons alors que vous cultiviez du coton sur du sable limono-argileux. Quelle quantité d'eau faudra-t-il et avec quelle vitesse?

Par exemple, si votre sable limono-sableux retient 5 cm d'eau par 30 cm, il vous faudra alors 25 cm d'eau ou 10 acres-pouces (1 032 000 litres d'eau) (1,50 m de profondeur pour les racines par 5 cm d'eau par pied).

Si le taux de pénétration de l'eau est de 5 cm par heure, il faudra alors 5 heures pour irriguer un acre (0,4 ha) et le débit devra être de 2 acres-pouces (204 000 litres) à l'heure.

Comme 1 700 litres à la minute représentent 1 acre-pouce à l'heure, le débit nécessaire pour irriguer un acre sera de $2 \times 1\,700$ soit 3 400 litres par minute. Un débit plus élevé serait un gaspillage.

Bien entendu, pour vérifier d'une manière complète vos calculs il faut déterminer l'humidité du sol avec un tensiomètre ou au moyen d'une sonde. Si la boue retirée de la zone des racines fait une boulette solide ayant une apparence nette lorsqu'on la traverse avec une lame de couteau ou l'ongle du pouce, l'humidité est suffisante. Si la boulette se réduit en miettes, c'est qu'il n'y a pas assez d'eau. Il s'agit de déterminer quelques jours à l'avance la quantité d'eau qui peut être ajoutée à la culture lorsqu'elle en a besoin. (California Farmer, 20 mai 1950.)

Taux d'application des solutions d'engrais.

Les taux d'application des solutions d'engrais sont calculés d'après le nombre d'hectares à irriguer à l'heure multipliés par le nombre de kilos d'éléments fertilisants que l'on désire mettre

à l'hectare, divisé par le nombre de kilos d'éléments fertilisants par litre de solution.

On obtient ainsi le nombre de litres nécessaires par heure. Ce chiffre peut être converti en millilitres par minute pour calibrer le débit effectif. Le tableau suivant donne une méthode utile pour déterminer le débit.

TABLEAU INDIQUANT LE DÉBIT DES ENGRAIS LIQUIDES

Litres nécessaires par heure	Secondes pour remplir un récipient de 115 g	Secondes pour remplir un récipient de 230 g
1,87	225	
3,78	112	
7,5	56	
11,3	38	76
15,1	28	56
18,9	22	44
22,7	18	36
26,4	16	32
30,2	14	28
34	12	24
37	11	22
45,4		18
52,9		16
60,5		14
68,1		12
75,7		11

Pour calculer le taux d'application nécessaire, on peut utiliser la formule suivante :

Superficie \times litres à l'hectare : temps nécessaire = litres par heure.

Par exemple pour irriguer 4 ha en 10 heures en appliquant 90 kilos d'engrais par 0,4 ha on obtient la formule suivante :

$4 \text{ ha} \times 225 \text{ kg à l'ha} = 900 \text{ kg pendant 10 heures} = 90 \text{ kg à l'heure d'engrais à appliquer.}$

Distribution des engrais par un système d'irrigation par aspersion ⁸

La quantité d'engrais à appliquer pour chaque réglage latéral peut être déterminée facilement au moyen du tableau suivant. Dans la colonne de droite du tableau on indique la quantité d'engrais à appliquer avec un taux de 45 kg à l'acre pour un réglage latéral de 180 m. Des taux d'applications plus faibles ou plus forts peuvent être calculés à partir de ces chiffres, comme l'indique l'exemple donné sous le tableau.

Quantité d'engrais nécessaire par réglage latéral

Longueur latérale en mètres	N° de buses pour un espacement de 120 m	Superficie couverte avec un réglage de 18 m, en acres	Quantité appliquée par réglage pour un taux de 45 kg à l'acre
48	4	0,22	10 kg
73	6	0,33	15 kg
97,5	8	0,44	20 kg
122	10	0,55	25 kg
146	12	0,66	30 kg
170	14	0,78	35 kg
195	16	0,89	40 kg
219	18	1,00	45 kg
244	20	1,10	50 kg
268	22	1,21	55 kg
292	24	1,32	60 kg

EXEMPLE

Un agriculteur désire appliquer des engrais au taux de 300 lbs à l'acre (136 kg à l'acre), (286,5 kg à l'ha). Il se déplace latéralement de 122 m et de 127 m le long de la ligne principale pour chaque réglage. Combien de livres d'engrais devra-t-il appliquer pour chaque réglage latéral?

