



*E. GAIN*

---

*PRÉCIS*

*DE*

*CHIMIE AGRICOLE*



*Encyclopédie Industrielle*

---

*J. B. BAILLIÈRE & FILS*



N<sup>o</sup> 191

Boutroux. Le pain et la panification.  
 Charabot. Les parfums artificiels.  
 Coffignal. Verres et émaux.  
 Convert. L'industrie agricole en France.  
 Coreil. L'eau potable.  
 Dupont. Les matières colorantes.  
 Gain. Précis de chimie agricole.  
 Girard. Cours de marchandises.  
 Guichard. Précis de chimie industrielle.  
 Guichard. L'eau dans l'industrie.  
 Guichard. Chimie de la distillation.  
 Guichard. Microbiologie de la distillation.  
 Guichard. L'industrie de la distillation.  
 Guinochet. Les eaux d'alimentation.

Leroux et Revel. La traction mécanique et les automobiles.  
 Petit. La bière et l'industrie de la brasserie.  
 Riche et Halphen. Le pétrole.  
 Trillat. L'industrie chimique en Allemagne.  
 Trillat. Les produits chimiques employés en médecine.  
 Vivier. Analyses et essais des matières agricoles.  
 Voineisson. Cuirs et peaux.  
 Weil. L'or.  
 Weiss. Le cuivre.  
 Witz. La Machine à vapeur.  
**Série à 6 fr. le volume.**  
 Busquet. Traité d'électricité industrielle. 2 vol.  
 Pécheux. Précis de physique industrielle.

ERE ET FILS

t-Germain, PARIS

strielle

avec figures

industrie chimique.  
 Couleurs et vernis.  
 L'industrie de la soude.  
 Le sucre.  
 industrie des tissus.  
 minéraux utiles.  
 L'argent.  
 acétylène.  
 vons et bougies.  
 aluminium.

ENVOI FRANCO CONTRE UN MANDAT POSTAL

# Bibliothèque des Connaissances Utiles

à 4 francs le volume cartonné

Collection de volumes in-16 illustrés d'environ 400 pages

- Ascher.** *L'art de découvrir les sources.*  
**Bailliers (P. d'). *L'olivier et l'huile d'olive.*  
**Barré.** *Manuel de génie sanitaire, 2 vol.*  
**Baudoin (A.).** *Les eaux-de-vie et le cognac.*  
**Bachellet.** *Conseils aux mères,*  
**Baquisage.** *Les matières grasses.*  
**Bell (J.).** *Les maladies de la vigne.*  
**Bellair (G.).** *Les arbres fruitiers.*  
**Berger (E.).** *Les plantes potagères.*  
**Bingham.** *Canards, oies, cygnes.*  
**Art de détruire les animaux nuisibles.**  
**L'industrie des fleurs artificielles.**  
**(D.).** *Les orchidées.*  
**Les plantes d'appartements et de fenêtres.**  
**Le petit jardin.**  
**Artier.** *Les industries des abattoirs.*  
**Evans (de).** *La fabrication des liqueurs.*  
**Les conserves alimentaires.**  
**Les légumes et les fruits,**  
**Le pain et la viande,**  
**Innel.** *Les nouveautés photographiques.*  
**— Carnet-Agenda du Photographe.**  
**Ischard (J.).** *Le matériel agricole.*  
**— Les constructions agricoles.**  
**Lambon (V.).** *Le vin et l'art de la vinification.*  
**Champetier.** *Les maladies du jeune cheval.*  
**Loupin (H.).** *L'aquarium d'eau douce.*  
**— L'amateur de coléoptères.**  
**— L'amateur de papillons.**  
**Loyer.** *Le dessin et la peinture.*  
**Dalton.** *Physiologie et hygiène des écoles.*  
**Denaiffe.** *La culture fourragère.*  
**Donné.** *Conseils aux mères.*  
**Du Jardin.** *L'essai commercial des vins.*  
**Mont. D'âge du cheval.**  
**H (E.).** *Manuel de viticulture.*  
**— Les ennemis de la vigne.**  
**Espanet (A.).** *Pratique de l'homéopathie.*  
**Ferrand (E.).** *Premiers secours en cas d'accidents.*  
**Ferville (E.).** *L'industrie laitière.*  
**Fontan.** *La santé des animaux.*  
**Fitz-James.** *La pratique de la viticulture.*  
**Gallier.** *Le cheval anglo-normand.*  
**Girard.** *Manuel d'apiculture.*  
**Gobin (A.).** *La pisciculture en eaux douces.*  
**— La pisciculture en eaux salées.**  
**Gourret.** *Les pêcheries de la Méditerranée.*  
**Graffigny (H de).** *Les industries d'amateurs.*  
**Gunther.** *Médecine vétérinaire homéopathique.*  
**Guyot (E.).** *Les animaux de la ferme.*  
**Halphen (G.).** *La pratique des essais commerciaux, 2 vol.*  
**Héraud.** *Les secrets de la science et de l'industrie.*  
**— Les secrets de l'alimentation.**  
**— Les secrets de l'économie domestique.**  
**— Jeux et récréations scientifiques.**  
**Lacroix-Danliard.** *La plume des oiseaux.*  
**— Le poil des animaux et fourrures.**  
**Larbalétrier (A.).** *Les engrais.*  
**Leblond et Bouvier.** *La gymnastique.*  
**Lefèvre (J.).** *Les nouveautés électriques.*  
**— Le chauffage.**  
**— Les moteurs.**  
**Locard.** *Manuel d'ostréiculture.*  
**— La pêche et les poissons d'eau douce.**  
**Londe (A.).** *Aide-mémoire de Photographie.*  
**Montillot (L.).** *L'éclairage électrique.*  
**— L'amateur d'insectes.**  
**— Les insectes nuisibles.**  
**Montserrat et Brissac.** *Le gaz.*  
**Moreau (H.).** *Les oiseaux de volière.*  
**Moquin-Tandon.** *Botanique médicale*  
**Piesse (L.).** *Histoire des parfums.*  
**— Chimie des parfums et essences.**  
**Pertus (J.).** *Le chien.*  
**Poutiers.** *La menuiserie.*  
**Relier (L.).** *Guide pratique de l'élevage du cheval.*  
**Riche (A.).** *L'art de l'essayeur.*  
**— Monnaies, médailles et bijoux.**  
**Rémy Saint-Loup.** *Les oiseaux de parcs*  
**— Les oiseaux de basse-cour.**  
**Rouvier.** *Hygiène de la première enfance.*  
**Schrihaux et Nanot.** *Botanique agricole.*  
**Sauvaigo (E.).** *Les cultures méditerranéennes.*  
**Saint-Vincent (D'de).** *Médecine des familles.*  
**Tassart.** *L'industrie de la teinture.*  
**— Les matières colorantes.**  
**Thierry.** *Les vaches laitières.*  
**Vignon (L.).** *La soie.*  
**Vilmorin (Ph. de).** *Manuel de floriculture.***

# Bibliothèque Scientifique Contemporaine

Collection de volumes in-16 de 350 pages environ, avec figures  
à 3 fr. 50 le volume

- Acloque (A.)**. Les champignons.  
— Les Lichens.  
**Battandier et Trabut**. L'Algérie.  
**Baye (J. de)**. L'archéologie préhistorique.  
**Bernard (Claude)**. La science expérimentale.  
**Blanc**. Les anomalies chez l'homme.  
**Bleicher (G.)**. Les Vosges.  
**Cazeneuve**. La coloration des vins.  
**Charpentier (A.)**. La lumière et les couleurs.  
**Chatin (J.)**. La cellule animale.  
**Comte (Aug.)**. Principes de philosophie positive.  
**Cotteau (G.)**. Le préhistorique en Europe.  
**Dallet (G.)**. Les merveilles du ciel.  
— La prévision du temps.  
**Debierre (Ch.)**. L'homme avant l'histoire.  
**Dollo (L.)**. La vie au sein des mers.  
**Falsan (A.)**. Les Alpes françaises.  
**Ferry de la Bellonne**. La truffe.  
**Folin (de)**. Bateaux et navires.  
— Pêches et chasses géologiques.  
— Sous les mers.  
**Fouqué**. Les tremblements de terre.  
**Foveau**. Les facultés mentales des animaux.  
**Fraipont**. Les cavernes.  
**Frédéricq**. La lutte pour l'existence.  
**Gadeau de Kerville (H.)**. Les animaux lumineux.  
**Gallois (E.)**. La poste, le télégraphe, le téléphone.  
**Gaudry (A.)**. Les ancêtres de nos animaux.  
**Girod (P.)**. Les sociétés chez les animaux.  
**Graffigny (A. de)**. La navigation aérienne.  
**Gun (colonel)**. L'artillerie actuelle.  
— L'électricité appliqué à l'art milit.  
**Hamonville (d')**. La vie des oiseaux.  
**Herpiu**. La vigne et le raisin.  
**Houssay (F.)**. Les industries des animaux.  
**Huxley (Th.)**. L'origine des espèces et l'évolution.  
— La place de l'homme dans la nature.  
— Les problèmes de la biologie.  
— Les problèmes de la géologie.  
— Science et religion.  
— Les sciences naturelles et l'éducation.  
**Jourdan**. Les sens chez les animaux inférieurs.  
**Lefèvre (J.)**. La photographie et ses applications.  
**Le Verrier (M.)**. La métallurgie en France.  
**Liebig**. Les sciences d'observation au moyen âge.  
**Loret**. L'Égypte au temps des pharaons.  
**Loverdo**. Les maladies des céréales.  
**Montillot**. La télégraphie actuelle.  
**Perrier (Ed.)**. Le transformisme.  
**Planté**. Phénomènes électriques de l'atmosphère.  
**Plytoff (G.)**. La magie.  
— Les sciences occultes.  
**Priem (F.)**. L'évolution des formes animales.  
**Quatrefages (A. de)**. Les Pygmées.  
**Renault (B.)**. Les plantes fossiles.  
**Saporta (A. de)**. Théories et applications de la chimie.  
**Saporta (G. de)**. Origine paléontologique des arbres.  
**Schëller (H.)**. Les chemins de fer.  
**Trouessart**. Au bord de la mer.  
— La géographie zoologique.  
**Trutat (P.)**. Les Pyrénées.  
**Vuillemin (P.)**. La biologie végétale.

ENCYCLOPÉDIE DE CHIMIE INDUSTRIELLE

---

PRÉCIS

DE

CHIMIE AGRICOLE

## TRAVAUX DU MÊME AUTEUR

---

**Influence de l'humidité du sol sur la végétation.** *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 1892; *Congrès de Pau, Ass. Fr. Av. des Sciences*, 1892.

**Influence de l'humidité du sol sur les nodosités des légumineuses.** *Comptes rendus de l'Académie des Sc.*, 1893.

**Influence de la sécheresse sur les feuilles des végétaux herbacés.** *Congrès de Besançon, Ass. Fr. Av. des Sc.*, 1893.

**Sur la matière colorante des tubercules et des rhizomes.** *Bull. Soc. Bot. de France*, 1893.

**Contribution à l'étude de l'influence du milieu.** *Bull. Soc. Bot. de France*, 1893.

**Synthèses organiques** (E. GAIN et P. JAGGARD). *Bull. Sc. naturelles*, 1893.

**Digestion des réserves chez les végétaux.** *Bull. Sc. nat.*, 1893.

**Sur une gale algérienne, du *Chondrilla juncea* L.** *Bull. Soc. Bot. de Fr.*, 1894.

**Sur une germination tératologique du *Quercus pedunculata*.** *Bull. Soc. Bot. de Fr.*, 1894.

**La végétation du désert.** Lib. Illustrée, 1894.

---

## ENCYCLOPÉDIE DE CHIMIE INDUSTRIELLE

*Nouvelle collection de volumes in-18 jésus, avec fig., cart.*

Chaque volume..... 5 fr.

**Précis de chimie industrielle** par P. GUICHARD, professeur à l'École industrielle d'Amiens. 1 vol. in-18 jésus avec fig., cart. 5 fr.

**L'eau dans l'industrie**, filtration, stérilisation, purification, par P. GUICHARD. 1894, 1 vol. in-18 jésus, avec fig. cart..... 5 fr.

**Le sucre et l'industrie sucrière**, par P. HORSIN DÉON. 1894, 1 vol. in-18 jésus, avec 83 fig., cart..... 5 fr.

**Les produits chimiques** employés en médecine, chimie analytique et industrielle, par Aug. TRILLAT, expert chimiste au Tribunal civil de la Seine. Introduction par P. SCHUTZENBERGER. 1894, 1 vol. in-18 jésus, avec 57 fig., cart..... 5 fr.

**Couleurs et vernis**, par G. HALPHEN, expert au laboratoire du ministère du Commerce. 1894, 1 vol. in-18 jésus avec fig., cart. 5 fr.

**Cuir et peaux**, par H. VOINESON de LAVELINES, chimiste au laboratoire municipal, 1894, 1 vol. in-18 jésus, avec 88 fig. cart... 5 fr.

**Le cuivre** par Paul WEISS, ingénieur au corps des mines. 1894, 1 vol. in-18 jésus, avec 96 fig., cart..... 5 fr.

**La Galvanoplastie**, le nickelage, l'argenture, la dorure et l'électro-métallurgie, par E. BOUANT. 1894, 1 vol. in-18 jésus de 400 p., avec 50 fig., cart..... 5 fr.

**L'Aluminium**, par Adolphe LEJEAL, préparateur au Conservatoire des Arts et Métiers. Introduction par U. LE VERRIER. 1894, 1 vol. in-18 jésus, 357 p. avec 37 fig., cart..... 5 fr.

---

**EDMOND GAIN**

Préparateur de Biologie végétale à la Faculté des sciences de Paris  
Professeur à l'Institut commercial

---

**PRÉCIS**

DE

**CHIMIE AGRICOLE**

---

AVEC 93 FIGURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE

**NUTRITION DES VÉGÉTAUX  
COMPOSITION CHIMIQUE DES VÉGÉTAUX  
FERTILISATION DU SOL  
CHIMIE DES PRODUITS AGRICOLES**

PARIS

LIBRAIRIE J. B. BAILLIÈRE ET FIL

Rue Hautefeuille, 19, près du boulevard Saint-Germain

---

1895

Tous droits réservés





# PRÉFACE

---

Les progrès de l'agriculture sont intimement liés aux observations recueillies dans la pratique agricole de chaque jour ; mais malheureusement beaucoup d'agriculteurs ne se rendent pas compte du mécanisme de leurs travaux et ne peuvent par conséquent apprécier la véritable cause de leur succès ou de leur non-réussite.

Pour faire de l'agriculture empirique une science de raisonnement il faut préparer les futurs agriculteurs par des connaissances théoriques qui leur permettent de comprendre la vie végétale : presque toute la science agricole de l'exploitation du sol réside dans la connaissance des phénomènes de la nutrition et du développement des végétaux.

Déjà, dans l'enseignement primaire, on a

multiplié les cours élémentaires d'agriculture, et l'enseignement supérieur agricole paraît destiné à un grand avenir grâce aux savants qui ont contribué à le fonder dans nos Facultés des sciences.

Entre ces deux échelons se range la masse de ceux qui, après leurs études classiques ou modernes, sont bientôt appelés à diriger des exploitations agricoles importantes; n'ayant pas passé par les écoles d'agriculture, ils n'ont trouvé dans l'enseignement secondaire aucune préparation scientifique à leur future carrière.

En possession cependant des connaissances suffisantes en physique et en chimie, ils peuvent recevoir avec fruit l'enseignement biologique complémentaire qui ferait d'eux des expérimentateurs et des praticiens éclairés.

Une lacune existe là dans notre enseignement agricole; dans le but d'essayer de la combler, le livre que nous présentons ici est rédigé dans cet esprit de réunir surtout un ensemble de connaissances théoriques qui doivent être considérées comme l'initiation à l'étude de la véritable agronomie.

Après avoir défini le principe général de la

nutrition des végétaux, nous avons tracé rapidement l'historique des différentes doctrines relatives à l'alimentation des plantes.

Abordant ensuite la *physiologie générale de la nutrition* nous sommes amenés à passer en revue les rapports de la plante avec le sol et l'atmosphère, les fonctions de nutrition, puis le chimisme dynamique interne et le développement général des végétaux.

La deuxième partie traite de la *composition chimique des plantes*.

Dans la troisième partie, nous avons parlé de la *fertilisation du sol par les engrais et les amendements*.

La quatrième partie comprend quelques données sur la *chimie des produits agricoles*.

Dans la rédaction de ces pages nous avons fait de larges emprunts aux grands traités et aux travaux publiés par les maîtres autorisés de l'agronomie moderne.

Le cours de Chimie agricole du Conservatoire des Arts et Métiers, professé par M. Schlœsing, et le cours d'Agriculture de M. Grandeau nous ont été particulièrement utiles ; mais nous avons surtout puisé dans les mémoires originaux dus

aux recherches de MM. Berthelot, directeur de la Station de Chimie végétale de Meudon; Duclaux, professeur à la Sorbonne; Müntz, de l'Institut agronomique; Van Tieghem, Georges Ville, et Déhérain, du Muséum d'histoire naturelle de Paris, et de nombreux savants étrangers.

Nous espérons que, malgré ses imperfections, cet ouvrage pourra rendre des services à ceux qui débutent dans l'étude de la Chimie agricole et de la Chimie végétale en général.

E. G.

1<sup>er</sup> juillet 1894.

# PRÉCIS

## DE CHIMIE AGRICOLE

---

### NOTIONS PRÉLIMINAIRES

---

#### § 1. — NUTRITION GÉNÉRALE

La biologie constitue l'étude des êtres organisés et vivants, et se divise en *morphologie* et *physiologie*.

Les phénomènes qu'offrent les organismes vivants, les causes d'où dépendent ces phénomènes et les lois qui les règlent sont du domaine de la physiologie, et le but essentiel de cette partie de la science n'est autre chose que l'étude de la force, c'est-à-dire de la vie des organismes.

L'étude de l'être organisé au point de vue de la constitution intime, autrement dit de la matière, est appelée *chimie organique* et comprend la *chimie biologique*.

Les deux règnes organiques ont chacun leur chimie biologique. Dans ce livre, nous ne traiterons que de la matière végétale.

Doit-on admettre que les phénomènes manifestés par la vie possèdent dans la plante une certaine autonomie? Non, ils ne sont que la résultante des phénomènes physiques. La vie est une activité permanente où certaines forces sont mises en jeu. Toutes ces forces se trans-

forment incessamment d'une modalité dans une autre, sans perte ni gain.

Or, l'*affinité chimique* est l'énergie principale, sinon exclusive, des êtres organisés. Lorsque les atomes sont séparés, ils s'attirent et tendent à se rapprocher et à se combiner. Lorsque la combinaison est faite, l'affinité chimique disparaît et se transforme en d'autres énergies : chaleur, mouvement de masse, électricité, etc.

L'affinité chimique est ainsi une *force de tension* ou *force potentielle*, les autres forces sont des *forces en mouvement*, *forces cinétiques*, *forces vives*.

Chez les animaux, la transformation de la force potentielle en forces vives est la plus répandue. C'est le processus *cat-énergique* qui se traduit par la décomposition des aliments.

Chez les plantes, au contraire, les rayons solaires (forces vives) accumulent, en se transformant, des forces potentielles considérables, qui se traduisent par les synthèses complexes du carbone avec l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, pour constituer l'ensemble si varié des principes immédiats végétaux, que nous étudierons par la suite (processus *an-énergique*).

Cependant, cette différence ne peut pas servir de criterium pour séparer les modes de nutrition des animaux et des végétaux. Beaucoup de plantes parasites, et presque tous les champignons, ne possèdent point comme les autres végétaux, par suite de l'absence du chlorophylle, la faculté de créer de toutes pièces des substances organiques ; ils se nourrissent de sucs organisés, et ont une respiration analogue à celle des animaux, car ils absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique.

Les expériences de Th. de Saussure<sup>1</sup> avaient montré que l'absorption de l'oxygène à des intervalles déterminés est nécessaire aux végétaux. On sait maintenant que toutes les parties de la plante qui ne sont point vertes et pendant la nuit les parties vertes elles-mêmes, présentent, comme les animaux, le phénomène respiratoire : une exhalation très apparente d'acide carbonique et une absorption d'oxygène. Ces faits sont d'autant mieux établis qu'on peut séparer maintenant la respiration et l'assimilation chlorophyllienne par l'action d'un anesthésique.

Outre ce procédé de désoxygénation si général, si régulier, le végétal présente donc des phénomènes d'oxydation analogues à ceux qui se passent sous l'influence de la nutrition animale et en vertu desquels une partie de substance assimilée est de nouveau décomposée. La croissance des plantes est impossible sans absorption d'oxygène et sans dégagement d'acide carbonique. Plus elle est active, plus la quantité d'oxygène absorbé est considérable ; c'est ce qui se voit dans les graines en germination, dans les bourgeons de feuilles et de fleurs qui se développent rapidement ; ils font dans un court espace de temps une consommation énorme d'oxygène et dégagent de l'acide carbonique. De la sorte les mouvements du protoplasma se trouvent liés à l'inspiration d'oxygène.

La production de chaleur (germination, etc.) et les phénomènes lumineux (*Agaricus olearius*, etc.) exigent une consommation très active d'oxygène. Enfin, il y a des organismes (ferments, schizomycètes) qui produisent des combinaisons azotées et albuminoïdes, mais qui n'assi-

<sup>1</sup> TH. DE SAUSSURE, *Recherches chimiques sur la végétation*. Paris, 1804.

milent pas l'acide carbonique et qui empruntent le carbone qui leur est nécessaire aux hydrates de carbone (Pasteur, Cohn). Ces organismes se comportent donc comme des animaux par rapport aux combinaisons ternaires, mais peuvent, d'autre part, fabriquer des substances protéiques.

**Bilan organique.** — La nutrition générale est l'ensemble des travaux accomplis par les éléments anatomiques (nutrition cellulaire) et les appareils de nutrition (fonctions de nutrition). C'est par elle que l'organisme vivant répare ses pertes incessantes, se reconstituant sans cesse à mesure qu'il se détruit.

Chez la plante, l'appareil de nutrition est constitué par des tissus qui ne présentent qu'une faible différenciation physiologique dans chacune de leurs parties; nous sommes amenés à les considérer comme des groupes d'éléments anatomiques spéciaux dont chaque partie joue un rôle identique, et par là nous réduisons la nutrition générale aux faits de nutrition cellulaire <sup>1</sup>.

La vie de la plante est donc seulement la somme de la vie des cellules.

D'où vient que le bilan organique du végétal ne peut être établi comme celui de l'animal ?

Un organisme vivant possède, en quelque sorte, un budget avec ses deux parties, les recettes ou entrées et les dépenses ou sorties. La vie de l'animal trouve un recensement naturel des entrées et des sorties dans des appareils bien différenciés (appareil de la digestion, appareil respiratoire, appareil excréteur). La somme des

<sup>1</sup> Certains auteurs admettent qu'il y a souvent communication de cellule à cellule par des filaments protoplasmiques. Cela n'altère en rien l'individualité de la cellule.



recettes et des entrées est vite établie, si l'on constate, surtout comme chez les animaux supérieurs, une température constante et invariable du corps.

Il en est tout autrement chez les plantes.

Là, point de périodicité dans l'alimentation, point d'appareils centralisateurs des grands phénomènes de combustion vitale, point de température fixe dans l'organisme.

Au lieu de tout cela, la plante présente une continuité irrégulière dans sa pérennité; elle recèle ses produits vitaux qui mystérieusement restent en place abandonnés, ou circulent, ou sont repris par la vie.

Cette vie général de l'individu reçoit à chaque instant le contre-coup du milieu extérieur. Il manque le centre coordinateur qui doit réunir en faisceau l'activité multicellulaire de la colonie. La plante avec son haut degré de différenciation organique reste infiniment moins perfectionnée que l'animal. La division du travail y est indiquée cependant, mais n'aboutit, faute de liens entre les parties, qu'à une vie tourmentée et mal définie au point de vue chimique.

En raison de cette indétermination dans les processus organiques, la vie chimique de la plante doit être considérée comme beaucoup plus obscure que celle de l'animal. Elle en est d'autant moins vulnérable aux investigations.

L'agriculteur que l'observation seule guidait devait donc rester longtemps dans l'ignorance des faits généraux de la nutrition; ce n'est que depuis peu d'années que ce problème si important a pu être élucidé en partie, ainsi que nous allons l'expliquer dans les pages suivantes.

## § 2. — HISTORIQUE DES DOCTRINES RELATIVES A LA NUTRITION

L'agriculture raisonnée, qui tend de plus en plus à supplanter les pratiques empiriques et surannées, est née des progrès qui ont été faits dans le domaine de la science pure.

La science de la nutrition des êtres organisés est en effet toute moderne, elle a suivi pas à pas le progrès des sciences physico-chimiques, et particulièrement de la chimie.

Comme l'a dit Claude Bernard <sup>1</sup>, « l'observation *montre* et l'expérience *instruit* ». Depuis longtemps déjà l'observation a montré tout ce que l'on pouvait voir sans l'expérience ; c'est maintenant à l'expérience de nous instruire sur les relations des faits avec leurs causes immédiates. M. Grandeau a clairement expliqué <sup>2</sup> ce qui revient à l'une et à l'autre.

« L'observation nous a fait connaître que la plante croît dans le sol avec le concours indispensable de l'air, de l'eau, de la lumière et de la chaleur ; que tous les sols ne conviennent pas également à la même espèce agricole ; que des plantes cultivées indéfiniment dans le même sol donnent des récoltes dont le poids va sans cesse en diminuant, tandis que les forêts fournissent longtemps les mêmes quantités de produits annuels : que l'alternance des récoltes remédie, en agriculture, à cette atténuation dans les rendements ; que l'addition

<sup>1</sup> CL. BERNARD, *Introduction à la médecine expérimentale*. Paris, 1865.

<sup>2</sup> GRANDEAU, *Cours d'agriculture*,

de certaines substances (engrais) a le même résultat, etc.

L'expérience scientifique, c'est-à-dire le déterminisme exact des conditions des phénomènes, nous a donné l'explication de ces faits qu'une observation dix fois séculaire laissait dans une obscurité complète quant à leurs causes prochaines.

La physiologie est venue expliquer le rôle de la lumière, de la chaleur et de l'air dans la germination ; l'action des parties vertes des végétaux sur l'acide carbonique, de l'air dans la nutrition des plantes ; en nous révélant les exigences diverses des végétaux en substances minérales, elle nous rend compte de la nécessité des assolements, de l'épuisement relatif du sol, de l'action des engrais, etc... Ainsi, à mesure que nous découvrons les lois qui régissent la matière brute et les êtres vivants, avec les progrès de la *chimie* et de la *biologie*, l'art agricole réalise des progrès que des siècles d'observation ne lui avaient pas permis d'accomplir. »

**Les précurseurs de Liebig.** — Il y a fort longtemps déjà que l'importance des matières minérales dans la végétation avait été pressentie. Bernard Palissy <sup>1</sup> expose magistralement ses idées relatives à la végétation. On peut résumer en quatre propositions les faits avancés par Bernard Palissy :

- 1° Les cendres que laissent les végétaux en brûlant proviennent du sol ;
- 2° Pour entretenir la fertilité du sol, il faut lui restituer ce que les récoltes lui ont enlevé (loi de restitution) ;
- 3° La principale valeur du fumier réside dans sa ri-

<sup>1</sup> BERNARD PALISSY, *Traité des sels et de l'agriculture*, 1563.

ehesse en matières minérales enlevées au sol par la plante ;

4° Les excréments de l'homme et ceux des animaux doivent être rendus au sol parce qu'ils sont formés des substances qui lui ont été soustraites par les récoltes.

Ces axiomes forment encore actuellement la base de la nutrition minérale des plantes et la justification de l'emploi des engrais minéraux en agriculture. Jusqu'en 1840 on ne trouve aucune mention des idées qui étaient exprimées dans le *Traité des sels*. Ainsi la sagacité de Palissy a devancé de plus de trois siècles les découvertes de chimie agricole.

En appliquant la balance à l'étude des phénomènes naturels, Lavoisier a fondé la chimie et la physiologie générale. Dans une page admirable <sup>1</sup>, il expose un tableau général de la statistique chimique des êtres vivants, la théorie de la nutrition minérale des végétaux et la circulation de la matière à la surface de notre planète.

Th. de Saussure<sup>2</sup> a résumé l'ensemble de ses études sur la germination, sur la respiration des végétaux, sur l'absorption des dissolutions salines par les racines des plantes, et sur les cendres des végétaux. C'est le premier savant qui ait cherché à découvrir les rapports existant entre la composition des cendres et celles du sol. Ce que de Saussure a parfaitement démontré peut se résumer ainsi :

1° Les substances minérales qu'on rencontre dans les végétaux ne sont pas accidentelles ;

2° Leur nature varie avec les sols ;

<sup>1</sup> Voyez DUMAS, *Leçon professée à la Soc. chim.*, 1860, p. 194.

<sup>2</sup> TH. DE SAUSSURE, *Recherches chimiques sur la végétation*, 1804.

3° Elles sont inégalement réparties dans le végétal ;

4° Les racines des plantes plongées dans des dissolutions salines étendues absorbent les sels, mais en moins grande proportion que l'eau qui tient ces sels en dissolution ;

5° Un végétal n'absorbe pas, en même proportion, toutes les substances contenues à la fois dans une même dissolution ;

6° Lorsqu'on compare le poids de l'extrait, par l'eau, que peut fournir le sol le plus fertile au poids de la plante sèche qui s'y est développée, on trouve qu'elle n'a pu y puiser qu'une très faible portion de sa substance ;

7° Le phosphate de chaux et la potasse font partie des cendres de tous les végétaux.

Remarquons qu'à l'époque où de Saussure expérimentait on considérait comme accidentelles et nuisibles à la végétation les matières minérales qui constituent les cendres des végétaux. Humphry Davy, contemporain de Th. de Saussure, ignorait les écrits de Palissy, car il ne connaissait pas non plus la *loi de restitution*, et pour lui l'alimentation minérale n'est pas *indispensable*.

Du côté des praticiens, A. Thaër <sup>1</sup> écrit encore en 1834 : « L'humus est une partie constituante du sol. La fécondité du terrain dépend, à proprement parler, entièrement de lui ; car, si l'on en excepte l'eau, c'est la seule substance qui, dans le sol, fournisse un aliment aux plantes. Les engrais minéraux opèrent uniquement, par la faculté qu'ils ont de favoriser la décomposition. »

Mathieu Dombasle <sup>2</sup>, comme Thaër et tous les agro-

<sup>1</sup> THAER, *Principes raisonnés de l'Agriculture*, 1834.

<sup>2</sup> MATHIEU DOMBASLE, *Traité d'Agriculture*, t. II.

nomes de son temps, range les matières minérales parmi les amendements et non parmi les engrais ou aliments des plantes.

En 1837, Payen appelle toujours les engrais minéraux des *stimulants* et non des aliments. On voit combien B. Palissy avait été clairvoyant, et cependant est resté ignoré.

**Doctrines de Liebig.** — En 1840, les praticiens et les savants étaient unanimes pour attribuer à l'humus seul la fertilité des sols, pour mesurer la fécondité des champs par leur richesse en terreau et pour estimer les engrais d'après leur teneur en matière organique; c'est alors que paraît le fameux livre de Liebig : *Chimie organique appliquée à l'agriculture et à la physiologie*. A la première page on lit : *C'est la nature inorganique exclusivement qui offre aux végétaux leurs premières sources d'alimentation*. Cette assertion, contraire à tout ce qui était admis, est devenue par la suite une vérité incontestée; c'est maintenant, suivant l'heureuse expression de M. Grandeau, un axiome agronomique.

Liebig critique d'abord la théorie de l'humus :

« L'humus, dit-il, est une matière à composition mal définie; sa richesse en carbone varie de 57 à 72 pour 100. La substance humique, que l'on considère comme la partie active du terreau, est insoluble dans l'eau et ne saurait donc pénétrer par voie d'absorption dans les végétaux. Aussi a-t-on invoqué la formation d'une combinaison d'acide ulmique et de chaux pour expliquer l'assimilation du terreau. Or, le calcul prouve que l'eau tombée, absorbée complètement, même saturée d'ulmate de chaux, ne peut pas introduire assez de carbone pour expliquer

le rendement total en matière organique d'une surface donnée <sup>1</sup>. »

Liebig formule catégoriquement cette conclusion : *L'engrais ne concourt pas à la production du carbone.*

Si les plantes ne puisent pas leur carbone dans le sol, il faut donc que ce soit dans l'atmosphère <sup>2</sup> Il en déduit le rôle des feuilles dans la décomposition de l'acide carbonique de l'air, fait du reste déjà entrevu par A. Brongniart (1828) <sup>3</sup>.

Liebig admet en outre, pour expliquer l'utilité de l'humus dans le sol, qu'il est producteur d'acide carbonique pouvant servir à la nutrition. Pour ce qui est de l'hydrogène, il vient de l'eau ; l'azote, de l'ammoniaque.

Relativement à l'assimilation minérale, Liebig écrit que la proportion des matières qu'on retrouve dans les cendres varie suivant la nature du sol, mais qu'il en faut une certaine quantité pour que les plantes se développent.

Dans les différentes familles végétales, on trouve les acides les plus variés qui remplissent certaines fonctions dans la vie des plantes. Tous ces acides se trouvent à l'état de sels neutres ou acides ; les bases alcalines (potasse, soude, chaux, magnésie) doivent donc aussi être nécessaires à la végétation.

<sup>1</sup> Une partie d'ulmate de chaux exige pour se dissoudre 2.000 parties d'eau. De plus, une faible partie seulement des eaux pluviales est absorbée et transpirée par les plantes.

<sup>2</sup> En réalité, les racines peuvent aussi puiser l'acide carbonique dans le sol, qui en contient de grandes quantités, mais cet acide carbonique ne peut être utilisé comme source de carbone que s'il passe dans les feuilles où il subit l'action des radiations solaires.

<sup>3</sup> A. BRONGNIART, *Comptes rendus Ac. sc.* Paris, 1828.

Au point de vue des applications pratiques, Liebig a introduit dans l'agronomie cette notion nouvelle que l'atmosphère exerce sans cesse une action chimique sur les parties solides du terrain. Il indique nettement comment la jachère, le chaulage, l'écobuage rendent solubles les silicates alcalins contenus dans le sol.

La *faculté épuisante* de certains végétaux était connue depuis fort longtemps. La pratique de la culture alterne et la rotation des récoltes (assolements) résultent de cette observation ancienne. Jusqu'en 1838 Boussingault lui-même admettait que les principes azotés constituaient l'élément essentiel de la fécondité des terres.

Liebig, au point de vue de la théorie des assolements, tire des analyses de cendres cette conclusion que les plantes de grande culture peuvent être rangées en divers groupes caractérisés par la prédominance dans leurs cendres, de l'une des substances minérales qui les forment. Cette *dominante* sera la chaux pour les unes, la potasse pour les autres, etc...

Il concluait de la présence d'un corps dans les cendres à son utilité. [Nous verrons plus loin (voyez *Silice*...) que cette loi n'est pas générale.]

De sorte qu'il peut conclure :

« Le principal avantage des assolements consiste dans les proportions inégales de substances minérales enlevées au sol par les plantes cultivées alternativement dans un même terrain. »

Pour rétablir l'équilibre, si l'on veut conserver à la terre sa fertilité première, il faut employer les engrais.

En 1855, Liebig a publié à Brunswick le résumé de sa doctrine agricole : voici, d'après le savant auteur que nous avons cité déjà, la traduction textuelle des cin-



quante aphorismes <sup>1</sup>, dans lesquels on retrouve ce que M. G. Ville a plus tard développé et vulgarisé en France. Sauf la doctrine relative aux sources de l'azote qui a reçu un complément, parmi tous les autres faits relatifs à la nutrition des plantes, aucun n'a été jusqu'ici infirmé par l'expérience.

On peut donc encore considérer la doctrine de Liebig ainsi exposée comme le formulaire des principes élémentaires d'agronomie.

### § 3. — LES APHORISMES DE LIEBIG

1. — Les plantes reçoivent en général leur carbone et leur azote (directement ou indirectement) de l'atmosphère : le carbone sous forme d'acide carbonique, l'azote sous forme d'ammoniaque. L'eau et l'ammoniaque fournissent aux plantes leur hydrogène ; le soufre des éléments sulfurés des végétaux provient de l'acide sulfurique.

2. — Cultivées dans les terrains les plus différents, sous les climats les plus variés, dans les plaines ou sur les hauteurs des montagnes, les plantes renferment un certain nombre de substances minérales. Ces substances sont toujours les mêmes, et la composition des cendres des végétaux nous en révèle la nature et les propriétés. Les éléments des cendres étaient primitivement les éléments du sol. Toutes les sortes de terrains fertiles en renferment une certaine quantité ; aucun terrain où croissent les plantes n'en est privé.

3. — Par la récolte, on enlève au sol, dans les produits obtenus, toute la partie des éléments de la terre devenus éléments des plantes. Le terrain est dès lors plus riche en ces éléments avant les semences qu'après la récolte ; la composition du sol se trouve donc modifiée après la récolte.

4. — Après une série d'années et un nombre correspondant de

<sup>1</sup> M. Grandeau, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, a bien voulu nous autoriser à reproduire sa traduction des aphorismes de Liebig ; nous lui adressons nos remerciements.

récoltes, la fertilité diminue ; toutes choses égales d'ailleurs, le sol n'est plus ce qu'il était auparavant. Le changement survenu dans la composition est la cause probable de la stérilité qu'il présente.

5. — Les engrais, le fumier de ferme, les excréments des hommes et des animaux restituent au sol la fertilité qu'il a perdue.

6. — Le fumier consiste dans des substances végétales et animales corrompues, renfermant une certaine quantité des éléments du sol. Les excréments des animaux et de l'homme représentent les cendres des aliments brûlés dans leur corps, cendres provenant des plantes récoltées dans les champs. L'urine contient les éléments du sol solubles dans l'eau ; les matières fécales, les éléments insolubles absorbés dans l'alimentation.

Le fumier d'écurie et d'étable renferme les éléments du sol contenus dans les produits récoltés ; il est clair que, par son incorporation au sol, il lui restituera les éléments minéraux qui lui ont été enlevés. Rendre à un terrain épuisé sa composition primitive, c'est lui rendre en même temps sa fertilité.

Il est certain que l'une des conditions de la fertilité du sol était sa teneur en éléments minéraux. Un sol riche en contient davantage qu'un sol pauvre.

7. — Les racines des végétaux se comportent relativement à l'assimilation des aliments qu'elles tirent de l'atmosphère absolument comme les feuilles ; c'est-à-dire que, comme ces dernières, elles possèdent la propriété d'absorber l'acide carbonique et l'ammoniaque et de les utiliser dans leurs tissus de la même manière que si l'absorption avait eu lieu par les feuilles.

8. — L'ammoniaque que le sol renferme ou qu'on lui ajoute se comporte comme un élément du sol ; il en est de même de l'acide carbonique.

9. — Les matières végétales et animales, les excréments des animaux se putréfient et se décomposent. Par suite de la décomposition, l'azote de leurs éléments se transforme en ammoniaque. Une petite partie de l'ammoniaque passe à l'état d'acide nitrique, produit de l'oxydation de l'ammoniaque.

10. — Nous avons tout lieu de croire que, dans la nutrition des végétaux, l'acide nitrique peut remplacer l'ammoniaque,

est-à-dire que l'azote du premier est utilisé par l'organisme végétal dans le même but que celui de la seconde.

11. — Le fumier ou engrais animal ne fournit donc pas seulement aux plantes les substances minérales, mais bien encore elles que les végétaux puisent dans l'atmosphère. Cet apport d'engrais augmente donc la qualité des éléments nutritifs contenus dans l'atmosphère.

12. — Les principes nutritifs fournis à la plante par le sol pénètrent par les racines dans l'organisme végétal. Leur introduction s'effectue à l'aide de l'eau qui les dissout et leur sert de véhicule<sup>1</sup>. Certains d'entre eux sont solubles dans l'eau pure, d'autres seulement dans l'eau contenant de l'acide carbonique ou certains sels.

13. — Toutes les matières qui rendent solubles dans l'eau les éléments du sol insolubles par eux-mêmes augmentent, par leur présence dans le sol, la quantité de ces principes que pourrait dissoudre un même volume d'eau de pluie.

14. — La décomposition progressive des détritux végétaux et animaux qui constituent le fumier donne naissance à de l'acide carbonique et à des sels ammoniacaux. Cet engrais constitue donc dans le sol une source d'acide carbonique; il en résulte que l'air et l'eau confinés dans la terre fumée sont plus riches en acide carbonique qu'en l'absence de fumier.

15. — Le fumier ne procure pas seulement aux plantes une certaine somme d'aliments minéraux et atmosphériques: l'acide carbonique et les sels ammoniacaux résultant de sa décomposition leur fournissent encore le moyen d'assimiler les éléments, insolubles par eux-mêmes dans l'eau, et cela en plus grande quantité, dans le même temps, qu'en l'absence des matières organiques putrescibles.

16. — Dans les années chaudes et sèches, les plantes reçoivent du sol, toutes proportions gardées, moins d'eau que dans les années humides. Les récoltes sont, dans les différentes années, en rapport avec le degré de sécheresse ou d'humidité. La production d'un champ donnant, par suite de sa constitution, un

<sup>1</sup> Les nombreuses recherches de cultures des plantes dans l'eau ont mis hors de doute cette assertion, mais il y a un autre mode de nutrition spécial aux légumineuses, dû au parasitisme d'organismes bactéroïdes qui vivent dans les tubercules des racines.

faible rendement dans les années sèches, augmente dans une certaine limite dans les années de pluie plus abondante, la température moyenne restant la même.

17. — De deux champs dont l'un renferme, absolument parlant, plus de matières nutritives que l'autre, le plus riche est, toutes choses égales d'ailleurs, même dans les années sèches, d'un rapport plus considérable que l'autre.

18. — De deux champs de même qualité et d'égale teneur en principes minéraux, mais dont l'un renferme, en outre, une source d'acide carbonique provenant d'éléments putrescibles végétaux, de fumier, par exemple, ce dernier est, toutes choses égales d'ailleurs, d'un plus grand rapport que l'autre. La cause de cette différence, de cette inégalité dans les rendements, réside dans l'apport inégal, qualitativement et quantitativement, que les plantes reçoivent du sol dans les temps égaux.

19. — Tous les obstacles qui s'opposent à ce que les éléments nutritifs des plantes que renferme le sol soient assimilés s'opposent, dans la même mesure, à ce que ces éléments concourent à la nutrition, c'est-à-dire qu'ils paralysent la nutrition. Une certaine constitution physique du sol est une condition indispensable de l'efficacité des aliments qu'il renferme. Le sol doit laisser pénétrer l'air et l'eau et permettre aux radicelles de se propager dans toutes les directions pour chercher la nourriture de la plante. L'expression de conditions *telluriques* désigne l'ensemble des conditions nécessaires au développement de la plante, en tant qu'elles dépendent de la constitution physique et de la composition du sol.

20. — Toutes les plantes, sans distinction, ont besoin pour leur nutrition d'acide phosphorique, d'acide sulfurique, d'alcalis, de chaux et de fer; certaines espèces demandent de la silice; les plantes qui poussent sur le rivage de la mer et dans la mer prennent du sel marin, de la soude, des iodures métalliques. Dans beaucoup d'espèces végétales, la chaux et la magnésie peuvent partiellement remplacer les alcalis et réciproquement. Toutes ces substances sont comprises sous la dénomination d'aliments minéraux. Les aliments atmosphériques sont l'acide carbonique et l'ammoniaque. L'eau sert à la fois d'aliment et d'adjuvant dans les phénomènes de l'assimilation.

21. — Les principes nutritifs nécessaires à un végétal ont une importance égale, c'est-à-dire qu'un seul d'entre eux faisant défaut, la plante ne prospère pas.

22. — Le sol des champs propres à la culture de toutes les espèces de végétaux renferme tous les éléments nécessaires à ces espèces. Les mots fertile ou riche, stérile ou pauvre, expriment la proportion relative de ces éléments du sol en quantité et en qualité. On entend par différence en qualité, l'état différent de solubilité ou de transmissibilité des aliments minéraux dans l'organisme végétal par l'intermédiaire de l'eau.

De deux espèces de sol renfermant les mêmes quantités d'aliments minéraux, l'un peut être fertile (considéré comme riche), l'autre stérile (regardé comme pauvre), si, dans le dernier, ces aliments ne sont pas libres, mais bien engagés dans une combinaison chimique.

23. — Toutes les espèces de sols propres à la culture renferment les éléments minéraux des plantes, sous ce double état. Considérés ensemble, ils constituent le capital; les éléments solubles, à l'état de liberté, représentent la partie mobile, le fonds de roulement du capital.

24. — Améliorer un sol, l'enrichir, le rendre fertile par des moyens convenables, mais sans lui apporter du dehors des éléments minéraux, c'est mobiliser et mettre en liberté, rendre utilisable pour les plantes une partie du capital mort, immobilier, c'est-à-dire les aliments combinés chimiquement.

25. — La préparation mécanique d'un champ (labours, etc.), pour objet de vaincre les résistances chimiques du sol, de provoquer la transformation des détritux végétaux et animaux en acide carbonique, et en ammoniaque de mettre en liberté et de rendre assimilables les aliments minéraux qui s'y trouvent engagés dans des combinaisons chimiques. Cela arrive par le concours de l'atmosphère, de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'eau. L'action produite sur les éléments minéraux du sol s'appelle désagrégation; celle qui s'exerce sur les détritux organiques, putréfaction. La présence d'eau dans le sol, s'opposant au contact de l'air atmosphérique avec les combinaisons chimiques, est un obstacle à la désagrégation et à la putréfaction.

26. — L'époque pendant laquelle s'effectue la désagrégation est la jachère. A ce moment, le sol reçoit, par l'intermédiaire de l'air et des eaux pluviales, de l'acide carbonique et de l'am-

moniaque. La dernière reste dans le sol quand il renferme des matières qui la fixent, c'est-à-dire lui enlèvent sa volatilité.

27. — Un sol est fertile, pour une espèce végétale donnée, quand il renferme, en quantité et dans un rapport convenable, les matières nutritives nécessaires à cette espèce, sous un état qui en permette l'assimilation.

28. — Lorsque, par suite d'une série de récoltes, après lesquelles les éléments minéraux absorbés par les plantes n'ont pas été remplacés, ce sol a perdu sa fertilité pour cette espèce végétale, une ou plusieurs années de jachère la lui restituent, si, à côté des éléments solubles qui ont disparu, il renferme une certaine somme des mêmes matières à l'état de combinaison. En effet, pendant la jachère la culture mécanique et la désagrégation ont rendu ces dernières solubles. Le système de fumure dit engrais vert amène plus rapidement le même résultat.

29. — La jachère et les labours ne peuvent rendre fertile un sol qui manque d'aliments minéraux.

30. — L'accroissement de la fertilité d'un champ par la jachère et par la préparation mécanique, joint à la soustraction des éléments du sol par les récoltes, en l'absence de restitution de ces éléments, a pour résultat, au bout d'un temps plus ou moins long, d'amener la stérilité durable de ce champ.

31. — Si l'on veut rendre durable la fertilité d'une terre, il faut, après plus ou moins de temps, remplacer les éléments soustraits par les récoltes, c'est-à-dire restituer au sol sa composition première.

32. — Différentes espèces végétales ont besoin, pour se développer, des mêmes matières minérales, mais en quantités et dans des temps inégaux. Quelques plantes agricoles doivent rencontrer de la silice à l'état soluble.

33. — Si un champ donné contient une certaine somme de tous les aliments minéraux en quantités égales et sous un état convenable, ce champ deviendra stérile pour une espèce particulière, lorsque, par une succession de récoltes, un élément spécial du sol, la silice soluble, par exemple, aura été exporté dans une proportion telle que la quantité restante ne suffise plus à une nouvelle récolte de cette plante.

34. — Une seconde plante, qui n'exige plus cet élément (la silice), cultivée dans le même champ, pourra donner une ré-

colte ou une série de récoltes. En effet, les autres éléments minéraux nécessaires à cette nouvelle plante existent dans le sol en proportions différentes, il est vrai (ils ne s'y trouvent plus en quantités égales), mais en quantités suffisantes pour le développement du végétal en question. Une troisième espèce prospérera après la seconde, dans le même champ, si les éléments restants suffisent aux besoins de la récolte, et si, pendant la culture de cette plante, la désagrégation rend soluble une nouvelle quantité de l'élément manquant (de la silice dans notre hypothèse), la première plante pourra de nouveau, toutes les autres conditions étant remplies, être cultivée dans le même champ.

35. — C'est sur l'inégale quantité, sur la qualité diverse des aliments minéraux et sur les proportions différentes dans lesquelles ils servent au développement des diverses espèces végétales que reposent le système dit culture alternante, et les différences que présente la succession des récoltes dans les diverses régions agricoles.

36. — Toutes choses égales, d'ailleurs, la croissance d'une plante, l'augmentation de sa masse et son complet développement dans un temps donné sont en rapport avec la surface des organes destinés à recevoir l'alimentation. La quantité de matière nutritive qui peut être puisée dans l'air dépend de la surface et du nombre des feuilles; celle des aliments fournis par le sol, du nombre et de la surface des radicelles.

37. — Si, pendant la période de formation des feuilles et des racines, on donne à deux plantes de même espèce une quantité égale d'aliments dans le même temps, l'accroissement de leur masse sera différent, il est plus considérable chez la plante qui reçoit plus de nourriture; le développement du végétal est accéléré. La même inégalité se manifeste dans l'accroissement des plantes si on leur donne la même nourriture, en quantité, mais sous un état de solubilité différent. On diminue le temps nécessaire au développement d'une plante en lui donnant, dans un espace de temps et sous un état convenables, les quantités nécessaires de tous les aliments atmosphériques et telluriques indispensables à sa nutrition. Les conditions qui permettent d'abrégier la durée du temps nécessaire à son développement sont corrélatives de celles qui amènent l'accroissement de masse de la plante.

38. — Deux plantes dont les radicelles sont de longueur et d'expansion égales poussent moins bien l'une à côté de l'autre ou l'une après l'autre, à la même place, que deux plantes dont les racines, de longueurs inégales, reçoivent leur nourriture dans le sol à des profondeurs et dans des places différentes.

39. — Les aliments nécessaires à la vie d'une plante doivent agir simultanément dans un temps donné pour que cette plante atteigne, dans cette période, son complet développement. Plus est considérable le développement d'une plante dans un temps donné, plus elle exige de principes nutritifs dans ce même temps; les plantes annuelles exigent plus d'aliments que les espèces persistantes.