Si l'on considère la colonne des quantités à droite du tableau, pour une longueur de 122 m, nous constatons qu'il faut appliquer 25 kg d'engrais par réglage afin d'avoir un taux de 45 kg à l'acre. Si l'on multiplie 25 par 3 on obtient 75 kg, qui représente la quantité d'engrais à appliquer pour chaque réglage latéral à raison d'un taux d'application de 300 lbs (136 kg à l'acre).

Déplacements latéraux autres que 27 mètres

Pour obtenir la quantité nécessaire pour des déplacements latéraux, différents de 27 m, il faut multiplier la quantité indiquée dans le tableau précédent par un facteur de correction de la façon suivante :

Déplacements latéraux le long de l'allée principale en mètres	Facteur de correction	Déplacements latéraux le long de l'allée principale en mètres	Facteur de correction
13	0,500		
18	0,667	36	1,330
22	0,835	45	1,667

**TABLEAU SERVANT AU CALIBRAGE DES MACHINES
DESTINÉES A L'APPLICATION DES ENGRAIS**

	45 cm	60 cm	75 cm	90 cm	120 cm
113 kg	0,4 g	0,4 kg	0,6 kg	0,6 kg	0,9 kg
226 kg	0,6 kg	0,9 kg	1,1 kg	1,5 kg	2 kg
340 kg	1,1 kg	1,3 kg	1,5 kg	2 kg	8,1 kg
453 kg	1,3 kg	2 kg	2,5 kg	3,1 kg	4 kg
679 kg	2,2 kg	3 kg	3,9 kg	4 kg	6,3 kg
1 006 kg	3 kg	4,3 kg	4,9 kg	6 kg	8,1 kg
1 232 kg	3,9 kg	5,1 kg	6,5 kg	7,7 kg	10,4 kg
1 359 kg	4,8 kg	6,3 kg	7,9 kg	9,5 kg	12,7 kg

Quantité d'engrais par 30 mètres de rangées pour divers taux d'application.

Quantité approximative par 30 mètres pour des rangées espacées différemment.

Taux à l'acre :

Par exemple, si les rangées sont écartées de 90 cm et si l'engrais doit être appliqué au taux de 450 kg à l'acre vous constatez qu'il vous faut 3 kg par 30 mètres de rangées. On peut régler par tâtonnement l'épandeur à engrais de façon à ce qu'il utilise 3 kg par 30 m. L'engrais sera ensuite enfoui à raison de 450 kg à l'acre (0,4 ha).

Mesure de la température.

La température sert à mesurer la chaleur. Les deux points qui sont communément utilisés pour les échelles thermométriques sont le point de congélation et le point d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique.

Sur l'échelle centigrade (°C), le point de congélation de l'eau est 0°, et le point d'ébullition 100° à la pression atmosphérique. L'espace compris entre ces deux points est divisé en 100 parties égales et les marques se contiennent au-dessus et au-dessous des points indiqués.

Sur l'échelle Fahrenheit (°F), le point de congélation de l'eau est 32° et le point d'ébullition 212°. L'espace entre ces deux points est divisé en 180 parties égales et les marques sont poursuivies au-dessus et au-dessous de ces points.

Il y a 100 intervalles centigrade ou 180 intervalles Fahrenheit entre les points de congélation et d'ébullition de l'eau. En conséquence 100 intervalles °C = 180 intervalles Fahrenheit. Il s'ensuit que :

$$1 \text{ intervalle centigrade} = 180/100 = 9/5 \text{ de Fahrenheit}$$

$$1 \text{ intervalle Fahrenheit} = 100/180 = 5/9 \text{ de centigrade}$$

Comme le point de congélation de l'eau est de 0° sur l'échelle centigrade et 32° sur l'échelle Fahrenheit, soit 0 °C = 32 °F, pour

calculer ou convertir un type de mesure dans l'autre, on utilise les formules suivantes, pour passer d'une échelle à l'autre :

$$\frac{(^{\circ}\text{F} - 32) \times 5}{9} = ^{\circ}\text{C} \qquad \frac{^{\circ}\text{C} \times 9}{5} + 32 = ^{\circ}\text{F}$$

En Amérique, nous sommes habitués à lire des thermomètres qui indiquent la température en degrés Fahrenheit. Les températures centigrades sont utilisées généralement pour les travaux scientifiques, car elles sont fondées sur le système décimal.