40. — Si, dans le sol ou dans l'atmosphère, l'un des éléments qui concourent à la nutrition des plantes vient soit à se trouver en quantité insuffisante, soit à manquer des qualités qui le rendent assimilable, la plante ne se développe pas ou se développe mal. L'élément qui fait complètement défaut ou qui n'existe pas en quantité suffisante empêche les autres principes nutritifs de produire leur effet ou tout au moins diminue leur action nutritive.

41. — En ajoutant au sol l'élément absent ou n'existant pas en quantité suffisante, en facilitant la dissolution des principes insolubles, on restitue aux autres éléments leur efficacité. L'absence ou l'insuffisance d'un élément nécessaire, tous les autres existant dans le sol, rend ce dernier stérile pour toutes les plantes à la vie desquelles cet élément est indispensable. Le sol produira d'abondantes récoltes si on lui fournit cet élément en quantité et sous un état convenable. Si l'on est en présence d'un sol dont on ne connaît pas la teneur en aliments minéraux, des essais faits avec chacun des éléments des engrais pris isolément serviront à faire connaître la nature du sol et la présence des autres éléments de l'engrais dans ce sol. Si, par exemple, le phosphate de chaux agit, c'est-à-dire élève le rendement du champ, cela sera une preuve que ce champ n'en contenait pas, ou tout au moins pas assez, tandis qu'il était suffisamment pourvu des autres principes nutritifs, car, si un autre élément nécessaire avait en même temps fait défaut, le phosphate de chaux n'eût pas produit d'effet.

42. — L'efficacité de l'ensemble des éléments du sol, dans



un temps donné, dépend du concours des éléments atmosphériques dans le même temps.

43. — Réciproquement, l'efficacité des éléments atmosphériques, dans un temps donné, est liée à un concours simultané des éléments du sol. Si les éléments du sol existent en quantité et à un état convenable, le développement de la plante est en rapport avec la quantité des aliments atmosphériques que la plante a pu assimiler et a réellement assimilés. Le nombre et la masse des plantes qu'on peut cultiver dans un champ d'une surface donnée s'élèvent et s'abaissent proportionnellement à la quantité et à la qualité des aliments minéraux du sol, et avec l'absence ou l'existence des obstacles que les propriétés physiques de la terre peuvent apporter à leur assimilation. Les plantes qui croissent dans un sol fertile y enlèvent, à l'air atmosphérique, plus d'acide carbonique et d'ammoniaque que celles qui poussent sur un sol stérile. La quantité qu'elles absorbent de ces gaz est proportionnelle à la fertilité du sol : elle n'est limitée que par la teneur de l'air en acide carbonique et en ammoniaque.

44. — Les conditions atmosphériques et la croissance des plantes (apport d'acide et d'ammoniaque) restant les mêmes, les récoltes sont directement proportionnelles à la quantité d'aliments minéraux fournis par l'engrais.

45. — Dans les conditions telluriques égales, les récoltes sont proportionnelles à la quantité des éléments atmosphériques fournis par l'air et par le sol. Si l'on ajoute aux éléments minéraux actifs du sol de l'ammoniaque et de l'acide carbonique, on augmente la fertilité de la terre.

La réunion des conditions telluriques et atmosphériques et leur action simultanée en quantité, qualité et durée convenables, déterminent le maximum dans les rendements.

46. — L'apport (au moyen de sels ammoniacaux, d'humus) d'une quantité d'aliments atmosphériques supérieure à celle que fournit l'air augmente, pour une période donnée, la puissance nutritive des aliments minéraux du sol. Dans un même temps, sous cette influence, des surfaces égales de terre donneront des récoltes plus considérables : on pourra, dans une année, faire une récolte égale à celle de deux années sur une terre qui n'aurait pas reçu cette addition.

47. — Dans un sol riche en principes nutritifs minéraux, le

rendement ne peut être augmenté par l'addition d'éléments minéraux.

48. — Dans une terre riche en aliments atmosphériques, le rendement ne peut s'accroître par l'addition d'une nouvelle quantité de ces dernières.

49. — On obtient d'un champ riche en aliments minéraux, pendant une année ou pendant une série d'années, des récoltes abondantes en ajoutant et en incorporant au sol de l'ammoniaque seule, ou de l'humus et de l'ammoniaque, sans restituer à la terre les éléments absorbés par les récoltes.

La persistance des rendements dépend alors de la quantité et de la qualité des éléments minéraux contenus dans le sol. La pratique longtemps continuée de ce système amène l'épuisement du sol.

50. — Si, après avoir épuisé la terre, on veut lui restituer sa fertilité première, il faut lui rendre les éléments qu'elle a perdus pendant cette série d'années. Si, dans dix ans, le sol a donné des récoltes, sans qu'on ait fait une compensation des aliments exportés, il faudra, la onzième année, restituer au champ une quantité décuple de principes nutritifs si l'on veut lui conserver la faculté de fournir une nouvelle série d'un nombre égal de récoltes.

L'énoncé de ces aphorismes suffit à rétablir la vérité sur l'historique de la nutrition minérale dont Liebig est le véritable fondateur.

---

## PREMIÈRE PARTIE

# LA NUTRITION DES VÉGÉTAUX

---

### CHAPITRE I

## ORIGINE DE LA MATIÈRE VÉGÉTALE

Tout dans le monde organique comme dans le monde minéral est composé des mêmes éléments : la matière organique et la matière brute ont les mêmes corps simples : métaux et métalloïdes. La vie emprunte ses matériaux au règne minéral et les lui rend tôt ou tard, car tout en provient chimiquement et tout y revient. Telle substance minérale, par le travail de la végétation, sera engagée dans une combinaison organique et fera partie intégrante de la substance vivante, et dans un avenir peu éloigné retournera à l'état minéral pour reconstruire d'autres ouvrages toujours détruits et toujours renouvelés.

En un mot les éléments chimiques constituent le fonds commun des choses où « rien ne se perd, rien ne se crée ». Ils sont la matière première sur laquelle travaillent les lois physiques pour édifier les êtres organisés et tout d'abord les plantes.

C'est qu'en effet, dans le cycle sans fin qu'accomplit l'atome pour passer de l'état inerte à l'état organisé, c'est le protoplasma, et surtout celui des plantes, qui est l'intermédiaire indispensable : c'est lui qui met en œuvre la terre, l'air et l'eau pour en extraire le carbone, l'oxy-

gène, l'hydrogène et l'azote avec lesquels il fabrique les corps les plus complexes, les matériaux organiques.

Cette mise en œuvre des matériaux élémentaires ne s'accomplit pas en vertu d'un processus vital invariable. Ce sont des lois physiques qui en dirigent l'accomplissement. Or les lois physiques sont sans cesse tourmentées par des facteurs extérieurs qui, sans modifier essentiellement la marche des phénomènes, en font varier l'effet. Ainsi la résultante du faisceau de forces agissantes sera sans cesse variable en grandeur et en direction ; et, comme cette résultante constitue l'impulsion vitale, la plante ressentira à chaque instant le contre-coup des variations du milieu extérieur.

L'étude de la plante suppose donc la connaissance du milieu où elle vit.

La plante a toujours comme point de départ une partie de la plante mère. Suivant le cas on a : soit la reproduction par graine, soit la reproduction par scissiparité ou par gemmiparité (tubercule, bulbe, bouture).

Dans les deux cas il y a un premier stade du développement où la plante puise en elle-même une partie de son alimentation. Pendant ce temps, de nouveaux organes se développent (racines, rejets, pousses feuillées) qui vont ensuite permettre à la plante de puiser son alimentation dans le milieu externe (atmosphère, sol).

Si l'on considère le cas général, celui de la reproduction par graine, on voit que dans la graine la plante préexiste sous la forme de l'embryon. On peut donc reporter la naissance de la plante au stade de formation même de cet embryon, c'est-à-dire à l'époque qui suit la fécondation. Pendant ce laps de temps, qu'on peut appeler la maturation de la graine, l'embryon s'organise et

s'entoure de substances nutritives qui émigrent de la plante mère.

Ce sont là les premiers matériaux qui serviront à l'édification de la plante.

Deux cas peuvent se présenter.

La graine possède un albumen, ou bien, celui-ci étant absent, ce sont les cotylédons qui emmagasineront les réserves alimentaires. Dans les deux hypothèses, l'absorption et la digestion de ces réserves par l'embryon seront le point de départ de l'accroissement de la jeune plantule.

La migration des substances de l'albumen ou des cotylédons vers l'axe de l'embryon s'opérera suivant les lois physiques de transport dont nous nous occuperons plus loin. Toujours, bien entendu, les substances nutritives devront prendre pour émigrer l'état soluble. Des transformations chimiques sont donc nécessaires; nous les définirons ultérieurement. Une fois la jeune plantule capable de se suffire à elle-même, c'est dans le milieu qui l'environne qu'elle puisera ses matériaux de construction. Comme, en général, elle possède par sa racine une vie souterraine, et par sa tige et ses dépendances une vie aérienne, le sol et l'atmosphère seront mis à contribution.

**Éléments nécessaires aux plantes.** — Les végétaux ne renferment pas plus de quatorze éléments ou corps simples fondamentaux.

Les quatre principaux, qui constituent plus de 90 pour 100 de la plante, sont encore appelés *éléments organiques*.

Ce sont des corps gazeux engagés dans des combinaisons variées.

Les dix autres corps simples qui forment la partie *minérale* des plantes, et se retrouvent dans les cendres après incinération, proviennent exclusivement du sol et sont des corps solides.

Enfin, un certain nombre d'éléments accidentels peuvent se rencontrer aussi dans les cendres.

Le tableau de la page 27<sup>1</sup> donne une vue d'ensemble des éléments des plantes.

**Source des éléments organiques.** — L'AZOTE DES PLANTES. — *Azote fourni par le sol.* — Dans le sol la plante trouve trois sources d'azote, qui sont :

- 1° Les nitrates ;
- 2° Les sels ammoniacaux ;
- 3° La matière organique.

MM. Hellriegel et Wilfarth, par des cultures dans du sable, ont établi que le poids des végétaux obtenus (graminées) était sensiblement proportionnel aux quantités de nitrates mises en œuvre.

C'est Davy et Schattenmann qui ont étudié l'importance de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux ; M. Müntz a ensuite prouvé l'absorption de l'ammoniaque par les racines des plantes.

La matière organique de son côté agit surtout comme source de nitrates et de sels ammoniacaux quand elle se décompose ; nous expliquerons plus loin par quel mécanisme.

*Azote fourni par l'atmosphère.* — Les prairies et les forêts ne reçoivent pas de fumure azotée et possèdent cependant une végétation active.

C'est une preuve que l'atmosphère cède au sol des

<sup>1</sup> GRANDEAU, *Cours d'agriculture.*

I. — ÉLÉMENTS FONDAMENTAUX

Gazeux.....	Azote, Hydrogène, Oxygène, Carbone,	Ammoniaque, Eau, Acide carbonique,	Acide nitrique,	Corps gras, Corps neutres, Acides végétaux,	Matières protéiques. Alcaloïdes.
Solides.....	Potassium. Sodium, Calcium, Magnésium, Fer, Manganèse, Phosphore, Soufre, Silicium, Chlore <sup>1</sup> ,	Combinés à l'oxygène et aux acides,	Combinés à l'oxygène et aux bases à l'état d'acides,	Cendres des végétaux.	

II. — ÉLÉMENTS ACCIDENTELS

Brome, Iode, Fluor, Aluminium, Cuivre, Plomb, Zinc, Nickel, Cobalt, Barium, Strontium, Lithium,  
 Rubidium, Cæsium, Argent.

<sup>1</sup> Rangé dans les solides parce que ce sont les chlorures qui les introduisent dans l'alimentation.

vapeurs nitreuses et ammoniaeales. A côté de ces impuretés de l'air, on doit se demander si l'azote libre (79 pour 100), peut jouer un rôle dans l'assimilation de l'azote. Boussingault, puis G. Ville ont émis à ce sujet les idées les plus contradictoires.

M. Berthelot pensait que les matières ternaires des végétaux sont capables de fixer l'azote sous l'influence des effluves électriques atmosphériques.

C'est à la suite des recherches précises et concluantes de MM. Hellriegel et Wilfarth qu'on put se faire une opinion motivée.

Les plantes de la famille des légumineuses ont la faculté de fixer à haute dose l'azote gazeux de l'air. Cette fixation est corrélative de l'existence sur leurs racines de nodosités (*fig. 1*) auxquelles donnent naissance et où se développent des bactéries d'espèce variable suivant l'espèce végétale attaquée.

M. Berthelot démontra, vers 1884, que certains organismes inférieurs possèdent incontestablement la faculté de s'assimiler l'azote gazeux. Lorsqu'en effet on laisse quelque temps exposé à l'air un sol pauvre en matières azotées, on constate que peu à peu ce sol s'enrichit en azote, ce qui n'a pas lieu s'il a été préalablement stérilisé par l'action de la chaleur. Cette fixation est donc l'œuvre d'agents vivants et ces agents ne peuvent être que les algues ou les microorganismes de toutes sortes qui se développent toujours à la surface des sols non stérilisés.

Peu de temps après, MM. Hellriegel et Wilfarth remarquèrent la relation constante qui existe entre la plus ou moins grande abondance de nodosités sur les racines des légumineuses et la plus ou moins grande vigueur



de végétation de la plante. Ils en conclurent que ce sont les bactéries renfermées dans les nodosités qui sont les agents fixateurs de l'azote.

Pour vérifier cette hypothèse par l'expérience, ces savants cultivèrent des graines de pois, de lupin, de sainfoin dans du sable additionné de sels minéraux, mais stérilisé. Toutes les plantes restèrent chétives, ne gagnèrent pas en azote, et sur leurs racines ne se produisit aucun renflement.

Dans une expérience parallèle, mais sur du sable additionné de terre arable, les plantes se développèrent vigoureuses et normales, en même temps que sur les racines se développèrent de nombreuses nodosités.

M. Bréal a démontré ensuite que c'étaient bien les bactéries des nodosités qui étaient actives.

Il a en effet inoculé par injection avec un liquide provenant de nodosités une plante enracinée dans un sol stérilisé. L'exemplaire inoculé s'est rapidement couvert

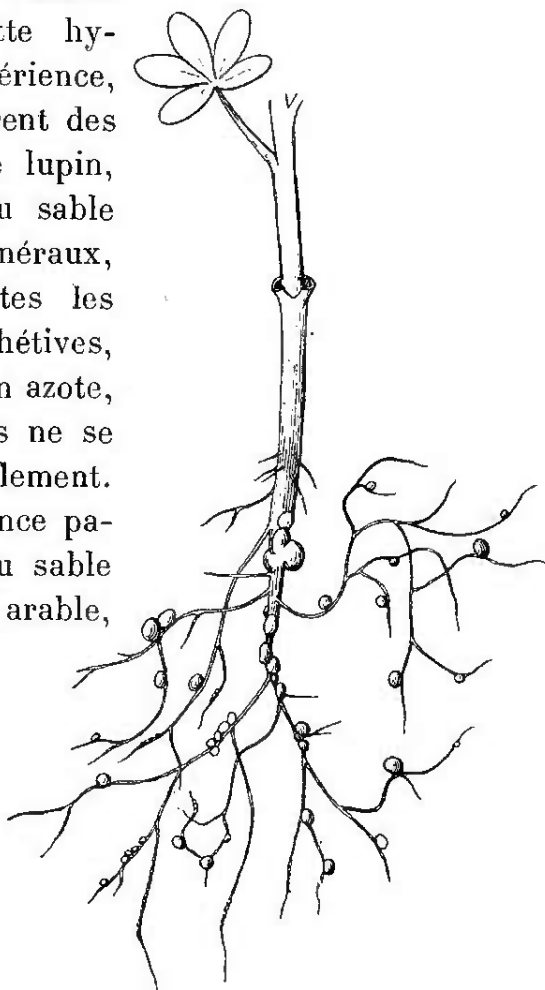


FIG. 1. — Racine de Lupin portant des nodosités à bactéroïdes.

de nodosités radiculaires et s'est enrichi en azote. C'est donc bien la bactérie de la légumineuse qui produit les nodosités, et c'est seulement lorsque cette bactérie se développe que la plante suit le cours normal de sa végétation, s'enrichit en azote, fleurit et fructifie.

Cet azote emmagasiné par la plante devait être manifestement emprunté à l'atmosphère, puisque chaque fois on avait eu soin d'éliminer toutes les substances azotées du sol. Le fait de l'assimilation de l'azote de l'air est d'autant mieux démontré que MM. Schlœsing fils et Laurent ont pu constater l'appauvrissement en azote de l'atmosphère, à mesure que la plante s'enrichit.

Le développement des nodosités subit, du reste, l'influence du milieu<sup>1</sup>. C'est ainsi que l'humidité du sol favorise considérablement leur développement<sup>2</sup>.

Généralement les nodosités sont d'autant plus rares que le sol est plus riche en engrais azotés.

Certaines matières salines ont une influence sur le plus ou moins grand développement des tubercules; l'absence d'acide phosphorique, de chaux et de magnésie détermine une végétation rabougrie et supprime l'aptitude à produire des nodosités; sans potasse et sans fer

<sup>1</sup> Au cours d'une mission scientifique que nous avons accomplie dans le Sahara algérien, nous avons observé que les légumineuses cultivées dans des terrains secs, ou les légumineuses spontanées des sols arides et secs, étaient dépourvues de nodosités sur leurs racines ou n'en présentaient qu'un très petit nombre.

Expérimentalement nous étions arrivés à la même conclusion. (*Comptes rendus Académie des sciences*, mai 1893.)

Depuis, différents observateurs (*Comptes rendus*, octobre 1893, mars 1894) ont complètement confirmé nos résultats.

<sup>2</sup> EDMOND GAIN, *Influence de l'humidité du sol sur le développement des nodosités des légumineuses*. *Comptes rendus Acad. sc.*, juillet 1893.

les plantes poussent mieux, les racines sont ramifiées et vigoureuses, mais ne portent guère de tubercules; enfin, dans l'eau distillée les nodosités sont plus nombreuses que lorsque les solutions sont privées d'acide phosphorique, de chaux et de magnésie.

*Rhizobium leguminosarum*. — L'organisme bactéroïde en question (fig. 2) a la forme d'un T ou d'un Y. La bac-

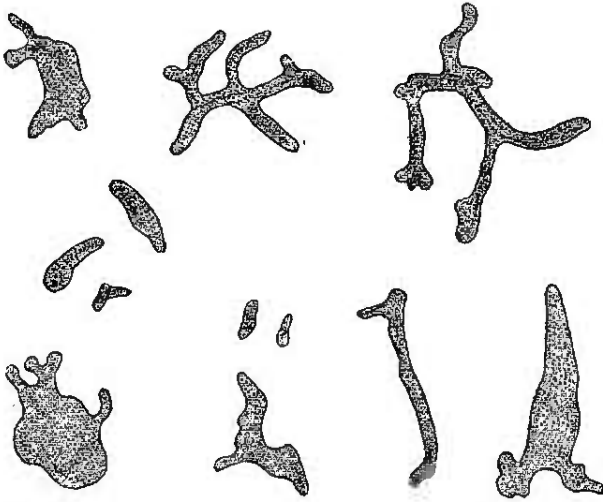


FIG. 2. — *Rhizobium leguminosarum*. — Culture en solution minérale additionnée de 1 0/0 de saccharose et de 1 0/0 de peptone. (Grossissement: 1500 diamètres.)

térie prise sur une espèce donnée peut parfaitement être inoculée à une autre espèce. Cependant le microbe des nodosités du lupin ne s'implante qu'assez difficilement sur les racines des pois. Dans tous les cas l'inoculation n'a chance de réussir que si la semence a été prise à un tubercule jeune. Dès que les fleurs sur la plante commencent à se former, la vitalité du microbe diminue sensiblement. Jamais la bactérie ne semble pouvoir vivre à l'état isolé dans la terre, c'est donc avec l'hôte un parasitisme à bénéfice réciproque (symbiose).

C'est, du reste, un être essentiellement aérobie auquel

l'oxygène de l'air est nécessaire. Quant à sa détermination spécifique, elle est due à M. Laurent. Ce n'est pas une bactérie proprement dite, car sa division ne se fait pas transversalement. On trouve dans les nodosités des filaments protoplasmiques non cloisonnés, assez irréguliers, qui passent d'une cellule à l'autre et se renflent çà et là en masses ovoïdes ou sphériques (*fig. 3*); ce sont ces masses qui, en bourgeonnant, donnent les microbes. Ce mode

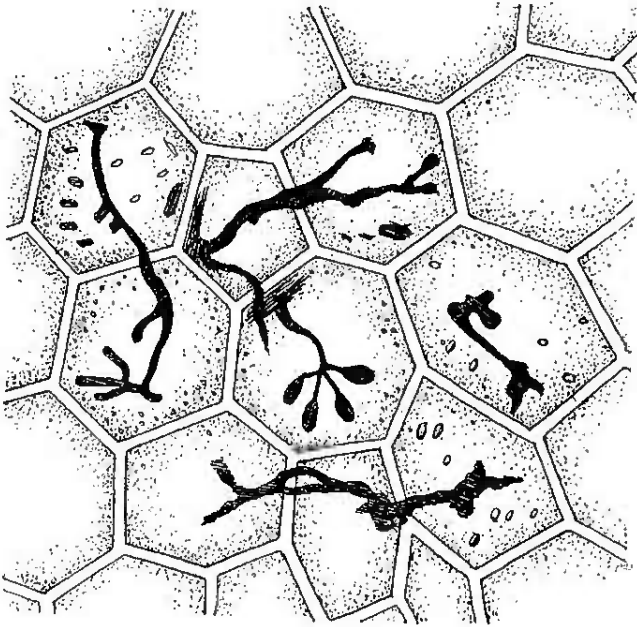


FIG. 3. — Cellules du tubercule du Pois. Les filaments du *Rhizobium* portent des bactéroïdes. La cellule centrale renferme quatre corps ovoïdes, en grappe et à surface lisse. Grossissement : 700 diamètres.

de reproduction éloigne sensiblement le parasite des légumineuses des bactériacées ordinaires. Aussi M. Laurent le place-t-il entre les bactéries et les champignons inférieurs dans le groupe nouveau des *Pasteuriacées*; l'organisme est appelé *Rhizobium leguminosarum*. On ne l'a rencontré jusqu'ici que sur les plantes de la fa-

mille des légumineuses dont font partie les plantes cultivées dites *améliorantes* (fig. 4 et 5).

La terre végétale, surtout celle où déjà des légumineuses ont été cultivées, contient les germes du *Rhizobium*. Les légumineuses qui végètent dans ce sol acquièrent des nodosités et, par suite, fixent l'azote gazeux.

Il est probable que d'autres plantes que les légumineuses sont capables de fixer l'azote libre. C'est un champ de recherches des plus intéressants.

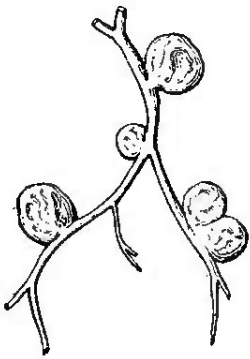


FIG. 4. — Nodosités des racines du Lupin (*Lupinus albus*), grandeur naturelle.

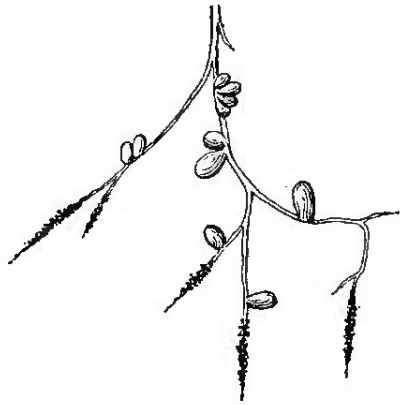


FIG. 5. — Nodosités des racines du Pois (*Pisum sativum*), grandeur naturelle.

**LE CARBONE DES PLANTES.** — Aux plantes non vertes le carbone peut être présenté sous bien des formes : la glucose, l'acide tartrique sont généralement préférables ; mais la mannite, le tannin, les acides citrique et malique, la glycérine, l'alcool, l'acide acétique et même l'acide oxalique sont des composés où la plante peut aussi, du moins dans certains cas, puiser son carbone.

L'oxyde de carbone et l'acide carbonique, au contraire, ne peuvent donner du carbone à la plante non verte.

Si la plante est verte, c'est-à-dire pourvue de chlorophylle, outre les sources dont nous venons de parler

elle peut puiser son carbone dans l'acide carbonique de l'air qu'elle décompose avec l'influence combinée de la lumière et de la chlorophylle.

C'est dans l'acide carbonique de l'air surtout que le végétal puise la quantité vraiment énorme de carbone nécessaire à ériger des massifs de cellulose qui peuvent atteindre, comme dans certains arbres, un volume de 4,500 mètres cubes<sup>1</sup> de bois (eucalyptus, sequoia, etc.). L'air ne fournit pas à lui seul, du reste, tout le carbone de la plante.

Le sol, qui renferme des liquides et des gaz, en fournit aussi par l'absorption des solutions salines où le carbone tient sa place (acides organiques, acide carbonique, fixés sur des sels minéraux). Les atmosphères du sol renferment, en effet, une certaine quantité d'acide carbonique provenant des décompositions et des fermentations, et qui sans nul doute peut être ingéré par les racines.

Des expériences sur ce point sont du reste à l'ordre du jour, et avant peu des résultats inattendus viendront peut-être affirmer l'importance de l'alimentation carbonée des racines.

L'OXYGÈNE DES PLANTES. — L'oxygène est assimilable sous forme gazeuse libre. Il faut faire une exception pour un certain nombre d'organismes appartenant pour la plupart au groupe des bactériacées (*Bacillus amylobacter*, par exemple). La présence de l'oxygène libre est même nécessaire à la vie normale de la plupart des plantes qui peuvent l'assimiler ; quelques-unes, comme la levure de bière, peuvent cependant vivre assez longtemps sans

<sup>1</sup> Ce calcul a été fait au moyen des dimensions d'un eucalyptus de Californie.

oxygène libre; elles provoquent alors dans le sucre une décomposition appelée *fermentation*.

L'oxygène est aussi assimilé à l'état de combinaison, soit avec l'hydrogène dans l'eau, soit à la fois avec l'hydrogène et le carbone dans la glucose et autres corps organiques, soit avec des corps minéraux acides ou basiques.

**L'HYDROGÈNE DES PLANTES.** — L'hydrogène n'est pas assimilé à l'état gazeux libre. Il l'est sous forme d'eau d'ammoniaque ou de corps organiques (binaires, ternaires, quaternaires).

**Source des éléments minéraux.** — Nous avons expliqué plus haut leur importance dans la vie de la plante. Rappelons que le sol est le réceptacle commun de tous ces éléments; c'est par ses racines que la plante pourra les y puiser, s'ils y existent sous une forme propice à l'absorption.

Le phosphore est assimilé sous forme d'acide phosphorique quel que soit le sel; le soufre sous forme d'acide sulfurique quel que soit le sel; le silicium sous forme d'acide silicique dans un silicate soluble; le potassium et le sodium sont assimilés sous forme d'oxydes ou de chlorures. Le fer, le zinc, le manganèse sont assimilés sous la forme d'oxydes.

C'est seulement sur l'alimentation minérale que l'agriculteur pourra influencer: quelques-unes des substances minérales peuvent en effet se trouver en quantité insuffisante dans la terre arable ou s'y trouver sous une forme peu assimilable.

Apporter ces éléments ou en modifier l'état de combinaison, tel sera le rôle de l'agronome.

*Conclusions.* — Ainsi, pour résumer, les matériaux qui

serviront à l'édification de la plante seront puisés soit dans la graine, soit dans l'air, soit dans le sol.

Les matériaux que la plante puise dans la graine sont complexes. Ceux qu'elle prendra dans le milieu extérieur seront plus simples. Elle disposera de tous les corps que nous avons cités, mais elle leur fera quelquefois subir une transformation avant de les absorber.

Oxygène, azote, acide carbonique, eau, ammoniac, acide nitrique, phosphore, soufre, silicium, chlore, et quelques métaux (potassium, sodium, calcium, magnésium, fer, manganèse), tels seront les corps utiles et nécessaires à la plante pour s'accroître en poids, pour développer ses divers membres et accomplir normalement son cycle évolutif.

---

## CHAPITRE II

### FORCES MISES EN JEU DANS LE TRAVAIL DE LA VÉGÉTATION

Toutes les forces internes de l'organisme végétal et les forces externes dérivées de la radiation solaire sont mises à son service pour y produire tous les phénomènes physiologiques. Malgré les captivantes théories de la thermochimie, de la conservation et de la transformation de l'énergie, il ne nous est pas encore possible de voir l'enchaînement de la matière et de la force; nous sommes impuissants à mettre en évidence la loi ou les lois simples qui régissent le fonctionnement de l'organisme et lui permettent avec des moyens très semblables de réaliser des effets extraordinairement variés.



## § 1. — RADIATION SOLAIRE

La source d'énergie, c'est la chaleur apportée par la radiation solaire. Cette radiation agit de plusieurs façons : soit directement en frappant la plante, soit indirectement par les changements qu'elle produit dans le milieu (échauffement, électrisation de l'air et du sol).

La radiation qui tombe sur la plante pénètre en partie dans son intérieur et y est en partie absorbée. Les principaux effets de la radiation dans son action directe sont :

1° Un effet thermique : élévation de la température de la plante (croissance, thermotropisme) ;

2° Un effet mécanique : certaines parties du corps de la plante sont déplacées (croissance, héliotropisme, phototactisme) ;

3° Un effet chimique : quelques substances se trouvent décomposées et d'autres se forment par synthèse (production de la chlorophylle, action de la chlorophylle).

La radiation solaire est donc la force unique qui fournit directement ou indirectement l'énergie nécessaire au travail de la plante.

## § 2. — FORCES INTERNES

Tout travail mécanique appréciable peut être qualifié de mouvement soit de masses assez grandes, soit de masses extrêmement petites. Cette conception correspond, dans le premier cas, à l'énergie *actuelle* ou de *mouvement* ; et dans le second cas, à l'énergie *potentielle* ou de *distance* <sup>1</sup>

<sup>1</sup> PFEFFER, *Sur l'Energétique des plantes*. La traduction française du mémoire de Pfeffer est due à M. Vesque, maître de conférences à l'Institut Agronomique et à la Sorbonne. Nous lui empruntons une bonne partie des idées relatives aux « Forces internes des plantes ».

**Énergie chimique.** — Le mouvement comprend-il des déplacements dans la molécule, nous avons la *réaction* et l'*énergie chimique*. Nous voyons, de plus, se dégager dans la plante de la chaleur et de la lumière ainsi que de l'électricité. Ces formes de l'énergie n'étant pas nécessairement liées à la matière pondérable, nous pouvons les opposer, sous le nom collectif d'énergie « immatérielle » ou « rayonnante », à l'énergie « matérielle » ou « mécanique ». Dans l'organisme végétal du reste, comme partout dans la nature, le potentiel d'énergie nécessaire à l'action peut résulter aussi bien de changements qui s'opèrent dans le substratum matériel que de l'effet et de la transformation de l'énergie rayonnante.

Dans toutes ses actions, l'organisme rencontre des résistances à vaincre. En effet, du travail se trouvera dépensé dans la vie intérieure comme dans la vie extérieure de la plante; dans l'accroissement, dans l'extension ou élongation des tissus, dans le déplacement des parties matérielles, dans les transformations chimiques endothermiques, dans les changements des molécules.

Toute cette somme de travail intérieur, composée de termes positifs et négatifs, n'est pas à présent exactement mesurable, mais certainement elle atteint de très grandes valeurs. Le travail extérieur est souvent aussi important. La racine pénètre dans un sol tenace, mais ce travail dépend de la grandeur variable de la résistance, il se réduit à peu de chose dans l'accroissement dans l'air ou dans l'eau.

Cette propriété de la plante d'*avoir à sa disposition une quantité variable d'énergie*, selon les circonstances, malgré la même somme intégrale d'énergie reçue, doit fixer notre attention.

**Énergie osmotique.** — L'*énergie osmotique*, si importante dans le végétal, est également indépendante de l'énergie chimique ; elle produit de la pression et de la tension, et, par la diffusion et la diosmose, conduit au transport des matières, à la migration de toutes les substances dissoutes.

**Énergie de surface.** — D'autres actions prennent naissance à la surface de contact entre solides et liquides. On peut dire qu'elles résultent de l'*énergie de surface*.

Nous rangeons dans cette catégorie l'*imbibition*, le *gonflement*, la *capillarité*, l'*absorption*, la *tension de surface*, les *phénomènes électrocapillaires*.

**Énergie de séparation.** — Il ne nous est enfin pas permis d'oublier la séparation d'un corps comme la *cristallisation*, qui est indépendante de la décomposition chimique. Il y a donc une *énergie de séparation* ou de *cristallisation*, énergie qui, de même que les changements dans l'état d'agrégation, est capable de vaincre de grandes résistances et joue probablement un rôle prédominant dans l'accroissement et dans d'autres phénomènes analogues.

— Partout, dans l'organisme végétal comme ailleurs, il n'y a pas de changements possibles dans un système donné, sans différence de potentiel ou sans potentiel énergétique. Ainsi, lorsqu'il y a diffusion, diosmose, pression osmotique, le potentiel énergétique réside dans l'inégale distribution des matières. Le gonflement, la capillarité, etc., manifestations de l'énergie de surface, exigent pour se produire un défaut d'équilibre. Enfin, il n'y a pas non plus de transformation chimique sans différence de potentiel correspondant.

La respiration, phénomène général de la vie, est loin

de fournir toute la force nécessaire au fonctionnement de l'organisme <sup>1</sup> En réalité, la respiration n'est qu'un cas très particulier de la transformation des matières. Si la quantité d'énergie qui devient disponible dans la respiration peut dépasser la somme de toutes les actions mécaniques, il n'en est pas moins vrai que l'énergie provenant de cette source est tout à fait indépendante des phénomènes d'énergie de surface.

En allant plus au fond des choses, on trouvera que toute énergie dans l'organisme vient non particulièrement de la respiration, mais, d'une manière plus générale, de l'*alimentation*.

### § 3. — INTRODUCTION DE L'ÉNERGIE DANS LA PLANTE

La plus grande partie de l'énergie est introduite dans la plante sous la forme d'aliments, dont une portion seulement, et souvent la plus faible, est employée comme matériaux de construction, le reste livré à de multiples décompositions avec dégagement d'énergie chimique devenant une source nécessaire de force vive pour l'organisme. Tout ne se fait pas par de l'énergie chimique, du moins directement; nous avons déjà vu, en effet, que l'organisme peut recevoir du dehors de l'énergie sous une autre forme.

Cette distinction entre l'aliment introduisant de l'énergie dans la plante et l'énergie directement introduite est d'ailleurs parfois subtile. Le sucre, qui dans une plante verte résulte de l'assimilation chlorophyllienne, et que cette plante a par conséquent fabriqué elle-même avec

<sup>1</sup> Voyez à ce sujet : GASTON BONNIER, *Recherches sur la chaleur végétale* (*Annales des sciences naturelles*, 1893).

l'énergie des rayons solaires, est l'équivalent physiologique d'une égale quantité de sucre absorbé par un champignon et qui, renfermant la même quantité d'énergie potentielle, a la même signification nutritive.

Au fond, l'assimilation chlorophyllienne n'est qu'un mode particulier d'introduction d'aliments organiques. Pour ce qui est de l'utilisation de ces aliments, il n'y a pas de différence de principe entre la plante verte et la plante privée de chlorophylle, entre le végétal et l'animal. Celui qui voudrait maintenir cette différence ferait aussi bien de diviser le genre humain en deux catégories : la première fabriquant elle-même son sucre et composée des fabricants de sucre ; la seconde, plus importante, composée du reste des hommes qui achètent le sucre en deuxième ou troisième main.

En dernière analyse, toute l'énergie mise en œuvre sur le globe nous vient du soleil.

De quelque façon qu'on s'y prenne, qu'on pense par exemple à des sources lumineuses ou caloriques autres que le soleil, à de l'énergie de surface telle que l'osmose, toujours on se trouve finalement ramené au soleil.

La métamorphose des matières se solde en général par une perte d'énergie chimique, ce qui ne veut pas dire qu'il ne puisse pas se former à sa suite des produits dont l'énergie chimique a augmenté par des sortes de virements de système en système.

De telles opérations jouent souvent un rôle important dans l'organisme, surtout dans les synthèses.

On sait que les bactéries, d'après Winogradsky, produisent la matière organique nécessaire à leur construction lorsqu'on leur offre, outre les sels minéraux ordinaires, du carbonate d'ammoniaque. Par l'oxydation de

ce corps en nitrite et en nitrate, de l'énergie chimique devient disponible, énergie dont une petite partie permet la synthèse de l'aliment organique nécessaire.

D'après le même auteur, il est possible que d'autres bactéries puisent l'énergie nécessaire à la production de matière organique dans l'oxydation du soufre et de l'hydrogène sulfuré, ou dans celle du protoxyde de fer.

L'avenir nous réserve peut-être la découverte d'autres faits analogues ; tous perdent ce qu'ils semblent avoir d'exceptionnel quand on songe qu'il ne s'agit partout que de synthèse avec dépense d'énergie chimique.

Les bactéries nitriques exigent, pour prospérer, l'arrivée continue d'oxygène et de carbonate d'ammoniaque ; leur existence dépend donc forcément de la production de substance organique par l'énergie rayonnante du soleil, car c'est sous l'influence du soleil que l'oxygène est constamment régénéré et que les nitrates se réduisent à l'état d'ammoniaque, en général, directement ou indirectement par les matières organiques.

Les dernières découvertes n'ont donc rien changé aux idées anciennes sur l'importance exclusive des radiations solaires.

---

### CHAPITRE III

## ÉTUDE DU SOL DANS SES RAPPORTS AVEC LA VÉGÉTATION

C'est par sa partie souterraine, la racine, que la plante s'alimente en principes minéraux.

La composition chimique et physique du sol doit donc intéresser tout particulièrement la végétation.

La partie superficielle du sol porte le nom de *terre arable*, elle est attaquée par les instruments agricoles. La partie sous-jacente porte le nom de *sous-sol* et joue un rôle très important dans la nutrition de la plante. Des observations nombreuses ont, en effet, établi que les plantes ont un système racinaire qui peut s'enfoncer très profondément (*fig. 6*). Les exemples suivants, dus à M. Orth, le démontrent avec évidence.

Nom de la plante.	Longueur des racines
Luzerne blanche .....	2 <sup>m</sup> ,65
Colza .....	1 65
Navet .....	1 43
Betterave .....	1 38
Avoine .....	1 27
Orge .....	1 35
Blé .....	1 09
Lupin .....	1 38

Ces résultats ne sont du reste que des moyennes, car M. Aimé Girard a observé, par exemple, une betterave à suere dont la racine atteignait 2<sup>m</sup>,50 de longueur.

Au point de vue pratique, nous devons donc conclure que la nature chimique du sous-sol est importante à considérer dans la culture. L'étude géologique de la

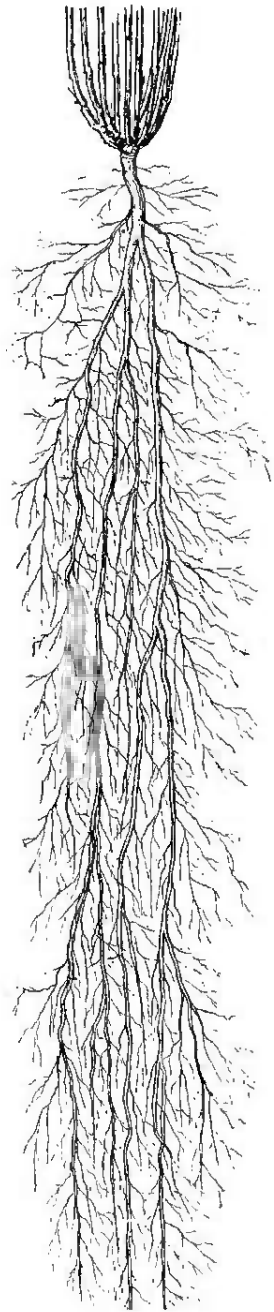


FIG. 6. — Racine de Luzerne.

région et l'examen des plantes spontanées donnent ordinairement sur ce point les renseignements les plus utiles.

Pour ce qui est de la terre arable, l'analyse chimique est toujours recommandable, afin d'éviter les mécomptes d'une simple observation quelquefois trompeuse.

### § 1<sup>er</sup>. — ÉTUDE GÉNÉRALE DES SOLS

Ils sont constitués par les quatre éléments essentiels suivants : 1<sup>o</sup> matière organique ; 2<sup>o</sup> sable ; 3<sup>o</sup> calcaire ; 4<sup>o</sup> argile.

**1. Matière organique.** — Elle est formée par les débris des végétaux qui subissent une décomposition lente, sous l'action de l'oxygène, de l'humidité et des microorganismes. Il en résulte des décomposés très complexes et variables.

M. Grandeau a montré que la matière organique des sols était douée d'une grande affinité pour certaines substances minérales très fertilisantes (potasse, acide phosphorique, chaux). Le rôle chimique de l'humus est important, parce qu'il est la source principale des nitrates, aliments essentiels des végétaux ; par l'acide carbonique qu'il fournit, il contribue à la dissolution et par suite au transport du carbonate de chaux. Grâce à son affinité pour les substances minérales, il retient des principes fertilisants qui sans lui seraient entraînés par les eaux dans les sous-sols. La matière organique agit en outre sur la constitution physique des sols, facteur important de fertilité.

**2. Sable.** — C'est, au point de vue de la quantité, l'élément chimique le plus important. S'il consiste en quartz, il est inattaquable ; mais, s'il comprend du feldspath ou d'autres minéraux décomposables, il donne lieu à des



réactions précieuses. Il peut être surtout une source d'alcali.

**3. Calcaire.** — Le calcaire ou carbonate de chaux, sous l'influence de l'eau et de l'acide carbonique, se dissout lentement à l'état de bicarbonate et s'élimine peu à peu.

Cette dissolution s'opère suivant une loi qui a été déterminée par M. Schlœsing. Il y a une relation entre la tension du gaz carbonique et le poids de carbonate de chaux dissous à l'état de bicarbonate, de sorte que, connaissant le volume d'eau qui a traversé un sol dans un temps donné, et le taux d'acide carbonique gazeux existant dans ce sol, on peut calculer la perte en carbonate de chaux. Il renferme ordinairement de l'acide phosphorique et modifie la constitution physique des terres et les phénomènes chimiques qui s'y passent.

**4. Argile.** — Elle provient des roches silicatées dont les bases alcalines ont été transformées en carbonates et dont la silice a été rendue libre et soluble. L'argile est toujours du silicate d'alumine hydratée, additionné d'une partie colloïdale.

**5. Classification des terres arables.** — La proportion variable des quatre éléments que nous venons de citer donne des sols très différents comme propriétés physiques et comme composition chimique.

En général, l'un des éléments prédomine et son influence doit être combattue soit par des *amendements*, soit par des *engrais* spéciaux qui rendent le sol plus complet au point de vue de l'alimentation minérale de la plante. Prise isolément, chacune de ces substances est, en effet, impropre à fournir une production végétale importante.

Pour faire une classification des terres arables, on s'est surtout occupé de leurs qualités physiques.

L'*argile* donne au sol de la ténacité, de l'humidité.

Le *sable* donne au sol de la perméabilité, il le rend meuble et apte à conserver la chaleur

Le *calcaire* enrichit la terre en chaux très utile à la végétation.

L'*humus* aère le sol, l'ameublît et retient l'humidité.

Suivant la prédominance de ces éléments on a des terres argileuses, sableuses, calcaires ou humifères.

Une terre est argileuse lorsqu'elle renferme, en argile, plus de 30 pour 100 de son poids.

Elle est sableuse lorsqu'elle renferme plus de 70 pour 100 de sable d'argile.

Elle est calcaire lorsqu'elle renferme plus de 20 pour 100 de carbonate de chaux.

Elle est humifère lorsqu'elle renferme plus de 10 pour 100 de terreau.

Si deux éléments prédominent, on a alors des terres argilo-calcaires, silico-calcaires, etc.

On trouvera dans le tableau de la page 47 la classification générale des sols.

## § 2. — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SOLS

Les principales propriétés physiques des sols vont successivement nous occuper. Ce sont : 1° la texture ; 2° la densité ; 3° la perméabilité ou l'imbibition ; 4° l'hygroscopicité ; 5° la dessiccation et l'évaporation ; 6° la ténacité ; 7° l'échauffement et le rayonnement.

Elles sont, du reste, dépendantes les unes des autres, de sorte que leur étude jusqu'ici est restée très complexe.

1. **Texture.** — La texture de deux sols de même composition chimique peut être très différente ; aussi est-il intéressant d'étudier par l'analyse mécanique quelle est

CLASSIFICATION DES TERRES ARABLES

Terre normale	Argile	Sable	Calcaire	Terreau
I TERRES ARGILEUSES + de 30 % d'ar- gile (les proprié- tés de l'argile do- minent celles des autres) .....	20 à 30 % + de 40 + de 30	50 à 70 % — de 50 50 à 70	5 à 10 % — de 5 — de 5	4 à 10 % 4 à 10 4 à 10
1. Terres franches .....				
2. Terres argileuses (l'argile domine) .....				
3. Terres argilo-sableuses (l'argile et le sable do- minent) .....				
4. Terres argilo-calcaires (l'ar- gile et le calcaire domi- nent) .....				
5. Terres argilo-humifères (l'argile et l'humus domi- nent) .....				
II TERRES NON ARGIL- LEUSES .....				
6. Terres siliceuses (la silice domine) ..	+ de 10	+ de 80	— de 5	4 à 10
7. Terres silico-argileuses ...	10 à 20	+ de 70	— de 5	4 à 10
8. Terres silico-calcaires ...	— de 10	+ de 70	5 à 10	4 à 10
9. Terres silico-humifères ...	— de 10	+ de 70	— de 5	+ de 10
10. Terres calcaires .....	— de 10	50 à 70	— de 10	4 à 10
11. Terres humifères .....	— de 10	— de 50	— de 5	+ de 15

la proportion des éléments de différentes grosseurs.

Souvent même le sol superficiel est plus profond que les labours les plus profonds. Il comprend alors, selon l'expression de Gasparin, un *sol actif* et un *sol inactif* sous-jacent. L'analyse mécanique de ces deux parties s'impose souvent, car les plantes s'approvisionnent dans l'un et dans l'autre.

Hors de petites quantités d'humus et d'argile colloïdale, une terre ne renferme que des éléments sableux, de diverses sortes; l'analyse les sépare par ordre de grosseurs, sans isoler des éléments absolument distincts comme ceux qui proviennent de l'argile et ceux qui lui sont étrangers.

Les éléments sont seulement classés dans des catégories conventionnelles, de façon que les lots d'éléments isolés soient à peu près distincts les uns des autres et qu'ils demeurent comparables à eux-mêmes.

L'échantillonnage de la terre réclame un soin tout particulier; il ne peut donner de bons résultats que s'il s'agit d'un sol assez homogène dans lequel on a fait plusieurs prises d'échantillons. Les terres meubles peuvent s'échantillonner en tout temps; les terres fortes, riches en argile, ne se prêtent à cette opération que si elles sont dans un certain état d'humidité moyenne.

Gasparin a décrit un procédé d'analyse physique des terres arables. Il est à peu près abandonné. Nous en décrirons deux autres dus à M. Masure et à M. Schloësing.

*Procédé de M. Masure* <sup>1</sup> — Au fond d'une allonge ovoïde étroite (*fig. 7*), on verse 10 grammes de terre qu'on a délayée dans de l'eau. Un vase de Mariotte laisse couler

<sup>1</sup> SCHLOESING, *Encyclopédie chimique*.

de l'eau qui pénètre dans l'allonge par l'entonnoir E ; quand l'allonge est remplie, le liquide sort par le tube *t* et se déverse dans un vase à précipité V. La circulation

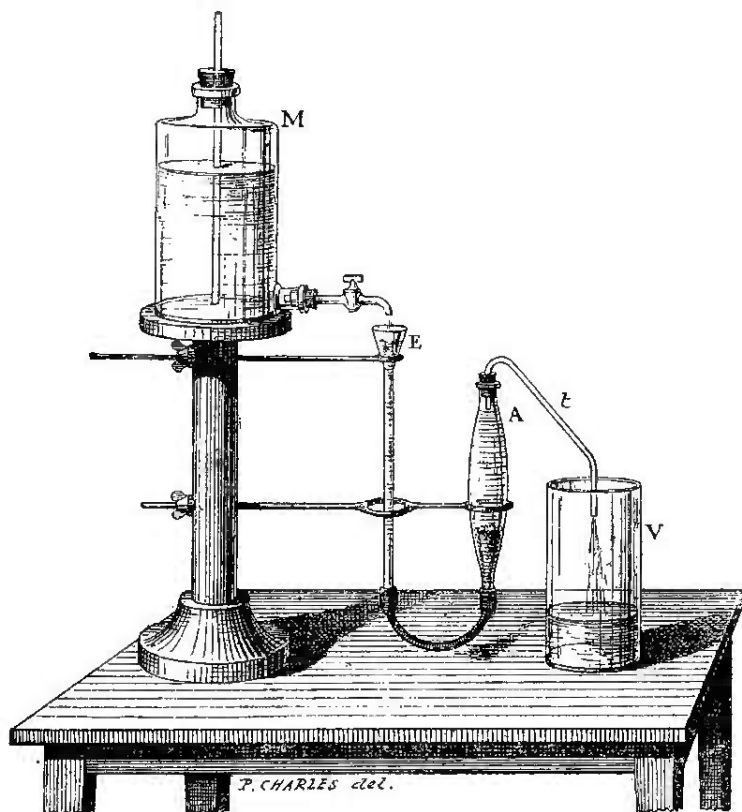


FIG. 7. — Appareil pour l'analyse physique des terres (Procédé MASURE).

de l'eau dans l'allonge produit un courant ascendant, qui tend à soulever et à emporter avec lui les éléments fins de la terre. Après un certain temps, l'eau coule limpide par le tube *t*. Tous les éléments fins se trouvent alors dans le vase V, tandis que les plus gros sont demeurés dans l'allonge. La terre est ainsi partagée en deux lots.