Poids et mesures.

En chimie et en physique, les calculs se réfèrent à différents types de mesures appelés dimensions (longueur, vitesse, volume, masse, énergie). Par exemple, pour les dimensions de longueur, nous utilisons le pouce, le yard, le mile, le centimètre, le mètre et le kilomètre. La longueur, la masse et l'heure sont des dimensions principales.

Le système métrique est le système légal dans tous les pays sauf la Grande-Bretagne et les Etats-Unis. On l'appelle le système centimètre-gramme-seconde ou cgs d'après ces trois unités de référence, le centimètre (cm) pour la longueur, le gramme (g) pour la masse et la seconde (s) pour l'heure. Tous les savants utilisent le système métrique.

Le système américain ou britannique est le système légal pour ces deux pays. Les unités de référence sont le pied pour la longueur, la livre pour la masse et la seconde pour l'heure.

Chaque système est fondé sur des normes précises des mesures qui ont été mises au point au cours des âges. Comme le système métrique comporte l'utilisation du système décimal, il se prête à des calculs plus simples. Historiquement, le mètre est la quarante millionième partie du méridien terrestre, c'est-à-dire qu'il faut 10 000 000 de mètres pour joindre l'Equateur au Pôle.

L'étalon métrique de longueur est 1 mètre (m) ou 100 centimètres (cm). Il est divisé en 1 000 millimètres (mm). Le millimètre est à son tour divisé en 1 000 parties égales appelées microns, un micron représentant 1 millionième de mètre. L'unité micron est utilisée pour les moyens microscopiques mais pour les dimensions ordinaires le mètre est plus commode.

De cette unité fondamentale du système métrique, le mètre, nous déduisons les unités de capacité (litre) et le poids (gramme). Ces trois unités sont toutes liées très simplement les unes aux autres. A titre pratique, un décimètre cube (1000 cm cube) est égal à un litre et un litre d'eau est égal à un kilo (1 000 grammes):

Les tableaux métriques sont formés en combinant les mots mètre, gramme et litre avec les six préfixes indiqués ci-dessous :

<i>Préfixes</i>	<i>Signification</i>	<i>Notation</i>
Milli	un millième	0,001
Centi	un centième	0,01
Déci	un dixième	0,1
Unité	un	1
Déca	dix	10
Hecto	cent	100
Kilo	mille	1 000

MESURES DE LONGUEUR

<i>Dénominations métriques et valeurs</i>	<i>Equivalents en mesures utilisées</i>
Myriamètre 10 000 m	6,2137 miles
Kilomètre 1 000 m	0,62137 miles ou 3,280 pieds 10 pouces
Hectomètre 100 m	328 pieds et 1 pouce
Décamètre 10 m	393,7 pouces
Décimètre 0,1 m	3,937 pouces
Centimètre 0,01 m	0,3937 pouce
Millimètre 0,001 m	0,0394 pouce

Facteurs de conversion :

Un pouce = 0,0254 mètre
 Un pied = 0,3048 mètre
 Un mile = 1 609,35 mètres.

Abéviations :

cm = centimètre;
 dm = décimètre;
 km = kilomètre;
 m = mètre;
 mm = millimètre.

MESURES DE CAPACITE

<i>Noms</i>	<i>Nombre de litres</i>	<i>Mesures cubiques</i>		<i>Mesures pour les liquides</i>
Kilolitre	1 000	1 mètre	1,308 yards cube	264,17 gal.
Hectolitre	100	0,1 m	2 bu.3,35 pks	26,417 gal.
Décalitre	10	10 dm	9,08 quarts	2,6417 gal.
Litre	1	1 dm	0,908 quart	1,0567 qts.
Décilitre	0,1	0,1 dm	6,1023 pouce-cube	0,845 gill.
Centilitre	0,01	10 cm	0,6102 pouces-cube	0,338 fl'd oz.
Millilitre	0,001	1 cm	0,061 pouce-cube	0,27 fl'd dr.