Pour que les analyses exécutées par ce procédé donnent des résultats comparables, il faut fixer le *débit maximum* du vase de Mariotte. Pour M. Measure, il faut que l'allonge

se remplit en deux minutes. Le procédé est néanmoins défectueux, car, suivant la largeur de l'allonge, le courant ascendant sera plus ou moins rapide; on n'obtient en outre que deux lots seulement, ce qui est insuffisant. En Allemagne on remédie à ce dernier grief en employant des appareils à cascades successives qui donnent un plus grand nombre de lots.

PROCÉDÉ SCHLÆSING <sup>1</sup> — M. Schløesing, qui a fait de belles recherches sur la constitution des argiles, a été conduit à une méthode plus parfaite qui est maintenant très usitée.

Il établit d'abord les conventions suivantes :

« On appellera *cailloux* les éléments qui ne passent pas à travers un tamis dont les mailles ont 5 millimètres; *graviers*, ceux qui ayant traversé le premier tamis restent sur un second dont les mailles ont 1 millimètre; et *terre tamisée*, ceux que ne retient pas ce dernier tamis. »

La terre donnée possède un certain degré d'humidité que l'on détermine par dessiccation à l'étuve à 120 degrés. On calcule d'après ce taux le poids de la terre qui contient 1 kilogramme de terre sèche, et c'est sur ce poids qu'on expérimente. Si la terre contient trop de cailloux, il est préférable d'en dessécher une quantité suffisante pour en avoir à l'état sec 1 kilogramme.

La séparation des *cailloux* et *graviers* se fait ordinairement assez facilement; mais, si la terre est trop forte, on a recours au délayage dans l'eau pour les isoler.

On peut donc opérer, dès le début, sous un courant d'eau, et, après avoir desséché les cailloux et graviers, on a par différence le poids de la terre tamisée supposée sèche.

<sup>1</sup> SCHLÆSING, *Cours de chimie agricole*

On laisse reposer vingt-quatre heures la terre tamisée, on déeante, et le résidu solide est chauffé de manière à obtenir une pâte liante, qu'on rend homogène en la malaxant.

Il reste à en faire l'analyse.

Soit  $p$  le poids en grammes de la terre tamisée contenue dans 1 kilogramme de terre donnée, supposée sèche ; soit  $h$  le taux pour 100 d'humidité de la terre tamisée obtenue. On opère sur un poids  $\frac{p'}{100}$  de terre tamisée dont le poids sec est  $\frac{p}{100}$ .

$$\text{Or :} \quad p' = p \frac{100}{100 - h}$$

$$\text{Pou :} \quad \frac{p'}{100} = \frac{p}{100 - h}$$

*Exemple :* Soit  $p = 810$  grammes,  $h = 10$  pour 100, on opère sur  $\frac{p'}{100} = \frac{810}{90} = 9$  grammes.

Pour avoir la composition de  $p'$  il suffira ainsi de multiplier les résultats de l'analyse par 100, c'est-à-dire de déplacer la virgule de deux rangs vers la droite.

On prélève alors deux échantillons qu'on analyse et on prend la moyenne des résultats.

Dans une capsule de porcelaine tarée, de 10 centimètres de diamètre, on introduit le poids de terre  $\frac{p'}{100}$  et on le délaye dans l'eau distillée en remuant avec le doigt. On compte dix secondes à partir du moment où l'on cesse l'agiter et l'on déeante. On répète cette opération jusqu'à ce que l'eau de lavage soit limpide. Le *résidu* est lesséché et pesé ; il constitue le *gros sable*.

On ajoute au gros sable un peu d'eau, puis de l'acide nitrique étendu. Le calcaire se dissout en abandonnant

BIBLIOTECA ESCOLA A. P. "LUIZ DE QUEIROZ"

des corps limoneux qui troublent le liquide surnageant. Quand l'attaque est terminée, on lave plusieurs fois par décantation le résidu ; on le dessèche et on le pèse. La perte de poids constaté représente le *sable calcaire*.

On calcine le résidu dans une capsule de platine, on détermine la perte de poids qui correspond aux *débris de terreau*. Ce qui reste est du *sable non calcaire*.

*Traitement des éléments fins.* — Les éléments fins de la terre, qui ont été séparés par décantation, se trouvent réunis dans un même vase avec une grande quantité d'eau. On verse de l'acide nitrique dans ce vase jusqu'à décomposition complète du calcaire et apparition d'une réaction franchement acide. On filtre le liquide et on lave parfaitement le résidu solide. On a sur le filtre le mélange de *sable fin non calcaire* et de l'*argile* (coagulée par l'acide), et dans la dissolution la *chaux* provenant du *calcaire fin* décomposé.

Considérons maintenant le mélange du sable fin non calcaire et de l'argile. On le fait facilement tomber du filtre qui le contient dans un vase de 2 litres avec le jet d'une pissette. On ajoute 1 ou 2 centimètres cubes d'ammoniaque dans le vase pour faciliter le délayage des particules agglomérées par l'acide humique devenu libre et on laisse digérer pendant trois à quatre heures.

On remplit ensuite le vase d'eau distillée, on agite et on abandonne au repos. Du sable se dépose, tandis que l'argile reste en suspension. Après vingt-quatre heures on décante la plus grande quantité possible du liquide. On se sert à cet effet d'un siphon formé par un tube assez fin et muni d'un caoutchouc à l'extrémité de sa plus grande branche. En pinçant le caoutchouc à la fin de la décantation, on diminue l'orifice d'écoulement et



l'on évite ainsi l'entraînement du dépôt. Le résidu solide est desséché et pesé : c'est le *sable fin non calcaire*.

Toute l'argile est contenue en suspension dans la liqueur restante. On la coagule en acidifiant cette liqueur. Au bout de quelques heures de repos, on peut décanter la majeure partie du liquide; le reste est jeté sur un filtre sans plis, puis lavé après égouttage. On sépare l'*argile* du filtre et on y ajoute les cendres du filtre incinéré.

On a ainsi tous les éléments de la terre analysée.

Le tableau suivant donne le résultat de l'opération :

1,000 grammes de terre sèche contiennent par exemple :

Cailloux.....	11 gr.	.....	11 gr.
Gravier.....	22	.....	22
Débris organiques...	2	.....	2
Terre tamisée .. ...	965		
	1.000 gr.		

965 grammes de terre tamisée contiennent :

Gros sable.....	482 gr.	{	Sable non calcaire...	340
			Sable calcaire.....	133
			Débris organiques...	9
Éléments fins.....	483 gr.	{	Sable fin non calcaire.	294
			Argile.....	83
			Sable fin calcaire....	106
			1.000 gr.	

**2. Densité.** — On peut évaluer la densité des terres soit par la méthode du flacon, soit par le voluméno-mètre.

La densité moyenne du sable est 2,75, et l'on peut dire que les terres végétales ne diffèrent pas sensiblement de cette densité, sauf quand elles sont riches en humus.

Voici les résultats obtenus par Schübler :

	Densité.
Sable calcaire . . . . .	2,82
Sable siliceux . . . . .	2,75
Argile maigre . . . . .	2,70
Argile grasse . . . . .	2,65
Humus . . . . .	1,23
Terre de jardin . . . . .	2,33
Terre arable du Jura . . . . .	2,53

En réalité on a surtout intérêt à connaître le poids de la terre sous son volume apparent, y compris les interstices vides. Un mètre cube pèse environ 1,200 kilogrammes, ce chiffre variant suivant le tassement et l'humidité. Les mots de terres légères et terres lourdes, employés par les agriculteurs, sont plutôt relatifs à la cohésion qu'à la densité.

3. **Imbibition ou perméabilité.** — Le sol gagne de l'eau par les condensations atmosphériques, il peut aussi en gagner au contact de l'air humide. Il en perd par l'évaporation qui a lieu à sa surface et par infiltration dans le sous-sol.

La différence entre ces gains et ces pertes constitue une réserve qui est utilisée par la végétation.

Schübler mesurait de la manière suivante la *faculté d'imbibition* d'une terre :

Cent grammes de terre sèche sont placés sur un filtre qu'on arrose d'eau, on laisse égoutter et on pèse la terre humide en tenant compte du poids du filtre. On trouve ainsi qu'une terre de jardin peut retenir 89 pour 100 l'eau. En voici quelques exemples :

	Eau absorbée.
Sable siliceux . . . . .	25 0/0
Terre calcaire fine . . . . .	70
Argile grasse . . . . .	40
Humus . . . . .	190
Terre de jardin . . . . .	89
Terre arable du Jura . . . . .	48

M. Schloësing a démontré <sup>1</sup> que ces chiffres sont beaucoup trop forts à cause des phénomènes de capillarité qui sont en jeu dans le procédé de Schübler. La terre, en effet, ne se ressuie pas sur le filtre et ses interstices demeurent pleins de liquide.

M. Risler a, du reste, constaté que dans la nature la terre ne contient pas en général le maximum d'eau que l'on pourrait lui faire absorber par la méthode de Schübler <sup>2</sup>.

Le seul moyen pratique de calculer l'imbibition est donc de faire des prises d'échantillons sur place après la pluie. Il faut, en outre, remarquer que les terres qui retiennent le plus d'eau sont celles dont les éléments sont très fins et qui, par suite, présentent beaucoup d'intervalles capillaires.

**4. Hygroscopicité.** — M. Schloësing définit ainsi le phénomène de condensation de l'eau dans la terre végétale : « La vapeur d'eau diffusée dans l'atmosphère a une certaine tension, extrêmement variable suivant les circonstances ; l'eau répandue sur les particules terreuses a, en général, une tension de vapeur différente. Quand la première tension est la plus grande, la terre condense de l'humidité aux dépens de l'air ; dans le cas contraire, elle perd de l'eau par évaporation. Chacun de ces phénomènes inverses se poursuit jusqu'à l'établissement d'un équilibre instable de tension entre les deux milieux.

« Si les particules de terre n'exerçaient sur l'eau aucune attraction, l'eau qu'elles renferment aurait pour tension

<sup>1</sup> SCHLOESING, *Encyclopédie chimique*.

<sup>2</sup> RISLER, *Recherches sur l'évaporation du sol et des plantes*.

de vapeur la tension maxima correspondant à sa température, et tendrait à passer en vapeur tant que l'air ambiant ne serait pas saturé, comme il arrive pour l'eau qu'on abandonne dans un récipient ouvert. Mais il en est autrement ; la terre attire l'eau par la surface de ses particules ; alors même que l'air ambiant n'est pas saturé, elle a la faculté de retenir une certaine quantité d'eau. C'est cette faculté qu'on nomme *hygroscopicité*. »

Deux terres à éléments d'inégale grosseur pourront se charger de taux pour 100 d'eau hygroscopique très différents. Ces deux mêmes terres contenant un même taux d'eau hygroscopique, la faculté hygroscopique peut y être très diversement satisfaite, et la tension de la vapeur d'eau peut y être différente, plus forte dans la terre à éléments plus grossiers, plus faible dans celle qui a les éléments plus fins.

Wolny a fait des recherches importantes sur les propriétés physiques des sols tassés et meubles <sup>1</sup>

Voici ses conclusions relatives à la *capacité du sol pour l'eau*, fait qui relève à la fois de l'imbibition, de l'évaporation et de l'hygroscopicité :

1° Le sol tassé perd plus d'eau par évaporation que le sol meuble, parce que les espaces capillaires étant plus fins amènent plus facilement à la surface l'eau contenue dans les couches profondes.

C'est pour la même raison que la surface d'un sol tassé reste plus longtemps humide que celle d'un sol meuble ;

2° Le sol tassé a une plus grande capacité pour l'eau que le sol meuble ; il est en même temps moins per-

<sup>1</sup> VOLNY, *Untersuchunge n über die physikalischen Eigenschaften des Bodlens im dichten und im locheren Zustande*. (Forschungen auf dem Gebiete der Agr culturphysik, t. V, p. 1.)

réable à l'eau. Les espaces capillaires étant supprimés, le nombre des pores aquifères est augmenté, et la pénétration de l'eau dans le sous-sol est ralentie.

3° L'action de l'évaporation, telle qu'elle est décrite plus haut, § 1, ne se produit que dans le cas d'une sécheresse persistante.

Lorsqu'il y a des pluies, les phénomènes décrits § 2 déterminent la richesse en eau du sol. Dans la plupart des cas un sol tassé met plus d'eau à la disposition des plantes qu'un sol meuble ;

4° Dans la pratique, la façon qu'on donnera au sol devra dépendre de la quantité d'eau dont on dispose, du climat et du temps habituel. Lorsqu'il s'agit d'augmenter la capacité du sol pour l'eau, il faudra le tasser.

S'agit-il d'en augmenter la perméabilité, il faut ameublir.

Pour mesurer l'hygroscopicité des terres, Schübler a fait en couche mince 5 grammes de terre bien desséchée, placés dans une atmosphère saturée d'humidité à 5 degrés de température. Par pesée de douze heures en douze heures, on peut doser ainsi l'humidité absorbée.

Les résultats sont les suivants :

Désignation des Terres	5 grammes ont absorbé en :			
	12 heures	24 heures	48 heures	72 heures
	Centigr.	Centigr.	Centigr.	Centigr.
Sable siliceux .....	0	8	0	0
Sable calcaire .....	1	1,5	1,5	1,5
Argile grasse .....	12,5	15	17	17,5
Humus .....	40	48,5	55	60
Terre de jardin ....	17,5	22,5	25	26

L'humus qui a une grande hygroscopicité peut donc absorber 12 pour 100 d'eau.

5. **Dessiccation.** — L'aptitude des terres à la dessiccation peut être représentée par le rapport du poids d'eau qu'elles perdent par évaporation au poids d'eau maximum dont elles peuvent se charger.

M. Schloësing a étudié avec détail le phénomène de l'évaporation dans les divers sols ; il a mis en évidence l'importance de deux des facteurs de la dessiccation des terres, la grosseur des éléments et le degré d'humidité, qui font sentir leur influence sur le transport de l'eau intérieure vers la surface.

6. **Ténacité ou cohésion, adhérence et retrait.** — C'est surtout l'argile et les humates qui donnent aux terres arables leur cohésion après imbibition et dessiccation.

Les coefficients de cohésion, comme application pratique au labourage, peuvent être calculés au moyen du dynamomètre qui mesure directement l'effort de traction nécessaire. A proportion égale d'argile ou d'humates, les terres durcissent d'autant plus qu'elles sont plus fines. La cohésion, en effet, est produite par une sorte de soudure entre les éléments de la terre ; or, sur une section déterminée, le nombre des soudures croît avec celui des éléments.

Le retrait de la terre peut causer des altérations et des ruptures dans les jeunes racines, c'est un grave inconvénient des sols très argileux.

7. **Échauffement et rayonnement.** — Une certaine quantité de chaleur est nécessaire à la végétation des diverses plantes. C'est le soleil qui en est la source ; on comprend l'importance de l'angle incident de ses rayons et de la durée des jours (éclairage). La latitude est

est un facteur important pour le calcul de la chaleur reçue par le sol d'une contrée.

M. Violle donne ainsi la formule <sup>1</sup> qui permet de calculer en un lieu donné la durée de l'éclairement :

$$\theta_s = \frac{24 \text{ arc cos } (- \text{tg } l \text{ tg } \lambda)}{\pi}$$

étant la latitude du lieu, et  $\lambda$  la déclinaison moyenne du soleil.

Nous venons de définir la source de la chaleur reçue par le sol, mais il faut faire intervenir aussi la chaleur perdue.

Pour se rendre compte exactement de la chaleur emmagasinée, il faudrait donc établir et intégrer les équations différentielles d'équilibre entre la chaleur reçue du soleil, d'une part, et d'autre part :

- 1° La chaleur perdue par le rayonnement de surface ;
- 2° La chaleur prise par l'évaporation de l'eau ;
- 3° La chaleur qui produit l'échauffement de la matière du sol et de l'eau qu'elle peut renfermer ;
- 4° Il faudrait aussi tenir compte de la conductibilité de la masse.

Le problème est du reste complexe, car, ainsi que l'admettent les physiciens, le pouvoir absorbant d'une matière ne dépend pas seulement de sa couleur, mais aussi de l'état physique de la couche superficielle qui la rend plus ou moins pénétrable aux ondulations lumineuses et calorifiques.

Ce que nous avons dit ci-dessus implique des variations suivant le degré d'humidité du sol (Gasparin) et surtout suivant la nébulosité de l'atmosphère, qui retentit sur le rayonnement. On mesure cette dernière influence par l'*actinométrie* <sup>2</sup>

Voyez pour l'intelligence de la formule : VIOLLE, *Cours de Physique*.  
Voyez plus loin, page 88 : *Météorologie agricole*.

M. Masure a installé des expériences en vue de trouver l'influence du degré d'humidité des terres sur leur échauffement au soleil.

Il trouve que la température de la terre se rapproche d'autant plus de la température de l'air qu'elle contient plus d'eau. Pendant le jour la terre peut dépasser l'air de :

15 degrés à l'état sec ;

5 degrés à demi-saturation ;

1°,5 à saturation.

*A l'état sec*, la terre reste plus chaude que l'air de huit heures du matin à neuf heures du soir.

*A demi-saturation*, de huit heures du matin à six heures du soir ;

*A saturation complète*, de dix heures du matin à trois heures du soir.

En moyenne, pendant le jour la terre n'est pas plus chaude que l'air quand elle est saturée d'eau. Elle la dépasse de 4 degrés à demi-saturation et de 10 degrés quand elle est sèche.

Pendant la nuit, quelle que soit son humidité, l'abaissement de la terre est de 2 à 3 degrés. Pour les terres humides l'évaporation très vive de neuf heures à quatre heures détermine un abaissement considérable de température.

L'humidité de l'air intervient aussi pour modifier le pouvoir calorifique du sol. La chaleur émise par la terre est d'autant plus grande que cet air est plus humide.

Après les pluies, la radiation solaire détermine un échauffement beaucoup plus intense qu'après les périodes de sécheresse.

Wolny<sup>1</sup>, à propos des sols tassés ou meubles, a formulé les conclusions suivantes :

<sup>1</sup> Wolny, *loc. cit.*



1° La conductibilité thermique du sol dépend de sa structure plus ou moins serrée. Il conduit d'autant mieux la chaleur qu'il est *plus tassé* (parce qu'alors les particules solides sont plus rapprochées), qu'il renferme *moins d'air et plus d'eau*. Dans ce dernier cas l'air, qui est mauvais conducteur, est en effet remplacé par l'eau, qui conduit mieux la chaleur.

2° La forte ou la faible évaporation superficielle, par suite de l'état tassé ou meuble du sol, n'agit que faiblement et d'une manière passagère sur la température des couches profondes, parce que la conductibilité, étant également différente dans ces deux cas, agit en sens inverse et d'une manière bien plus énergique.

Pendant la saison chaude, lorsque la température augmente et au moment du maximum diurne de la température du sol, celui-ci est d'autant plus chaud qu'il est plus serré.

Pendant la saison froide, lorsque la température baisse et au moment du minimum diurne, les sols meubles et tassés ont la même température, ou bien le sol meuble est plus chaud que le sol tassé.

4° Plus le sol est tassé et plus les oscillations de sa température sont grandes.

D'après F. Wagner, l'incorporation d'engrais organiques au sol élève sa température. Il faut sans doute pour cela une très grande abondance de matière organique, car M. Schlœsing démontre par le raisonnement suivant que la température n'est guère élevée quotidiennement que de  $4/10$  de degré dans les conditions ordinaires :

« Un hectare de terre recevant 30,000 kilogrammes de fumier, le poids sec de cet engrais est d'environ 6,000 kilogrammes contenant 2,130 kilogrammes de car-

bone environ (soit 35,5 pour 100 d'après Boussingault).

Ces 2,430 kilogrammes brûlés dans une année dégageaient 16 millions de calories, ce qui correspond à 5 calories par jour et par mètre carré. Si l'on suppose que cette production de chaleur se répand dans 10 centimètres d'épaisseur, soit 250 kilogrammes de terre, la chaleur spécifique du sol étant 0,2, on arrive au chiffre de 1/10 de degré par jour. Ce chiffre est insignifiant comparé à ce que fournit le soleil. »

L'inclinaison du sol est aussi très importante pour son échauffement en vertu de la loi suivante bien connue: *La quantité de chaleur envoyée obliquement sur une surface déterminée, par une source constante, est proportionnelle au cosinus de l'angle que font les rayons incidents avec la normale à cette surface* (loi du cosinus).

L'orientation, le climat général et la situation orographique peuvent, du reste, modifier complètement les propriétés physiques d'un sol de composition chimique et physique donnée; c'est pourquoi les terres arables doivent être étudiées sur place.

*Mesure de l'absorption de chaleur par la terre.* — Nous avons vu que bien des facteurs pouvaient influencer sur la capacité calorifique des terres arables. Voici une méthode de mesure qui tient compte de la plupart d'entre eux.

Par un temps chaud et sec, au moment où le soleil est ardent, on détermine la température de la partie supérieure de la terre. Pour cela, on enfonce horizontalement un thermomètre à un centimètre de profondeur; celui-ci se met en équilibre de température avec les couches superficielles du sol; on fait la lecture au bout d'un quart d'heure. On prend comme comparaison la température du thermomètre à boule noire ou *actinomètre* et la tempé-

rature d'un thermomètre qui donne la température du sol à l'ombre.

Soit  $T$  la température lue sur l'actinomètre ;

$t$ , la température du sol à l'ombre ;

$\theta$ , la température de la surface du sol, au soleil.

La faculté d'absorption du sol pour les rayons calorifiques est donnée par la formule suivante :

$$n = \frac{(\theta - t) 100}{T - t}.$$

### § 3. — PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES SOLS

Les sols sont le siège d'un certain nombre de réactions chimiques qui sans cesse les modifient dans leur composition. Ces phénomènes chimiques varient du reste suivant la constitution de la terre arable ; aussi devons-nous entrer dans quelques détails.

**1. Décomposition des éléments minéraux.** — Indépendamment des phénomènes géologiques actuels dus à l'action mécanique et chimique de l'eau et aux influences météoriques, les débris des roches subissent une attaque lente qui a pour effet de séparer leurs différents éléments minéralogiques.

La plupart des roches feldspathiques sont ainsi décomposés :

Les silicates de potasse, soude, chaux, magnésie, alumine ou fer sont attaqués par l'acide carbonique qui forme des carbonates solubles capables d'être véhiculés par les liquides du sol. Le silicate d'alumine résiste, mais s'hydrate et donne les argiles ; le fer s'oxyde et une partie de la silice libre se solubilise.

Les roches calcaires peuvent se dissoudre aussi en présence de l'acide carbonique qui donne du bicarbo-

nate. Les dissolutions calcaires à leur tour réagissent sur l'argile qu'elles coagulent (Schlössing), et il se forme de l'humate de chaux. La chaux caustique dissoute rend la potasse et la silice susceptibles d'être dissoutes en se substituant à la première dans les silicates.

**2. Pouvoir absorbant des sols.** — La terre végétale a pour les principes fertilisants une certaine avidité qu'elle tend à satisfaire ; elle en abandonne aux plantes une part d'autant moindre qu'elle est plus loin de sa saturation. La proportion des principes absorbés peut atteindre 2 ou 3 millièmes du poids de la terre.

M. Way a été conduit à la suite d'expériences nombreuses aux conclusions suivantes : La terre végétale fixe les éléments fertilisants les plus importants <sup>1</sup> à l'exception des nitrates. La nature des acides des sels alcalins est indifférente ; pourvu que le sol contienne du carbonate de chaux, les bases sont fixées. Les substances fertilisantes étant fixées à l'état insoluble ne peuvent se disséminer par voie de diffusion.

C'est dans l'argile et le terreau que réside la faculté d'absorption. Ainsi l'humus semble agir à la façon des mordants en teinture ; son pouvoir absorbant a d'ailleurs été clairement démontré par M. Grandeau, qui a expérimenté sur les terres noires de Russie.

*Dissolutions contenues dans la terre arable.* — Le liquide qu'on rencontre dans le sol et qui en agglutine les éléments est surtout constitué par de l'eau qui renferme en dissolution un certain nombre de sels minéraux.

L'analyse des dissolutions souterraines a révélé l'existence des éléments suivants.

<sup>1</sup> Le pouvoir absorbant est presque nul pour la soude et la chaux, il est beaucoup plus grand pour la potasse et l'ammoniaque.

Dans un litre d'eau du sol :

Potasse .....	0	à	3 milligr.
Soude.....	42	à	45 —
Chaux .....	33	à	185 —
Magnésic.....	3	à	35 —
Oxyde de fer et alumine .....	0	à	18 —
Silice .....	6	à	25 —
Acide phosphorique .....	0	à	1,7 —
Ammoniaque.....	0,4	à	0,3 —
Acide azotique .....	27	à	165 —
Chlore et acide sulfurique .....	Variables.		

La potasse est rare parce que la végétation en absorbe une assez grande quantité. L'ammoniaque disparaît des sols par la nitrification. La soude et la chaux sont entraînées en assez grande quantité. L'acide phosphorique existant à l'état insoluble reste à peu près indifférent aux lavages du sol. Les nitrates, au contraire, sont en proportions sensibles et parfois élevées à cause de leur solubilité.

**3. Atmosphères du sol.** — Indépendamment des dissolutions qui circulent dans le sol, il existe des interstices qui sont remplis d'atmosphères spéciales. Les atmosphères du sol sont dues surtout à la décomposition de la matière organique. Celle-ci sous l'action des microbes subit une combustion lente qui se traduit par différentes réactions dont le résultat est de l'acide carbonique et de l'eau. Le sol étant superficiellement en contact avec l'air, la composition de son atmosphère en diffère peu. Cependant l'atmosphère du sol est toujours plus riche en acide carbonique. On peut en rencontrer de 1 à 10 pour 100. L'oxygène s'y rencontre pour environ 20 pour 100.

La composition générale centésimale de l'atmosphère gazeuse du sol varie, du reste, suivant la température et l'état physique et chimique du sol.

Lewis et Cunningham ont recherché l'acide carbonique de l'air du sol sur un terrain en repos depuis vingt-cinq

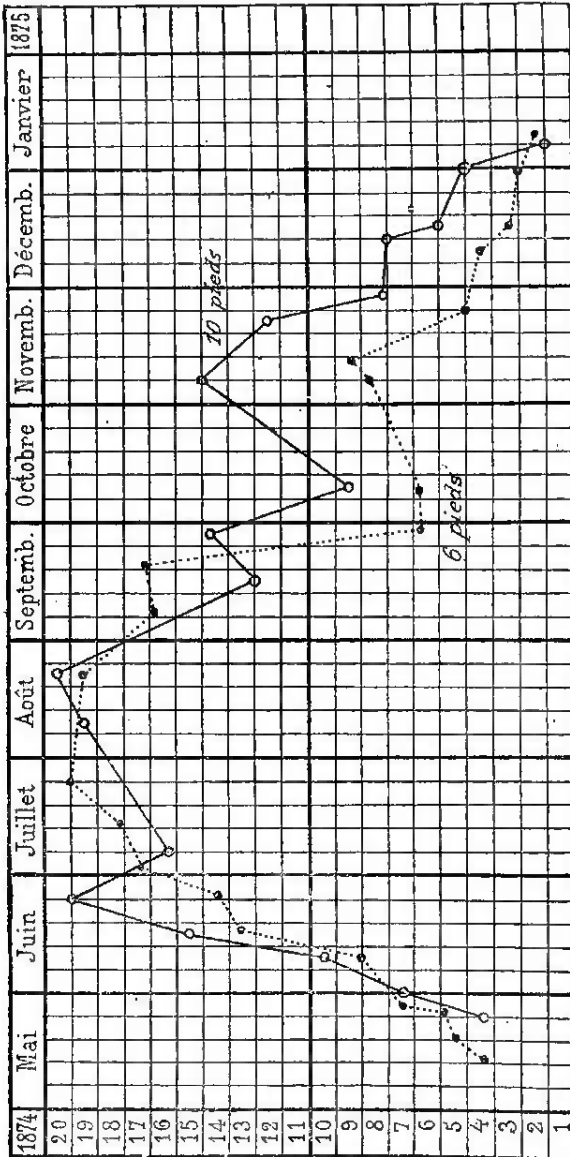


FIG. 8. — CO<sub>2</sub> pour 1.000 à 6 pieds et à 10 pieds de profondeur (d'après LEWIS et CUNNINGHAM).

ans. La pluie paraît influencer beaucoup sur la proportion d'acide carbonique qui peut varier de 4 à 20 pour 1,000, ainsi qu'on le constate sur la courbe suivante (fig. 8).

Les mouvements atmosphériques, tels que les vents, paraissent provoquer, du reste, de grandes perturbations dans la composition des atmosphères des sols. Pettenkofer l'a démontré au moyen d'un petit appareil simple (fig. 9).

Dans le tube A rempli de gravier plonge jusqu'au fond un tube plus mince E, mis en communication par son extrémité supérieure avec un tube en V à demi plein d'eau colorée.

Si l'on souffle à la surface du gravier, l'eau monte dans la branche libre du tube en V

Boussingault et Lévy ont fait des recherches sur les atmosphères confinées, qui, comme on peut le voir par le tableau suivant, diffèrent assez peu de l'air normal.

*Analyse.* — Pour faire l'analyse de l'atmosphère d'un sol, on doit éviter de la mélanger avec l'air extérieur.

On fait usage de l'appareil suivant dont le principe est dû à Boussingault (fig. 10).

On creuse un trou dans lequel on place une pomme d'arrosoir remplie de gravier et communiquant par un tube de caoutchouc avec un tube de verre (v) qui aboutit à un robinet r.

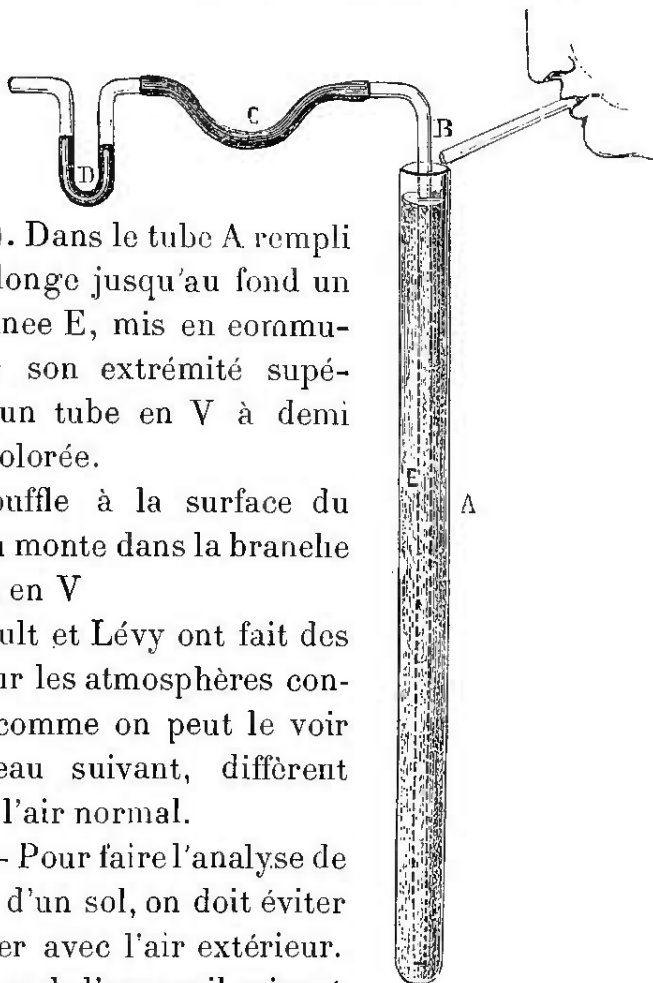


FIG. 9. — Appareil de PETTENKOFER pour démontrer l'action de l'air extérieur sur le mouvement des gaz.

COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE CONFINÉE DANS LES SOLS  
(BOUSSINGAULT ET LIÉVY)

SOLS	Acide carbonique en volume	Oxygène en volume	Azote en volume	Total de l'oxygène et de l'acide carbonique en volume
Sol sablonneux d'une vigne (non fumée depuis trois ans).....	4,06	19,72	79,22	20,78
Sol d'une forêt, très sablonneux (à 0 <sup>m</sup> , 35 de profondeur).....	0,87	19,61	79,52	20,48
Sol cultivé en betteraves (fumé depuis un an).....	0,87	19,71	79,42	20,58
Sol d'une prairie fertile et humide.....	4,79	19,41	78,80	21,20
Sol sablonneux fumé le 2 septembre 1852. 60.000 kilogrammes de fumier à l'hectare: le 11 septembre 1852.....	9,74	10,35	79,90	20,09



Après quarante-huit heures, on suppose que l'atmosphère normale du sol est rétablie au voisinage de l'entonnoir E.

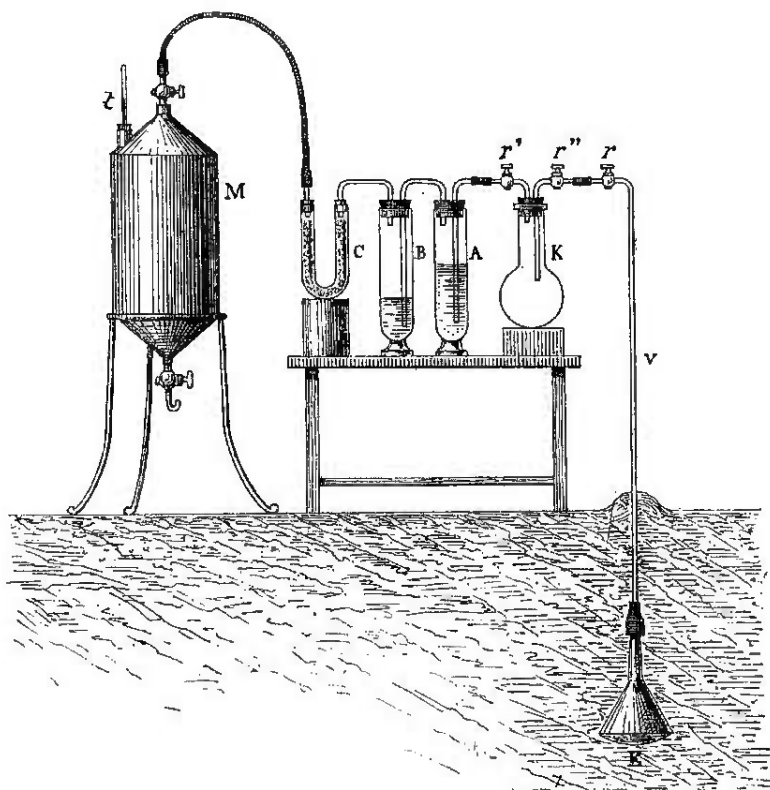


FIG. 10. — Appareil pour faire l'analyse de l'atmosphère d'un sol.

On produit l'aspiration en M en ouvrant le robinet R qui laisse écouler l'eau de M en N. Ou ouvre  $r$ ,  $r'$ ,  $r''$ .

Le ballon K est vide d'air, les éprouvettes A et B renferment de l'eau de baryte, et le tube C de la ponce concassée.

L'acide carbonique du sol a été arrêté par la baryte en A. Ou le dose en pesant le carbonate de baryte formé qu'on filtre et qu'on dessèche.

*Influence de l'acide carbonique souterrain sur la végétation.*

tation. — M. Jentys<sup>1</sup> a étudié si la richesse de l'air souterrain en acide carbonique a une influence sur le développement des racines, et ce qui s'ensuit sur la végétation des organes aériens.

Dans ses expériences les plantes étaient cultivées dans des pots en verre pourvus d'un trou au fond, par où passait un court tube de verre conduisant de l'air enrichi en acide carbonique (4-12 pour 100). Le haricot, le froment, le seigle et le lupin ont été soumis à l'examen.

On a observé les différences moyennes suivantes pour le haricot :

Les dimensions des feuilles et des tiges étaient plus faibles pour les plantes dont les racines se trouvaient dans l'air plus riche en acide carbonique.

Les racines plongées dans l'air ordinaire étaient plus longues et développées d'une façon normale, tandis que les racines cultivées dans l'air enrichi en CO<sup>2</sup> étaient plus courtes, avaient moins de radicules minces et rappelaient beaucoup les racines fasciculées des graminées à cause d'un développement assez faible de la racine primaire.

Le froment paraît supporter beaucoup mieux que le seigle l'air riche en acide carbonique.

Il paraît donc certain que quelques plantes supportent mieux que d'autres une pression plus élevée d'acide carbonique. Il serait intéressant de rechercher s'il y a quelque rapport entre cette différente sensibilité et la prédilection de certaines plantes pour les terrains légers, bien aérés. Il est possible aussi que les plantes qui n'aiment pas la terre récemment fumée n'y végètent pas

<sup>1</sup> JENTYS, Influence de la pression de CO<sup>2</sup> dans l'air souterrain sur la végétation. (*Acad. des sc. de Cracovie*, juillet 1892.)

## INFLUENCE DE L'ACIDE CARBONIQUE DU SOL SUR LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES EN POIDS

	Poids frais		Poids sec	
	Tiges et feuilles	Racines	Tiges et feuilles	Racines
<b>EXPÉRIENCE A (trente-cinq jours de durée) :</b>				
A l'air ordinaire .....	7 gr. 423	»	0 gr. 589	0 gr. 240
Avec 5 pour 100 de CO <sup>2</sup> .....	6 gr. 744	»	0 gr. 550	0 gr. 258
<b>EXPÉRIENCE B (cinquante jours de durée) :</b>				
A l'air ordinaire .....	4 gr. 051	1 gr. 538	0 gr. 472	0 gr. 102
Avec 4 pour 100 de CO <sup>2</sup> .....	3 gr. 831	1 gr. 397	0 gr. 469	0 gr. 105
<b>EXPÉRIENCE C (trente-un jours de durée) :</b>				
A l'air ordinaire .....	2 gr. 935	1 gr. 094	0 gr. 303	0 gr. 062
Avec 12 pour 100 de CO <sup>2</sup> .....	2 gr. 068	0 gr. 697	0 gr. 216	0 gr. 039

bien à cause d'un enrichissement trop fort de l'air souterrain en acide carbonique.

4. **Combustion de la matière organique.** — La combustion de la matière organique dans le sol est intéressante non seulement par la production d'eau et d'acide carbonique déjà indiquée, mais aussi par la formation d'acide azotique, lequel se fixe sur les bases pour donner des azotates ou nitrates (nitrification).

Corenwinder <sup>1</sup> a exécuté des expériences sur la combustion de la matière organique dans les différents sols; mais, d'après M. Schloësing, sa méthode paraît défectueuse.

Ce dernier auteur, ayant repris la question, estime qu'une terre de Bechelbronn, recevant tous les cinq ans 49,000 kilogrammes de fumier par hectare, brûle en cinq ans 5,700 kilogrammes de carbone donnant 6 mètres cubes d'acide carbonique par hectare et par jour.

Le sous-sol est plus pauvre en matière organique, mais en renferme encore beaucoup; Isidore Pierre a trouvé les chiffres suivants :

	Azote à l'hectare
Couche superficielle de 0 <sup>m</sup> ,25 d'épaisseur . . . . .	8,660 kilogr.
Couche sous-jacente de 0 <sup>m</sup> ,25 — . . . . .	5,000 —
Couche inférieure de 0 <sup>m</sup> ,25 — . . . . .	3,890 —

M. Schloësing a, du reste, établi expérimentalement <sup>2</sup> que la matière organique du sous-sol brûle beaucoup moins vite que celle du sol, de sorte que l'atmosphère confinée du sous-sol n'est pas très appauvrie en oxygène.

<sup>1</sup> CORENWINDER, *Ann. de Phys. et Chim.*, 1856.

<sup>2</sup> SCHLOESING, *Chimie agricole. Enc. chim.*, p. 152.

5. **Nitrification.** — Engagé dans les combinaisons organiques, l'azote était peu utile à la plante, une fois nitrifié il est éminemment assimilable. On conçoit qu'un phénomène de cette importance ait donné lieu à des recherches nombreuses. MM. Schlœsing et Müntz ont établi que la nitrification exige pour se produire :

1° La présence d'une substance organique en décomposition, ou de l'ammoniaque;

2° De l'oxygène;

3° Une légère alcalinité du milieu;

4° De l'humidité;

5° Une température comprise entre certaines limites (optimum = 37 degrés);

6° Le concours de certains microbes.

Au point de vue pratique, on peut dégager quelques conclusions des différentes recherches de MM. Schlœsing et Müntz, Kuhlmann, etc. :

1° L'oxygène favorise la nitrification; les résultats suivant l'indiquent clairement.

INFLUENCE DE L'OXYGÈNE SUR LA NITRIFICATION

Mélange gazeux } Oxygène, pour 100. contenant : { Azote, pour 100 ....	4,5 98,5	6 94	41 89
Quantité d'acide nitrique formée dans 1 kilogramme de terre (46 pour 100 d'humidité (en cent vingt-cinq jours.	milligr. 45,7	milligr. 95,7	milligr. 131,5

Une terre dépourvue d'oxygène gazeux devient donc impropre à la végétation. D'où la grande importance de l'aération des sols et l'action nuisible des submersions trop prolongées;

2° Presque nulle à 5 degrés, la nitrification atteint son

optimum à 37 degrés et cesse à 55 degrés. Ainsi les pluies chaudes de l'été lui sont très favorables.

3° Elle n'est possible que dans un milieu légèrement alcalin; elle est ainsi suspendue dans les terres de bruyères trop acides et dans les sols chaulés trop alcalins;

4° Les sels ammoniacaux et l'ammoniaque libre étant rapidement nitrifiés, l'emploi des engrais ammoniacaux doit se faire au moment de leur utilité immédiate si on ne veut les perdre dans les eaux d'infiltration qui dissolvent les nitrates.

A. PRODUCTION DE L'AMMONIAQUE DANS LE SOL PAR LES MICROBES <sup>1</sup> — L'oxydation graduelle dans le sol de l'azote des matières organiques en nitrates ou nitrification s'accomplit en trois phases principales :

1. L'*ammonisation* ou transformation de l'azote organique en ammoniaque ;

2. La *nitrosation* ou transformation de l'ammoniaque en nitrites ;

3. La *nitratation* ou transformation des nitrites en nitrates.

L'ammonisation s'accomplit essentiellement sous l'influence des microbes divers (bactéries, levures, moisissures) qui pullulent dans les couches supérieures du sol.

Dans la terre arable, l'action des bactéries est prédominante; dans les terres humeuses acides, les moisissures interviennent pour une part importante dans le phénomène.

Parmi les bactéries du sol arable le *Bacillus mycoïdes*, ou bacille de la terre (*Erde, Bacillus* des auteurs alle-

<sup>1</sup> ÉMILE MARCHAL, *Production de l'ammoniaque dans le sol.*

mands), est à la fois un des plus répandus et celui dont l'action sur les matières azotées est le plus énergique <sup>1</sup>

Sous l'influence de ce microbe, l'oxygène se porte sur les éléments de l'albumine : le carbone est transformé en acide carbonique, le soufre en acide sulfurique, l'hydrogène partiellement en eau, laissant l'ammoniaque comme résidu de cette oxydation.

Il y a également production, en petites quantités, de peptones, leucine, tyrosine et d'acides gras.

Les conditions optima pour l'activité du microbe ammonisant sont les suivantes :

- a. Une température élevée, voisine de 30 degrés ;
- b. Une aération complète ;
- c. Une légère alcalinité du milieu ;
- d. Une faible concentration des solutions albumineuses.

Le bacille mycoïde s'est montré expérimentalement apte à transformer en ammoniaque non seulement l'albumine de l'œuf, mais encore la caséine, la fibrine, la légumine, le gluten, la myosine, la sérine et les peptones.

La créatine, la leucine, la tyrosine et l'asparagine subissent les mêmes modifications ; au contraire, l'urée, le nitrate d'urée, ainsi que les sels ammoniacaux, ne sont pas attaqués par le microbe, pour lequel ils ne constituent pas un aliment.

**B. RÉDUCTION DES NITRATES.** — Le *bacille mycoïde*, ammonisant et aérobie en présence de matières organiques azotées, devient dénitrifiant et anaérobie quand il existe, dans le milieu, des corps facilement réductibles (nitrates).

<sup>1</sup> Voyez à ce sujet : P.-P. DEHÉRAIN, *Les ferments de la terre.* (*Revue des Deux-Mondes*, 1893.)

En l'absence de tout oxygène libre dans des solutions renfermant une matière organique (sucre, albumine), il réduit les nitrates en nitrites et en ammoniacque.

Il est donc capable de dégager de l'ammoniaque par deux processus tout à fait opposés : par oxydation dans un cas, par réduction dans l'autre.

Les eaux ne renfermant primitivement que des nitrates peuvent donner, après un certain temps, les réactions des nitrites ; pour que cette réaction s'opère, l'eau doit contenir des éléments hydrocarbonés ; elle ne se produit plus en présence du chloroforme, de l'acide phénique ou de la chaleur <sup>1</sup> ; ces faits observés par M. Meusel ont été attribués par lui à l'action des bactéries auxquelles l'hydrocarboné sert d'aliment ; cet aliment hydrocarboné peut être un sucre, un alcool, mais non pas un acide en présence duquel il ne se produit plus de nitrites, ceux-ci étant décomposés, dans le milieu acide, en acide azotique et bioxyde d'azote.

Le phénomène a été étudié de plus près par MM. Gayon et Dupetit, qui ont observé que, en abandonnant un mélange de nitrate et d'eau d'égout sucrée, le liquide se peuple d'abondants organismes anaérobies, sous l'influence desquels la réduction en nitrite s'effectue. Ici encore la matière organique et l'aliment hydrocarboné sont nécessaires à la réduction qui s'arrête sous l'action de la chaleur, du chloroforme, etc... Les auteurs ont reconnu que cette réaction est provoquée par de petits microbes en forme de bâtonnets d'espèces variables.

Enfin, MM. Delhérain et Maquenne ont observé une nouvelle réduction des nitrates qui s'arrête à la phase de

<sup>1</sup> GARNIER, *Ferments et fermentations*. Paris, 1888.



protoxyde d'azote et qu'ils attribuent également à un ferment spécial.

En résumé, certains ferments spéciaux, d'espèces et par suite d'activité variables, opèrent, dans la nature, la dénitrification partielle des nitrates, en donnant comme produits de réduction, tantôt des nitrites, tantôt du protoxyde d'azote, et parfois de l'azote libre; il se forme en outre de l'ammoniaque, ainsi que l'ont démontré MM. Boussingault et Schlœsing. Le travail de M. Marchal, que nous avons cité précédemment, donne une liste des organismes nombreux qui peuvent intervenir dans cette formation.

C. NITROSATION ET NITROMONADE. — Winogradsky a étudié les organismes nitrifiants et, tout d'abord, le milieu le plus favorable possible à leur culture. Après avoir isolé le microbe nitrosant, il a pu constater qu'il se présente sous la forme de cellules peu allongées dont le petit diamètre, à peu près constant, ne dépasse pas 0,9 à 1  $\mu$ , tandis que leur longueur varie entre 1,1 et 1,8  $\mu$ . Le nom de bacille ne conviendrait pas à un organisme de forme si peu allongée; l'auteur l'appelle *nitromonade* (fig. 11).

Par ce nitromonade, l'ammoniaque est transformée en acide nitreux.

La propriété physiologique la plus importante de cet organisme est de se passer d'aliments organiques. Il peut croître normalement, se multiplier indéfiniment et exercer son action dans un milieu privé des dernières traces de carbone organique. Il faut alors que sa substance se forme aux dépens du carbone des carbonates. Ainsi le nitromonade, organisme incolore, possède la faculté d'assimiler le carbone de l'acide carbonique.

Cette synthèse se distingue de l'action chlorophyllienne en ce qu'il n'y a pas dégagement corrélatif d'oxygène, soit libre, soit employé à nitrifier l'ammoniaque.

« Les rayons solaires ne sont pas nécessaires à ces expériences de nitrification. Un fait des plus importants se trouve ainsi établi : une synthèse totale de la matière

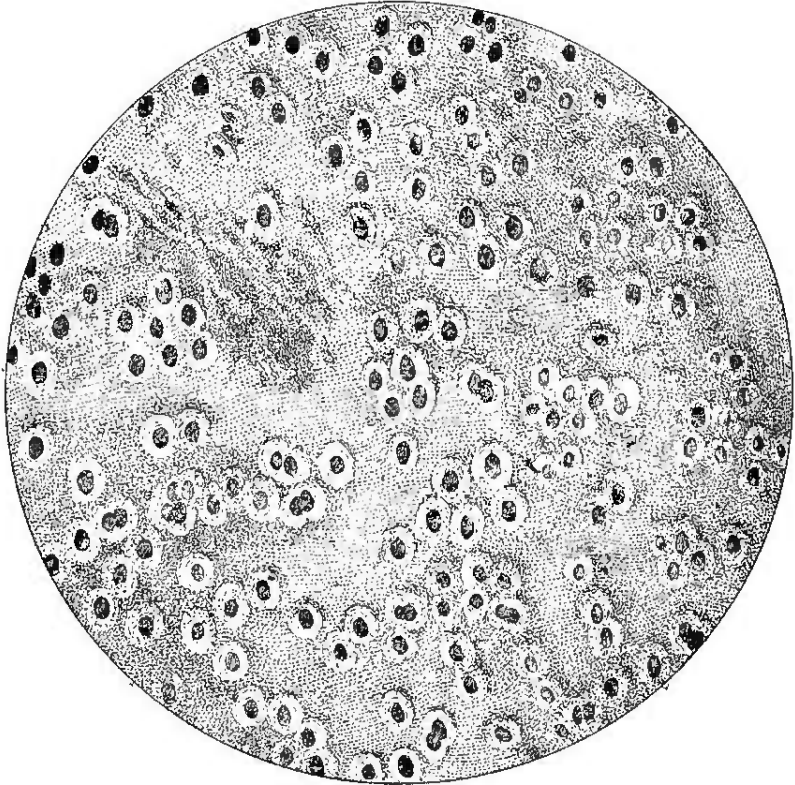


FIG. 11. — Ferment nitreux.

organique peut s'accomplir indépendamment des rayons solaires. La nitromonade est donc un type physiologique à part; tandis que les phénomènes de destruction tiennent la première place dans la vie des autres microbes, ils se réduisent par elle à un minimum peu appréciable et les phénomènes de synthèse prédominent dans son activité

vitale. Les phénomènes de destruction sont remplacés chez elle par une action oxydante spécialement adaptée à l'oxydation de l'ammoniaque qui lui fournit toute l'énergie nécessaire au travail de sa vie <sup>1</sup>. »

D. NITRATATION. — La *nitrification* a fait l'objet de travaux très remarquables dans ces dernières années <sup>2</sup>:

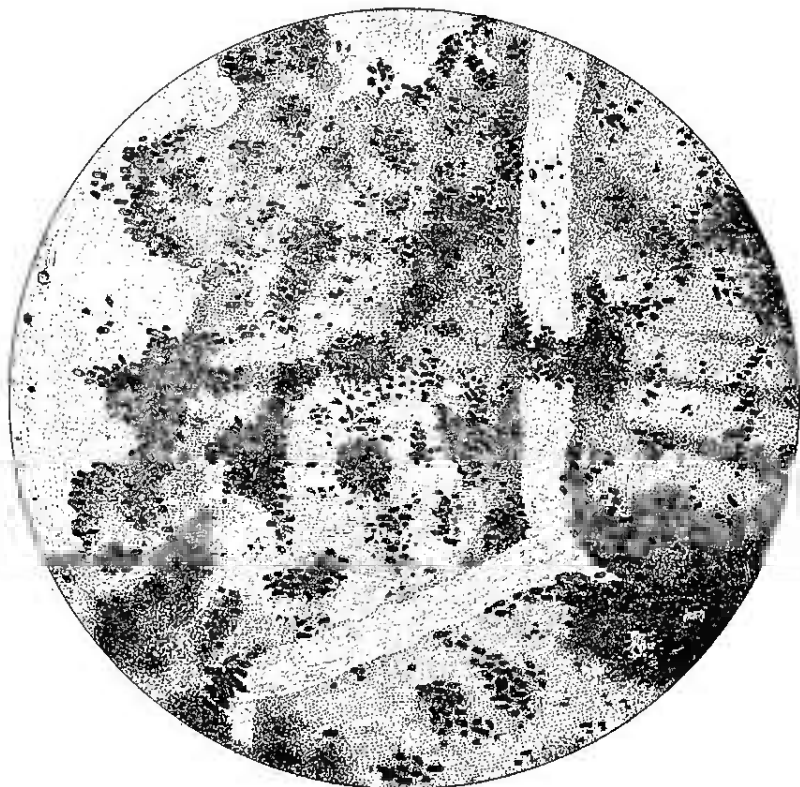


FIG. 12. — Ferment nitrique.