Facteurs de conversion :

Un pouce-cube =	0,0164 litre
Un quart (produit sec) =	1,1011 litre
Un quart (liquide) =	0,9463 litre
Un gallon standard (231 pouces-cube) =	3,785 litres
Un gallon impérial (277 pouces-cube) =	4,543 litres
Un pied-cube =	28,32 litres
Un pouce-cube =	16,39 cm cube
Une once fluide =	29,57 centimètres

SYSTEME METRIQUE

POIDS

Noms	Nombre de grammes	Poids de la quantité d'eau par densité maximale	Poids avoir du pois
Tonne	1 000 000	1 mètre cube	2204,6 lbs.
Quintal	100 000	1 hectolitre	220,46 lbs.
Myriagramme	10 000	10 litres	22,046 lbs.
Kilogramme ou kilo ..	1 000	1 litre	2,2046 lbs.
Hectogramme	100	1 décilitre	3,5274 oz.
Décagramme	10	10 centimètres	0,3527 oz.
Gramme	1	1 centimètre	15,432 grs.
Décigramme	0,1	0,1 cm ³	1,5432 grs.
Centigramme	0,01	10 millilitres cube	0,1543 gr.
Milligramme	0,001	1 millimètre cube	0,0154 gr.

Facteurs de conversion :

Un grain =	0,0648 gramme
Une once avoirdupois =	28,3495 grammes
Une once troy =	31,103 grammes
Une livre =	453,59 grammes.

Abréviations :

cg =	centigramme
dg =	décigramme
g =	gramme
kg =	kilogramme
mg =	milligramme.

MESURES DE SURFACE

Hectare	10 000 m ²	2,471 acres
Are	100 m ²	119,6 yards carrés
Centiare	1 m ²	1,550 pouce carré

Facteurs de conversion :

Un pouce carré =	0,06452 mètre carré
Un yard carré =	0,836 mètre carré
Un acre =	4,047 mètres carrés

Toutes les mesures britanniques de longueur peuvent être transformées en unités métriques au moyen de ce facteur de conversion :

1 pouce = 2,540005 cm, ou simplement 2,54 cm

L'unité britannique de volume est le pied cube (ou ft ou ft³), soit 1 728 pouces cubes (cu.in. ou in³). Une autre mesure liquide est le gallon U.S. qui représente 231 pouces. Toutes ces mesures peuvent être facilement converties en équivalent métrique en utilisant un facteur de 2,54 cm par pouce.

Les mots décamètre et dékamètre peuvent être utilisés indifféremment. Il en est de même pour le décagramme mais le U.S. Bureau Standard recommande d'employer la lettre K pour éviter une confusion avec les mots décimètre et décigramme.

POIDS AVOIRDUPOIDS

La tonne courte U.S. représente 2 000 livres, la tonne longue britannique 2 240 livres et la tonne métrique (1 000 kilos) représente 2 204,6 livres. La tonne longue est également utilisée aux États-Unis et c'est une mesure de poids spécialement employée par les Compagnies de navigation et les douanes.

Ouvrages cités

1. Wilcox, L. V. "Explanation and Interpretation of Analysis of Irrigation Waters," circular #784, Bureau of Plant Industry, U.S.D.A., Washington, D.C.
2. Doneen, L. D., "Quality of Water and Plant Tolerance to Salts," Division of Irrigation, Univ. of Calif., Davis, Calif.
3. "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils," U.S. Regional Salinity Laboratory, U.S.D.A. Riverside, California.
4. Baker, G. O., "Conversion Factors for Water Analysis Determinations," University of Idaho, Moscow, Idaho.
5. Schoonover, W. R., Extension Specialist in Soils, and Martin, Dr. J. C., Division of Plant Nutrition, "Quality of Water for Irrigation," Univ. of Calif., Berkeley, Calif.
6. Agricultural Extension Service, "Farm Advisor's Handbook Conversions," Univ. of Calif., Berkeley, Calif.
7. Scott, Verne H., and Houston, Clyde E., "Measuring Irrigation Water," Extension Service Circular 473, U.C., Berkeley, Calif.
8. Portland General Electric Co., "Distributing Fertilizers Through Sprinkler Irrigation Systems," Agricultural Bulletin No. 52-3, Portland, Ore. 97205.