M. Winogradsky a appelé *nitrobactéries* toutes les bactéries qui oxydent l'ammoniaque, elles constituent un groupe physiologique.

<sup>1</sup> LÉON BOUTROUX, *Ferments* (*Revue générale de botanique*, 1892).

<sup>2</sup> WINOGRADSKY, *Rech. sur les org. de la nitrific.* (*An. Inst. Pasteur*, 1891).

Divers autres chimistes, Warington <sup>1</sup>, Schlœsing et Müntz, Frankland <sup>2</sup>, avaient cultivé artificiellement aussi ces organismes qui produisent surtout de l'acide nitreux et seulement des traces d'acide nitrique.

La nitrification spontanée qui se produit dans la terre engendre au contraire des nitrates, et les nitrites sont une exception.

Nous avons admis que la nitrification des produits ammoniacaux se produit en deux temps, qui se succèdent rapidement :

1° *Nitrosation*. — Formation d'acide nitreux sous l'influence du ferment isolé par les expérimentateurs (nitromonade) ;

2° *Nitratation*. — Oxydation de l'acide nitreux.

Ce deuxième phénomène pouvait être attribué à son tour à deux causes différentes :

a. L'oxydation est produite par un second microbe spécifique non isolé jusqu'ici (Duelaux).

b. L'oxydation s'opère sans organisme spécifique (Müntz).

Il résulte des nouvelles et récentes recherches de Winogradsky que c'est l'hypothèse A qui est exacte.

Il y a deux degrés successifs d'oxydation qui sont produits par deux ferments spéciaux, ferment nitreux et ferment nitrique (*fig. 11 et 12*).

L'auteur a séparé différents ferments nitreux qui appartiennent tous au type physiologique qu'il a déjà décrit, mais qui présentent des différences morphologiques suivant les localités très éloignées d'où ils proviennent <sup>3</sup>

<sup>1</sup> WARINGTON, *Journ. of Chem. Soc.*, LIX.

<sup>2</sup> FRANKLAND, *Phil. Trans. London*, vol. CLXXXI.

<sup>3</sup> Treize échantillons ont été pris : quatre en Europe et quatre en Afrique, deux en Tunisie et en Amérique, un en Australie.

Ces ferments nitreux coexistent dans les cultures sur silice colloïdale (gélatine minérale)<sup>1</sup>, avec le ferment nitrique. Pour isoler ce dernier, on sème une goutte de cette culture mixte dans une solution de nitrite de potasse, sans ammoniacque. Là, le ferment nitrique seul trouve le milieu fermentescible qui lui convient. On a ainsi une nitrification très active qui permet de cultiver le ferment nitrique à l'état isolé sur une autre plaque de gélatine minérale (*fig. 12*).

L'énergie de végétation de ce ferment nitrique est beaucoup plus faible que celle du ferment nitreux de la même terre ; aussi n'a-t-on pas pu constater par des mesures qu'il assimile le carbone des carbonates ; mais l'auteur croit pouvoir affirmer que le ferment nitrique effectue, comme le ferment nitreux, la synthèse des substances organiques aux dépens des carbonates.

Cherchant à approfondir la nitrification naturelle l'auteur a expérimenté sur quatre sols *a, b, c, d*.

*a.* Terre à l'état naturel ;

*b.* Terre stérilisée, puisensemencée avec un ferment nitreux pur ;

*c.* Terre stérilisée, puisensemencée avec un peu de terre à l'état naturel ;

*d.* Terre stérilisée, puisensemencée avec un mélange de deux ferments.

On a ajouté du sulfate d'ammoniacque dans les quatre lots et l'on a dosé les nitrites et nitrates formés à diverses époques.

Les résultats suivants ont été constatés :

<sup>1</sup> Voyez L. BOUTROUX, *Ferments et fermentations (Revue générale de botanique, 15 janv. 1894)*.

En *a*, on ne peut déceler les nitrites que par exception, alors même qu'il reste encore de l'ammoniaque ;

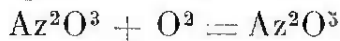
En *b*, il ne se produit que de l'acide *nitreux* ;

En *c*, il se produit du nitrite en abondance et du nitrate exceptionnellement, ce qui prouve que le ferment nitreux étouffe le ferment nitrique si celui-ci n'y est qu'en petite quantité ;

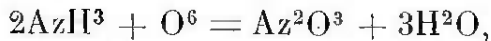
En *d*, tout l'azote ammoniacal passe à l'état d'azote nitrique.

On comprend maintenant pourquoi dans la terre naturelle l'acide nitreux est oxydé à mesure qu'il se forme, même lorsqu'il reste beaucoup d'ammoniaque. La terre, en effet, est un milieu poreux qui fournit de l'oxygène en excès aux deux microbes, de sorte que même le plus faible en trouve assez pour vivre et fonctionner en même temps que le plus fort.

D'ailleurs, l'absorption d'oxygène nécessaire pour le phénomène chimique de l'oxydation de l'acide nitreux



étant beaucoup plus faible que celle qui est nécessaire pour transformer l'ammoniaque en acide nitreux



on conçoit que les deux phénomènes chimiques puissent marcher de pair, alors que les vigueurs de végétation des ferments qui les provoquent sont très inégales.

Notons en outre que, expérimentalement, la fonction d'oxydation de l'acide nitreux se maintient pendant des temps très inégaux suivant les terres.

Cela tient à ce que les ferments nitreux des différents sols ne sont pas identiques entre eux, pas plus que les ferments nitriques d'origine différente.

Ainsi le ferment nitreux des terres d'Afrique s'est

montré moins vigoureux que les autres et le ferment nitrique de la terre de Quito a montré, au contraire, une vigueur exceptionnelle.

Cette théorie générale du phénomène si important de la nitrification est pleinement satisfaisante et paraît définitive. Peut-être pourra-t-on en déduire prochainement quelques conséquences pratiques.

*Conclusion.* — Il est donc bien établi que le sol est le siège de phénomènes chimiques qui intéressent au plus haut point la végétation, car ils préparent les aliments absorbés par les racines. Ces phénomènes sont très variés, nous n'en connaissons qu'une faible partie. Nous citerons comme exemples :

1° La décomposition des roches sous l'influence des causes mécaniques et des agents chimiques, eau, acide carbonique. Elle est une source de principes fertilisants : les alcalis et l'acide phosphorique, les oxydes métalliques ont une origine de cette nature ;

2° L'affinité de la terre végétale pour certaines substances qui deviennent insolubles et immobilisées (pouvoir absorbant des sols pour les bases alcalines et l'ammoniaque) ;

3° La dissolution des gaz et des substances solides solubles dans les liquides du sol ;

4° Les réactions salines qui résultent du contact de plusieurs sels dont la chaleur de formation est différente ;

5° L'action physiologique et chimique des microorganismes (*Rhizobium*, et organismes ammonifiant, nitrifiant, nitratant et dénitrifiant).

---

## CHAPITRE IV

**ÉTUDE DE L'ATMOSPHÈRE**  
**DANS SES RAPPORTS AVEC LA VÉGÉTATION**

Les plantes ont une vie aérienne par leur tige et tous les organes qui en dépendent (feuilles, fleurs, fruits, racines adventives); nous devons donc étudier l'atmosphère au point de vue de sa composition et de ses propriétés.

§ 1<sup>er</sup>. — **COMPOSITION**

L'atmosphère est formée par des gaz, des vapeurs et des particules solides en suspension mélangées à des organismes microbiens. Ces infiniment petits ont un rôle peut-être non négligeable dans différents phénomènes chimiques qui intéressent la végétation, mais les données positives que nous possédons sur leur action sont encore peu précises; nous allons nous occuper ici des gaz et des vapeurs.

1. **Gaz.** — L'air atmosphérique normal est essentiellement un mélange en proportions invariables d'*azote* et d'*oxygène*. Ces proportions sont d'après M. Ledue :

Azote.....	79 vol. 04
Oxygène.....	20 — 96

En plus de ces deux gaz l'air contient encore de l'*acide carbonique*  $\frac{2}{10,000}$  à  $\frac{4}{10,000}$  et de l'*ozone* (1 milligramme environ pour 100 mètres cubes d'air).

Tous ces éléments jouent un rôle direct ou indirect dans l'alimentation de la plante.



Les observations faites sous différentes latitudes permettent d'affirmer que la teneur de l'air en acide carbonique est à peu près fixe :

	Sur 10,000 vol. d'air.
Vincennes.....	2,84
Paris .....	3,19.
Haïti.....	2,92
Mexique .....	2,86
Chili.....	2,82

L'eau de mer en renferme 98 milligr. 3 par litre (bicarbonates). Un équilibre tend sans cesse à s'établir entre l'acide carbonique de l'atmosphère et celui des bicarbonates marins. Les carbonates neutres insolubles du sol fixent, en outre, de l'acide carbonique quand celui-ci est en excès dans l'atmosphère. Ainsi la mer concourt à maintenir la constance de la proportion d'acide carbonique aérien et apparaît comme jouant le rôle d'un grand régulateur (Schlœsing). La présence de l'acide carbonique dans l'atmosphère est d'autant plus importante que c'est là la source principale du carbone qui est nécessaire à la plante pour fabriquer tous ses principes immédiats.

2. **Vapeurs.** — L'eau est un des éléments de l'atmosphère. Elle exerce sur les végétaux une influence considérable. L'hygrométrie nous apprend que, suivant la température, la capacité de saturation est différente et qu'à une même température le rapport  $\frac{f}{F}$  est très variable<sup>1</sup>.

Ainsi les plantes subissent dans leurs fonctions physiologiques le contre-coup de ces deux facteurs : 1° la

<sup>1</sup>  $f$  représentant la tension de la vapeur qui est dans l'air, et  $F$  celle de la vapeur saturée à la même température, on a d'après la définition de l'état hygrométrique,  $e = \frac{f}{F}$ .

quantité absolue de vapeur d'eau atmosphérique; 2° la tension de cette vapeur à la température ambiante.

Si l'on observe, en outre, combien les phénomènes météorologiques sont complexes et avec quelle rapidité ils modifient l'état de l'atmosphère, on voit dans quelle instabilité relative les végétaux se trouvent vis-à-vis des agents atmosphériques.

Parmi les vapeurs importantes qui se trouvent dans l'atmosphère, citons encore l'acide azotique et l'ammoniaque. On n'a pas réussi à doser convenablement l'acide azotique libre dans l'atmosphère, mais l'ammoniaque a été constatée par Th. de Saussure et, depuis, par Brandes (1825), Schløesing (1875), Müntz et Aubin (1882), non pas à l'état libre, mais surtout combinée à l'acide azotique. Des dosages exécutés sur des prises d'air faites à Paris ont montré que la teneur de l'air en ammoniaque varie suivant l'état de l'atmosphère et se trouve influencée surtout par l'état hygrométrique, par la direction des vents, et subit une variation diurne et de saison. Sur 100 mètres cubes d'air on a trouvé une moyenne annuelle de 2 milligr. 25 d'ammoniaque. La moyenne dans le jour est de 1 gr. 934 et dans la nuit 2 gr. 57.

L'ammoniaque de l'atmosphère joue un rôle important dans la végétation: les végétaux en absorbent directement et les sols en fixent une grande quantité qui est utilisée à l'alimentation souterraine de la plante.

C'est M. Schløesing qui a précisé le mécanisme de la circulation de l'ammoniaque à la surface du globe. Le savant professeur a introduit dans cette étude la notion des *tensions de vapeurs*.

Si faible, en effet, que soit la quantité d'ammoniaque libre ou carbonatée diffusée dans l'air, l'eau ou la terre,

elle conserve une certaine tension. Deux milieux qui en contiennent sont-ils en contact, celui où l'ammoniaque a une tension plus grande en cède à l'autre jusqu'à ce que, la tension étant devenue la même de part et d'autre, l'équilibre soit établi.

« Cet équilibre, dit M. Schlœsing, n'est jamais réalisé à la surface du globe, la mobilité de l'atmosphère, les variations de température, la disparition de l'alcali changé en acide nitrique sur les continents, sa formation au sein des mers, sont autant d'obstacles à l'établissement d'une tension partout égale et autant de causes d'un mouvement incessant. » M. Schlœsing a porté ses recherches sur les échanges d'ammoniaque entre l'air et l'eau<sup>1</sup> ; on pourrait en effectuer d'analogues relatives aux échanges entre la terre et l'air et entre la terre et l'eau.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on peut admettre que la mer est une des sources importantes de la production d'ammoniaque.

L'eau marine en renferme 0 milligr. 4 par litre, ce qui fait un stock énorme. Nous avons vu, en outre, l'ammoniaque se former par action microbienne dans la terre arable.

En vertu de sa tension, l'ammoniaque peut passer de la mer dans l'air et en réparer les pertes.

De l'air ce gaz passe aux continents où il sert partiellement à l'entretien de la végétation. Les nitrates formés dans le sol retournent en grande quantité par infiltration aux fleuves et à la mer. Dans la mer les nitrates sont absorbés par les végétaux marins dont les composés azotés sont destinés sans doute à la nutrition des animaux

<sup>1</sup> SCHLÖESING, *Chimie agricole. Encycl. chimique.*

marins. La destruction des composés azotés doit aboutir à la reconstitution de l'ammoniaque.

Ainsi, au point de vue de la statique chimique du globe, on constate que la mer est le réservoir commun de trois des principaux aliments des plantes : l'eau, l'acide carbonique, l'ammoniaque.

Dans le sol l'ammoniaque n'est qu'un état transitoire qui passe, comme nous l'avons vu, à la forme nitreuse et nitrique.

Pour ce qui est de l'origine de l'acide nitrique, il n'y a pas de doute ; c'est dans l'atmosphère qu'il prend naissance en petite quantité, et surtout dans le sol (nitri-fication). La mer est, en effet, alcaline et contient des carbonates en abondance qui fixeraient cet acide s'il y existait. Dans les sols les bicarbonates alcalins y sont aussi presque partout diffusés, de sorte que l'acide nitrique donne rapidement des nitrates. Cavendish, du reste, a démontré que la synthèse de l'acide nitrique est possible dans l'atmosphère, car l'azote et l'oxygène peuvent entrer en combinaison sous l'influence de l'effluve électrique.

## § 2. — MÉTÉOROLOGIE AGRICOLE

Les applications de la climatologie à la *chimie agricole* sont trop nombreuses pour que nous n'en disions pas quelques mots. Le rôle de tel ou tel engrais, de l'azote, de la potasse, de l'acide phosphorique, etc., dépend non seulement de la nature de la plante et de la composition antérieure du sol qui la porte, mais aussi des conditions climatiques de l'année courante.

Les mêmes engrais confiés à une même terre produiront des résultats inégaux, suivant leur nature et celle

du sol, sous deux climats différents par position ou par accident annuel. Si donc il importe au point de vue du rendement général des cultures de comparer ce rendement aux variations climatiques correspondantes et de déterminer la part propre à chaque élément du climat dans ce rendement, il n'importe pas moins, au point de vue économique, de préciser l'influence que ces divers éléments climatiques peuvent avoir sur la proportion des principes minéraux ou azotés qu'une même plante peut enlever à un sol humide ou sec, et sur le profit qu'elle en tire.

**4. Le climat et la végétation.** — A part la région méditerranéenne, le climat de la France présente une grande homogénéité sans exclure les influences locales.

Chaque intempérie a une influence variable suivant la date relative de son apparition par rapport à la période de végétation dans laquelle elle survient <sup>1</sup> Il est actuellement démontré :

1° Que, toutes choses d'ailleurs égales, la vitesse évolutive des plantes croît avec leur température; qu'elle croît proportionnellement à cette température entre certaines limites de chaleur; que le même blé, par exemple, semé dans des terrains semblables, arrive à maturité quand il a reçu une somme sensiblement constante de températures moyennes diurnes supérieures à 6 degrés. Un fait semblable se produit sans doute pour la plupart des végétaux : en un mot, il existe pour chaque espèce des *températures utiles* qui sont comprises entre deux *températures limites* (maximum et minimum); et il y a, entre le maximum et le minimum, un *optimum* de température.

<sup>1</sup> *Annuaire de Montsouris*, 1882-86.

2° Les plantes évoluent par la chaleur, qu'elles reçoivent ou non des rayons ; mais elles n'assimilent le carbone que sous l'influence de la lumière. En dehors de celle-ci, elles vivent sur leur propre fonds, sur les réserves qu'elles ont à leur disposition ; elles ne les accroissent pas et les diminuent au contraire. La somme des produits qu'elles ont constitués dépend donc de la somme de lumière qu'elles ont reçue à une température convenable.

3° L'humidité du sol est indispensable à la plante, comme la chaleur et la lumière. Chaque végétal consomme annuellement un poids d'eau qui est plusieurs dizaines de fois supérieur à son propre poids. L'eau qui a pénétré dans la plante avec les substances minérales qu'elle a puisées dans le sol est dépensée par voie de transpiration.

Chaque climat est aussi caractérisé par trois facteurs importants qui retentissent sur la végétation :

1° Température (chaleur, durée des jours, déclinaison du soleil, altitude, vents...);

2° Lumière (nébulosité, vents...);

3° Eau (pluie, hygrométrie, vents...).

Les courants aériens ou *vents* jouent, comme on le comprend, un rôle non négligeable. Ils influent en effet : sur la température, en favorisant l'évaporation et en accélérant le refroidissement du sol ; sur la lumière, en chassant des nuages, qui interceptent la lumière solaire ; sur l'humidité, en desséchant l'air et le sol d'une part, ou en empêchant les condensations atmosphériques ; d'autres fois, au contraire, en amenant la pluie ou en dissipant les brouillards.

Chaque période du développement de chaque espèce

végétale a un optimum climatérique qui est plus ou moins réalisé dans la pratique, mais qui influe beaucoup sur la réussite des cultures.

Pour expliquer l'action du climat sur la végétation, nous allons prendre comme exemple la végétation du blé. On peut y distinguer quatre phases essentielles de végétation :

- 1° La germination ;
- 2° Le tallage ;
- 3° La floraison ;
- 4° La maturité.

Suivant l'époque du semis, pour un climat donné :

1° Ces phases successives se succéderont plus ou moins rapidement ;

2° Elles auront, par suite, respectivement, des températures basses à redouter (gelées de printemps) en nombre plus ou moins grand ;

3° La moyenne des pluies variera également pour chaque période ;

4° L'éclairement sera aussi très différent ;

5° Il en résultera une végétation plus ou moins normale ou plus ou moins tourmentée.

Les agronomes ont donc été amenés à faire des observations et des expériences sur les exigences spécifiques des plantes cultivées au point de vue du climat.

Si nous examinons les tableaux de l'Observatoire de Montsouris, nous pouvons ainsi nous rendre compte que la culture du froment est, dans nos climats, soumise aux lois suivantes établies sur les chiffres de dix années d'observations (1875-1885) :

1. *Germination.* — La durée moyenne de la germination du froment est de vingt-trois jours. La semaille peut être faite du 22 septembre au 29 décembre. La

durée de la germination est d'autant plus longue que le semis est plus tardif : elle varie de sept à quarante-trois jours pour ces deux dates extrêmes.

La pluie qui suit les semailles influe sur la végétation. La moyenne d'eau tombée pendant cette période a été de 11 centimètres. Elle est maximum du 20 octobre au 20 novembre, où la moyenne atteint de 15 à 18 centimètres.

D'après de Gasparin, le grain de blé confié à la terre humide commence à germer dès que sa température dépasse 5 degrés. Il perce l'épiderme du grain quand il a reçu une somme de températures moyennes diurnes égales à 85 degrés ; sa tigelle sort de terre quelques jours plus tard. Si, pendant la germination, la sécheresse du sol est trop forte, cette germination s'arrête pour reprendre aux premières pluies. D'après de Saussure, le germe ne paraît pas trop souffrir des alternatives de sécheresse et d'humidité ; mais il n'en est plus de même de l'action du froid.

2. *Tallage*. — D'après de Gasparin, le blé talle du pied après avoir reçu une somme de chaleur égale à 430 degrés de températures moyennes diurnes observées à l'ombre, à partir du moment où cette température moyenne est parvenue à 5 degrés. Si, comme Hervé-Mangon, on part de la date de la germination, en éliminant dans la somme des températures diurnes celles qui sont inférieures à 6 degrés, la somme de chaleur nécessaire est de :

$$\Sigma_t = 640 \text{ degrés à partir du semis ;}$$

$$\Sigma'_t = 555 \text{ degrés à partir de la germination.}$$

La moyenne du nombre de jours écoulés du semis au



tallage est de cent trente-cinq jours. La moyenne du nombre de jours écoulés de la germination au tallage est de cent douze jours. La température moyenne de la quinzaine au milieu de laquelle survient le tallage est de  $9^{\circ},4$  (et varie seulement en dix ans de  $7^{\circ},5$  à  $10^{\circ},7$ ). La quantité de pluie tombée dans la quinzaine au milieu de laquelle survient le tallage est  $19^{\text{cm}},4$  (et varie en dix ans de  $16^{\text{cm}},8$  à  $21^{\text{cm}},9$ ). Outre le dommage qui peut être causé par les gelées, la température moyenne de l'époque du tallage influe sur la multiplication des tiges et sur sa durée; il en est de même de l'humidité du sol et de la clarté du ciel. Dans les régions à hivers durs, on hâte les semis autant qu'on peut, afin que les blés soient levés avant l'arrivée des grands froids; mais il ne faut pas que le tallage ait lieu, si possible, avant la disparition complète des fortes gelées.

3. *Floraison*. — La somme des températures moyennes utiles qui amène la floraison est  $\Sigma_t = 1,500$  degrés, depuis le semis, ou  $\Sigma'_t = 860$  degrés depuis le tallage.

Le nombre de jours écoulés du semis à la floraison est en moyenne de deux cent quinze, soit quatre-vingts du tallage à la floraison. La température moyenne de la quinzaine de la floraison est de  $16^{\circ},3$ ; mais, si l'on envisage les floraisons individuelles, on trouve des nombres qui varient de 9 degrés à 21 degrés. A 13 degrés de température moyenne, la floraison paraît encore se faire dans de bonnes conditions. Au-dessous de cette température, elle devient de plus en plus incertaine et prolongée, ce qui est un grave accident pour le rendement ultérieur. La hauteur de pluie tombée dans la quinzaine de la floraison est de  $25^{\text{cm}},3$  en moyenne. L'éclairement du ciel est en moyenne de 2,798 degrés

actinométriques<sup>1</sup> depuis le tallage jusqu'à la floraison; c'est la grosse part de l'éclairement total véritablement

profitable au froment.

4. *Maturité.* — La maturité est produite quand les blés ont reçu depuis la floraison une somme de 815 degrés de chaleur diurne mesurée à l'ombre : ce résultat arrive en moyenne à Paris quarante-quatre jours après la floraison et les écarts individuels ne dépassent guère quatre ou cinq jours en plus ou en moins. La date de la floraison peut donc renseigner d'une manière utile sur la date probable de la maturité.