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

Adressez-vous au bureau local des services de vulgarisation ou écrivez à la station expérimentale la plus proche pour obtenir la liste des bulletins et circulaires techniques.

En plus de la bibliographie citée à chaque chapitre, il serait utile de vous procurer les ouvrages suivants.

Division of Mines, "Gypsum in California," bulletin 163, 1952, Ferry Building, San Francisco, California.

Division of Mines, "Minerals Useful to California Agriculture," Bulletin 154, 1951, Ferry Building, San Francisco, California.

Sauchelli, Dr. Vincent, "Phosphates in Agriculture," 303 Overhill Road, Baltimore, Maryland 21210.

Jenny, Dr. Hans, Professor of Soil Chemistry "Factors of Soil Formation," Univ. of Calif., Berkeley, Calif., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London, 1941.

Knott, J. E., "Handbook for Vegetable Growers," Univ. of Calif., Davis, Calif., John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.

Schultz, George R., "Your Soil", The Naylor Company, San Antonio, Texas.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	11
AVANT-PROPOS	13
INTRODUCTION	16
L'évolution de notre économie agricole	16
Carrières ouvertes aux agriculteurs	18
Entreprises intégrées (Agri' usiness)	18
Les relations professionnelles dans l'agriculture	19
Pesticides	22
Règles relatives aux précautions à prendre pour les produits liquides	23
Règles simples à respecter pour l'entreposage	24
Règles de sécurité à observer pour la manipulation du nitrate d'ammonium	24
Entreposage	24
Propriétés du nitrate d'ammonium	25
Produits ignifuges	26
Chapitre premier. — AGRICULTURE ET ATTITUDES DANS L'OUEST DES ETATS-UNIS	29
La fertilité des sols dans l'Ouest	29
Origine des informations sur les engrais	30
Facteurs qui conditionnent la fertilité du sol	30
L'alimentation des plantes	31
Comment diagnostiquer les besoins en engrais	32
Chapitre II. — LE SOL	34
Qu'est-ce que le sol?	34
Le profil du sol	35
Caractéristiques de la texture et de la composition des sols	36
Catégorie de textures et définitions	37
Classement général des catégories de textures du sol	37
Evaluation des sols	39
Structure du sol	39
Façons culturales	41
L'érosion	43
Chapitre III. — L'EAU	46
Irrigation	46
Définitions	48
Comportement de l'humidité du sol — comment les particules du sol retiennent l'eau	49

Comment mesurer l'humidité du sol	50
Matières contenues dans l'eau d'irrigation	52
Caractéristiques qui déterminent la qualité	52
Caractéristiques qui sont à l'origine de ces différences	53
Le rôle du calcium, du magnésium et du sodium	57
Classement des eaux	57
Résumé	58
Chapitre IV. — SOLS ACIDES, SALINS ET ALCALINS	60
Problèmes de salinité, d'acidité et d'alcalinité	60
Réaction du sol	60
Sols acides	61
Amendements qui réduisent l'acidité du sol	62
Sols salés et d'alcali	63
Sols salins	65
Sols salins à alcali	65
Sols non salins à alcali	66
Amendements pour les sols à alcali	67
Sélection des cultures convenant aux sols salins	69
Tolérance relative des plantes au sel	69
Chapitre V. — MATIÈRES ORGANIQUES	73
Décomposition des matières organiques	73
Matières organiques volumineuses	76
Concentrés organiques	76
Chapitre VI. — ENGRAIS CHIMIQUES ET ENGRAIS ORGANIQUES	77
Chapitre VII. — LA PLANTE — LA CELLULE	80
Théorie de l'absorption des éléments nutritifs	80
Théorie de la solution de sol	81
Effet du pH sur la solubilité des éléments nutritifs	82
Transformation de l'azote	83
Fonction de la cellule de la plante	84
Comment vit une plante	90
Chapitre VIII. — ÉLÉMENTS NÉCESSAIRES A L'ALIMENTATION DES PLANTES.	91
Fonctions des éléments dans les processus de croissance végétale ..	91
Éléments majeurs nécessaires à l'alimentation des plantes	92
Éléments nutritifs secondaires des plantes	93
Oligo-éléments nécessaires aux plantes	94
Chapitre IX. — ESSAIS PERMETTANT DE DIAGNOSTIQUER LES PROBLÈMES RELATIFS AUX SOLS ET AUX CULTURES	98
Analyse des sols	98
Interprétation des analyses du sol pour les éléments fertilisants ..	100
Concentration en ions hydrogène (détermination du pH)	101
Détermination de la teneur en alcali du sol	101
Gammes de tolérances à la salinité (fondées sur un essai de conductivité électrique)	102
Analyses de sol	103
Analyse détaillée d'un échantillon de sol	104
Analyse de l'extrait de tissu de plantes	106
Analyse des minéraux contenus dans une plante	106
Analyses de la feuille et du tissu	108
Procès-verbaux d'analyse et interprétation des résultats	112
Analyse de l'azote dans les plantes	113
Chapitre X. — ENGRAIS COMMERCIAUX ET PRODUITS MINÉRAUX A USAGE AGRICOLE	120
Les engrais et leur teneur en éléments nutritifs	120
Principes fertilisants exprimés en éléments	124
Problèmes qui se posent à l'industrie des engrais	125

Eléments secondaires et oligo-éléments	126
Comment faire la conversion de l'oxyde à élément	127
Terminologie employée dans le domaine des engrais	129
Acidité et basicité des engrais	131
La chimie des engrais	133
Composition moyenne des engrais	134
Facteurs de conversion	136
Eléments majeurs	139
Azote	139
Phosphore	142
Sources d'engrais phosphatés commerciaux	144
Métaphosphates	145
Potassium	145
Engrais phospho-azotés	146
Chimie de l'ammonisation	147
Azote-phosphore-potassium — plus	150
Etablissement de la formule des engrais	150
Ammonisation	151
Engrais sec mélangé par voie chimique	151
Produits permettant de régler le dégagement des couples éléments fertilisants	152
Engrais liquides	153
Solutions d'azote	153
Solutions de phosphore et de potassium	154
Emmagasinage	154
Engrais mélangés liquides	155
Engrais de suspension	155
Engrais organiques liquides	156
Eléments secondaires et oligo-éléments	156
Comment corriger les carences en éléments fertilisants secondaires. Facteurs qui influencent les ressources en éléments fertilisants assimilables	158
Correction de la carence en oligo-éléments	160
Régulateurs chimiques de croissance	161
Engrais spéciaux :	164
Déchets organiques	166
Nouveaux produits	166
Combinaisons de pesticides, herbicides et engrais pesticides	166
Terminologie des engrais	169

Chapitre XI. — TRANSPORT ET APPLICATION DES ENGRAIS SECS ET LIQUIDES
ET DES PRODUITS MINÉRAUX A USAGE AGRICOLE

L'industrie des produits agrochimiques s'automatise	171
Application	176
L'engrais à utiliser	176
Azote	176
Phosphore	177
Potassium	177
La date d'application et la qualité d'engrais nécessaire	179
Où appliquer les engrais	180
Application à la volée (épandage en surface)	181
Enfouissage avec les graines	182
Épandage en bande	183
Fumure latérale	184
Tableau pour le calibrage des rampes d'injection	187
Application d'eau	187
Application des produits secs avec de l'eau	190
Solubilité des engrais	190
Tableau de solubilité	191
Application par avion	192
Pulvérisation foliaire	192
Comment remédier aux carences en éléments secondaires et en oligo-éléments	192
Équipement pour l'application des engrais	193

Chapitre XII. — LOIS DES ÉTATS DE L'OUEST RELATIVES AUX PRODUITS	
FERTILISANTS	194
Dispositions de la législation californienne relative aux engrais ..	196
Glossaire des tableaux; termes et conversions utiles	201
Autre méthode pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation	205
Conversions utiles	206
Que faut-il entendre par capacité de rétention de l'eau de votre sol?	208
Taux d'application des solutions d'engrais	208
Distribution des engrais par un système d'irrigation par aspersion.	209
Quantité d'engrais nécessaire par réglage latéral	210
Déplacements latéraux autres que 27 mètres	210
Mesure de la température	211
Poids et mesures	212