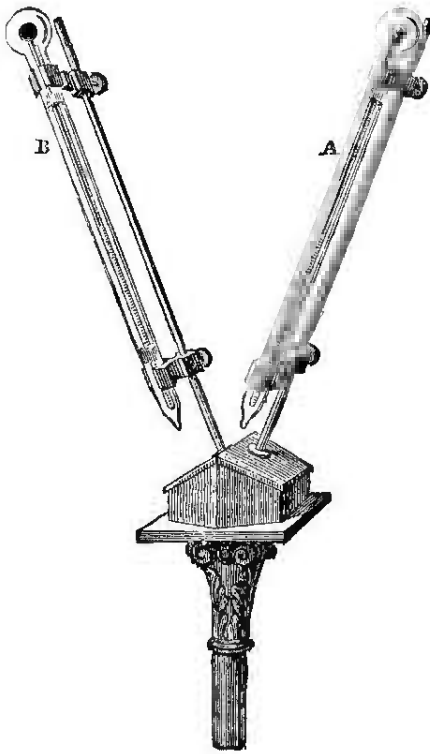


FIG. 13.

Actinomètre à thermomètres conjugués.

Ainsi le nombre de jours écoulés du semis à la maturité est de :  $\Sigma_j = 259$ ,

<sup>1</sup> L'actinométrie a pour objet la mesure de l'intensité des rayons qui émanent du soleil, de l'atmosphère ou des objets terrestres. On se sert ordinairement pour cette mesure de l'*actinomètre à thermomètres conjugués*. Il se compose (fig. 13) de deux thermomètres semblables à réservoirs sphériques renfermés chacun dans une enveloppe de verre dans laquelle on a fait le vide. Mais l'un des thermomètres a été noirci au noir de fumée; l'autre est nu, de sorte que les deux instruments ne marchent d'accord que dans l'obscurité. A la lumière, le thermomètre à boule noircie B marque toujours une température T plus élevée que celle t de A.

T — t donne la première approximation du degré actinométrique.

et il est d'autant moindre que le semis est plus tardif : 286 jours pour le semis du 22 septembre, 222 jours pour le semis du 29 décembre).

L'éclairement durant les trente jours qui suivent la floraison est de 1,410 degrés ; soit pour les deux périodes, floraison et maturité, 4,200 degrés actinométriques. On a pu, du reste, établir un rapport qui paraît *constant*, approximativement, entre la durée de l'éclairement total et le rendement en hectolitres. Le tableau résumé suivant <sup>1</sup> est très curieux à cet égard.

Années de la récolte	Eclairement en degrés actinométriques			Rendements en hectolitres à l'hectare	Rapports pour 1,000 degrés
	Floraison	Maturité	Total		
1874	2.960	1.610	4.570	28,9	6,3
1875	2.712	1.297	4.009	21,2	5,2
1876	3.032	1.569	4.601	25,»	5,4
1877	2.817	1.530	4.397	23,»	5,3
1878	2.395	1.397	3.792	19,4	5,1
1879	2.686	1.248	3.934	19,5	5,0
1880	2.980	1.432	4.432	24,4	5,5
1881	3.088	1.576	4.664	24,6	5,3
1882	2.901	1.334	4.235	26,8	6,3
1883	2.908	1.281	4.189	25,4	6,6

L'étude détaillée que nous venons de faire des rapports du climat et de la végétation du blé n'est qu'un exemple spécial qui montre l'importance des observations météorologiques appliquées aux rendements agricoles ; chaque espèce cultivée pourrait donner lieu à des remarques analogues.

2. Intégrale des températures. — Pour une même

<sup>1</sup> *Annuaire de Montsouris.*

espèce cultivée en Europe et en Amérique, le nombre de jours compris entre le commencement de la végétation et la maturité est d'autant plus grand que la température moyenne sous l'influence de laquelle la plante végète est moindre. La durée de la végétation sera ou plus courte ou plus longue selon que la chaleur moyenne du cycle sera elle-même plus ou moins forte. En d'autres termes, la durée de la végétation paraît être en raison inverse de la température moyenne. Ainsi, sous toutes les latitudes, à toutes les altitudes, la même plante semble exiger une quantité égale de chaleur.

Pour chacune des zones de végétation que nous avons indiquées, Haberlandt trouve ainsi des sommes de chaleur bien différentes <sup>1</sup>

Zones de végétation			Intégrale des températures
1.	Zone de.....	75 degrés	544°,50
2.	— .....	70 —	971°,40
3.	— .....	60 —	1,507°,95
4.	— .....	50 —	2,522°,46
5.	— .....	40 —	4,966°,25
6.	— .....	30 —	7,650°,00
7.	— .....	20 —	9,253°,75
8.	— .....	0 —	9,663°,37

Ainsi une culture sous l'Équateur reçoit dans le même temps une somme de chaleur dix-huit fois plus forte que dans la zone arctique.

*Exigences calorifiques des espèces végétales.* — La germination des plantes peut avoir lieu à quelques degrés au-dessous de zéro. Les plantes une fois développées vivent, suivant les espèces, entre des limites de températures très étendues. Certains arbres résineux, tels que le mélèze, peuvent braver un froid de — 35 degrés

<sup>1</sup> La somme est obtenue en multipliant le nombre de jours de végétation par la température moyenne du lieu.

à — 40 degrés, tandis que d'autres plantes végètent dans les eaux thermales.

Certaines graines soumises par Boussingault à des froids de — 100 degrés ont conservé leur faculté germinative (trèfle, seigle, froment).

La température est, comme on le sait, très inégalement répartie à la surface du globe. Le tableau suivant, dû à Haberlandt <sup>1</sup>, en donne une idée :

Zones de végétation	Latitude nord	Température moyenne annuelle
1. Zone polaire de végétation de 72 à 90 degrés : Région des herbes alpêtres, lichens et mousses... ..	75 degrés	— 8°,77
2. Zone de végétation arctique de 66 à 72 degrés : Buissons, pâturages, bouleaux.....	70 »	— 5°,29
3. Zone subarctique de 58 à 66 degrés : Conifères, bouleaux, saules.....	60 »	— 1°,01
4. Zone tempérée froide de 45 à 58 degrés : Hêtre, chêne, prairies, céréales.	50 »	+ 5°,37
5. Zone tempérée chaude de 34 à 45 degrés : Arbres à feuillage persistant, maïs, vigne, olivier.....	40 »	+ 13°,55
6. Zone subtropicale de 23 à 34 degrés : Myrtes, lauriers, citronniers, oranges, cotonniers, canne à sucre, arbre à thé.....	30 »	+ 20°,93
7. Zone tropicale de 15 à 23 degrés : Figueurs, fougères arborescentes, palmiers, cannes, caféier.....	20 »	+ 25°,32
8. Zone équatoriale de 15 degrés latitude nord à 15 degrés sud : Palmiers, et bananiers.....	0 »	+ 26°,47

<sup>1</sup> HABERLANDT, *Der allgemeine landwirthschaftliche Pflanzen*. 4<sup>e</sup> fasc., 1879.

Les écarts extrêmes de température entre les mois les plus chauds et les mois les plus froids de ces huit régions sont variables naturellement suivant les accidents naturels de l'écorce et la direction des vents.

Le tableau ci-dessous montre du reste que d'après les calculs de A. de Humboldt, la température décroît en moyenne en Europe de  $0^{\circ},5$  par degré de latitude.

L'altitude est un autre facteur de variation qui influe directement sur les zones de culture. La température s'abaisse d'environ  $0^{\circ},56$  par 100 mètres d'élévation.

Boussingault <sup>1</sup> a donné de nombreux chiffres sur le refroidissement causé par l'altitude. Nous lui en empruntons quelques-uns pour rendre cette vérité plus évidente :

Localités américaines	Allitudes	Températures moyennes
	Mètres	Degrés
Cumana.....	0	27,5
Toro .....	989	24,4
Banos .....	1,909	16,7
Quito.....	2,918	15,2
Antisana .....	4,072	3,4
Glacier d'Antisana .....	5,460	— 1,7

Boussingault, étudiant quelle est la somme intégrale des températures reçues par une plante pendant sa végétation, a pu établir par le calcul les exigences spécifiques de nos principales plantes de culture.

Les chiffres suivants ont été établis par lui et quelques autres observateurs :

<sup>1</sup> BOUSSINGAULT, *Économie rurale*.

Espèces végétales	Intégrales des températures	
	Minima	Maxima
	Degrés	Degrés
Blé d'automne .....	1,960	2,250
Blé de printemps .....	1,870	2,275
Seigle d'hiver .....	1,700	2,125
Seigle de printemps .....	1,750	2,190
Orge d'hiver .....	1,700	2,075
Orge de printemps .....	1,600	1,900
Avoine .....	1,940	2,310
Maïs .....	2,370	3,000
Riz .....	3,500	4,500
Sorgho .....	2,500	3,000
Millet commun .....	2,050	2,550
Millet d'Italie .....	2,350	2,800
Sarrasin .....	1,000	1,200
Chanvre .....	2,600	2,900
Betteraves .....	2,400	2,700
Betteraves porte-graines .....	3,900	4,500
Navets .....	1,400	1,600
Chou-rave .....	1,550	1,800
Colza d'hiver .....	2,300	2,500
Navette d'hiver .....	2,100	2,300
Colza d'été .....	1,700	1,900
Navette d'été .....	1,600	1,750
Pomme de terre .....	1,300	3,000
Tabac .....	3,200	3,600
Lin .....	1,600	1,850
Spergule .....	1,000	1,350
Tournesol .....	2,600	2,850
Pavot .....	2,250	2,780
Cameline .....	1,580	1,790
Pois .....	2,100	2,800
Lentilles .....	1,500	1,800
Haricots .....	2,400	3,000
Fèves de marais .....	2,300	2,940
Vesce .....	1,780	1,920
Gesse .....	2,260	2,450
Gesse cultivée .....	2,170	2,840
Soja .....	2,500	3,000

Les écarts entre les deux chiffres que nous venons d'indiquer pour chaque espèce tiennent à des causes variées.

La formule de Boussingault ne tient pas compte de plusieurs facteurs importants qui concourent au développement général de la plante (température et humidité du sol, température des nuits, hygrométrie).

Elle donne donc seulement des indications générales, mais avec une faible approximation, ainsi que nous allons l'établir :

Pour chaque région naturelle d'un pays il y a des limites entre lesquelles oscille la thermalité. La plupart du temps, ces limites excluent la culture de certaines espèces.

Dans la carte page 403 (*fig. 14*) on peut constater, par exemple, que la ligne de température moyenne de juillet, 18°,60, correspond exactement à la limite de la culture de la vigne.

D'autres remarques analogues pourraient être faites.

*Quantité de chaleur nécessaire à la plante pour fleurir, fructifier et mûrir ses graines.* — Depuis plusieurs siècles déjà, les observateurs ont remarqué une corrélation entre la durée de la végétation des plantes annuelles et la quantité de chaleur reçue pendant les différentes saisons de l'année.

Ayant observé que les années froides retardent le développement des fruits, et que les années chaudes l'accélérent, on en vint à calculer le nombre de degrés thermométriques nécessaires à l'air dans lequel vivait la plante pour que celle-ci puisse accomplir son cycle évolutif.

Réaumur et, après lui, Cotte et jusqu'à Boussingault, ont regardé comme constante, sous un climat comme le nôtre, la somme des températures que la plante exige pour mûrir son fruit :

$$T = a + b + c + \dots = \text{constante.}$$



M. Quetelet y a substitué la somme des carrés des températures moyennes diurnes :

$$T = a^2 + b^2 + c^2 + \dots = \text{constante.}$$

M. Fritsch, voulant tenir compte de l'influence de l'insolation et de l'humidité de l'air, proposa, il y a peu de temps, une modification qui est un sensible progrès. Elle consiste à tenir pour constante la somme des températures indiquées par le thermomètre mouillé du psychromètre :

$$T = (a - \Sigma) + (b - \Sigma') + (c - \Sigma'') + \dots = \text{constante.}$$

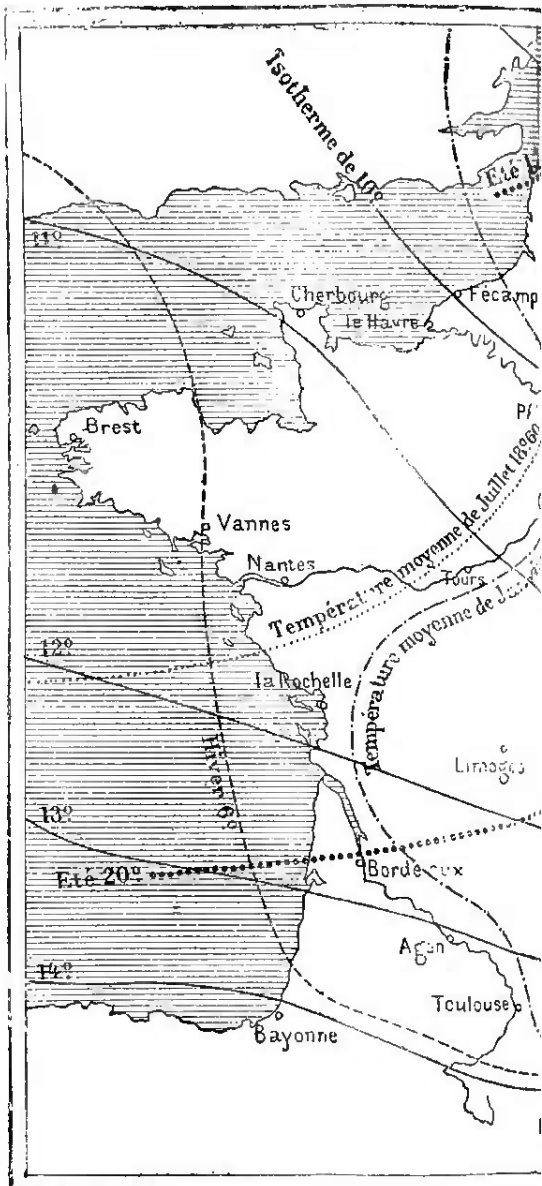
Si l'on soumet à la discussion ces différents procédés, on ne tarde pas à constater que ces formules ne sont que des données empiriques approchées avec une approximation plus ou moins suffisante.

Constatons, avant d'entrer dans la question, que la chaleur est le principal facteur de l'accroissement, puisque c'est de l'énergie calorifique que dérivent toutes les actions chimiques (analyses et synthèses).

Il est donc assez naturel d'augurer des différentes phases de l'accroissement par la quantité de chaleur reçue par la plante.

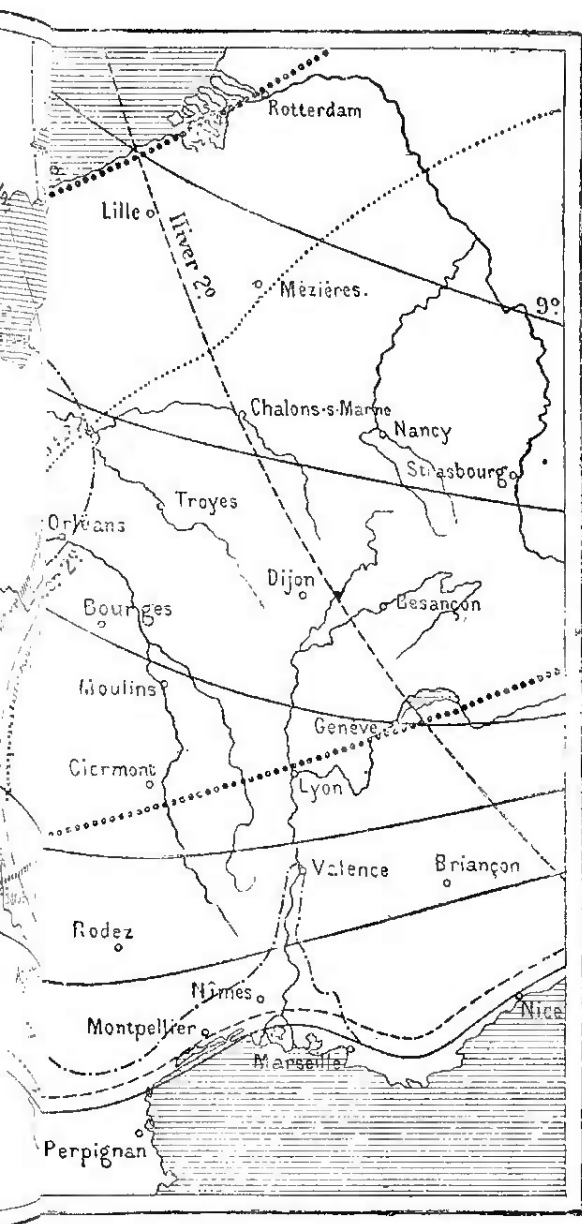
Étant donnée une plante placée dans un certain sol de composition définie, il paraît donc possible d'obtenir avec assez d'exactitude relative le nombre de calories nécessaires à son développement. La feuillaison, la floraison, la fructification sont des étapes de l'accroissement. Or, comme l'ont montré MM. G. Bonnier et Flahault le poids de carbone assimilé varie sensiblement en raison directe de la lumière absorbée.

La quantité de chaleur reçue est évidemment proportionnelle à la durée de l'éclairement et dépend, par suite, de la latitude  $l$  du lieu et de la déclinaison  $\lambda$  du soleil.



Cravé par E. Morieu.

FIG. 14. — Limites dans lesquelles



Les os de la thermalité en France.

$\lambda$  varie tous les jours, mais on peut lui attribuer une valeur moyenne pour une saison).

En supposant des sols identiques au point de vue physique et chimique, on peut donc poser en principe que la durée de la végétation des plantes annuelles variera suivant le pays considéré, puisque  $l$  et  $\lambda$  sont variables.

Il en résulte qu'on ne peut attribuer aucune généralité au calendrier de Flore que plusieurs botanistes ont cru pouvoir dresser expérimentalement; tout au moins ces calendriers ne sont valables que pour une localité.

La formule de Quetelet tient compte de la durée de l'éclairement, puisqu'elle totalise le carré des températures moyennes diurnes.

Les températures moyennes pourraient, bien entendu, être calculés par les tracés graphiques du thermomètre enregistreur; mais cette méthode a le grave défaut de ne pas faire cas de l'état hygrométrique, et de compter comme négligeables les influences climatiques nocturnes. Il importe cependant à la plante de ne pas subir, la nuit, un refroidissement ou un échauffement qui peut gravement modifier la transpiration et la respiration, et, par là, influencer sur sa pérennité.

Pour ce qui est de la formule de Frisch, en la supposant appliquée aux températures diurnes et nocturnes, on trouve encore une objection capitale suffisante pour la critiquer.

La plante ne vit pas seulement dans l'air, elle vit partiellement dans le sol.

Les trois formules précédentes ne tiennent pas compte de la racine. Or, la racine a besoin d'une certaine somme de chaleur, tout comme la tige de la plante.

Toute modification calorifique dans l'état des racines entraîne une variation de l'accroissement <sup>1</sup>

Si l'on plante même poids de graines semblables dans deux pots contenant de la terre identique au point de vue physique et chimique, et si on chauffe l'un des pots en y faisant arriver de l'air chaud par le bas, on observera une variation dans les différentes phases de la végétation des deux plantes, bien que l'air où vivent les tiges soit à une température sensiblement égale.

Ainsi la température du milieu où vit la racine doit être considérée comme presque aussi importante que la température de l'air.

Or la *température du sol* n'est pas uniquement fonction de la température de l'air. Elle en est presque indépendante dans bien des cas. C'est ce que nous allons démontrer.

La terre renferme toujours une plus ou moins grande quantité d'humidité.

Gasparin a étudié l'influence générale du degré d'humidité des terres sur leur échauffement au soleil.

Il a trouvé que la température de la terre se rapproche d'autant plus de la température de l'air que cette terre contient plus d'eau. <sup>1</sup>

L'écart des deux températures atteint quelquefois 20 degrés.

La quantité de chaleur reçue par la racine variera donc beaucoup suivant le degré d'humidité de la terre.

Le refroidissement des terres humides est dû à l'évaporation incessante qui se produit à leur surface et dans les interstices des parcelles terreuses.

<sup>1</sup> L'influence des terres froides est bien connue des cultivateurs.

Or l'évaporation varie avec le degré d'humidité de la terre, avec l'état hygrométrique de l'air, avec la pression atmosphérique, avec la vitesse du vent, le rayonnement, etc., autant d'influences qui ne sont pas mesurées par la lecture du thermomètre aérien et que le thermomètre souterrain va accuser en bloc, en vertu du principe suivant :

La quantité absolue de chaleur contenue dans le sol subit des variations qui sont dues aux fluctuations de l'évaporation, laquelle résume la plupart des influences élimatériques.

Nous avons pu par des expériences nous rendre compte des variations de la quantité de chaleur contenue dans le sol.

Nous avons planté, dans trois plants identiques, sauf par la proportion d'eau, trois thermomètres, à 15 centimètres de profondeur. Trois autres thermomètres ont été placés à côté des premiers, à la surface du sol.

Au bout d'une heure on lisait les températures suivantes :

	Sol très humide <sup>1</sup>	Sol humide	Sol sec
Dans le sol....	17	17 1/4	19
Sur le sol.....	21 1/2	22 1/2	24

Cet exemple suffit pour montrer que les racines sont dans des conditions calorifiques très différentes suivant l'humidité du sol, et les tiges des jeunes plantes elles-mêmes sont dans des atmosphères de différentes températures, puisque le rayonnement sur le sol sec est différent du rayonnement sur le sol humide.

<sup>1</sup> Les sols renfermaient respectivement 48 pour 100, 12 pour 100, 6 pour 100 d'eau.

En observant les six thermomètres à trois heures après midi on pouvait lire :

	Très humide	Humide	Sec
Dans le sol....	21 1/2	22	24 1/2
Sur le sol.....	22 1/2	22 1/2	24 1/2

Ce qui prouve que les variations de la température du sol ne sont pas fonction des variations de la température de l'air, puisqu'à quatre heures d'intervalle le sol a augmenté sa température de 4 à 5 degrés quand l'air a varié de 1 degré seulement à la surface du sol.

Pour ce qui concerne la quantité de chaleur nécessaire à la plante pour fleurir, pour fructifier, pour mûrir ses graines, il faut donc tenir compte de la *température du sol*. Celle-ci, ajoutée aux données de la température de l'air, résume la majeure partie des influences climatériques qui, il est vrai, agissent dans des sens plus ou moins opposés, mais qu'on peut apprécier en bloc; et c'est ce point-là qui importe dans la pratique.

Une considération nouvelle vient maintenant préciser l'action de la chaleur sur la végétation. La plante n'assimile pas, la nuit. L'action diurne et l'action nocturne de la chaleur sont donc bien différentes au point de vue de leur importance absolue sur l'accroissement.

Les propriétés du sol et de l'air peuvent se combiner ou s'opposer suivant les climats.

La plante pourra se trouver placée dans un air sec et un sol sec, ou dans un air sec et un sol humide, ou dans un air humide et un sol sec, ou dans un air humide et un sol humide.

L'opposition de l'action diurne et de l'action nocturne sera variable suivant ces conditions.

La formule empirique, échappant aux principaux argu-

ments de la discussion précédente, et difficile à établir expérimentalement d'une façon simple, serait donc la suivante :

$$T = nX + n'Y + mx + m'Y = \text{constante.}$$

$(n)$ ,  $(n')$ ,  $(m)$ ,  $(m')$ , seront quatre coefficients à déterminer par l'expérience pour chaque espèce ;

$X$ ,  $Y$ , la somme des températures moyennes utiles diurnes et nocturnes de l'air :

$$X = \Sigma t \quad \text{et} \quad Y = \Sigma t' ;$$

$x$ ,  $y$ , la somme des températures moyennes utiles diurnes et nocturnes du sol :

$$x = \Sigma \theta \quad \text{et} \quad y = \Sigma \theta'$$

Cette formule est encore imparfaite.

En effet, on ne tient compte dans la formule que de la quantité de chaleur fournie et on néglige la façon dont elle est donnée.

Or, toutes les réactions de la vie organique comme celles de la chimie minérale sont variables, suivant le moment où intervient l'élément thermique.

Il n'est pas douteux que les réactions chimiques et, par là même, l'accroissement de la plante sont susceptibles de certaines variations dont l'étendue est d'un certain ordre de grandeur ; cette variation fait tomber l'argument relatif à l'établissement des coefficients.

Il ne faut pas rechercher dans les phénomènes de la vie la rigueur mathématique.

Il n'est pas douteux que la feuillaison, la floraison... arrivent quand la plante a reçu une certaine quantité de chaleur  $K$ , variant entre  $Q$  et  $Q'$  :

$$Q < K < Q'$$

Les formules de nos devanciers ne tiennent pas assez compte du sol et du travail nocturne, leur valeur



trouvée K variait donc entre des limites assez éloignées.

Du reste, toutes les formules mathématiques ne seront jamais que des formules approchées. M. le professeur Schübeler et M. Tisserand <sup>1</sup> ont, en effet, mis en évidence que les plantes cultivées dans les hautes latitudes sont douées d'une activité de végétation bien plus grande que celles des pays méridionaux, puisque, transportées dans le sud, leurs semences donnent leur récolte beaucoup plus tôt que celles-ci. Ce fait prouverait, d'après M. Tisserand, que, pour produire le même effet utile, les plantes dépensent sensiblement moins de force dans les régions septentrionales que dans le sud, qu'elles ont une assimilation plus énergique et utilisent mieux le calorique solaire.

On a trouvé depuis une raison suffisante qui interprète la judicieuse remarque de M. Tisserand : d'après M. Curtel <sup>2</sup>, l'assimilation se continue en Norvège pendant la nuit à une très faible intensité lumineuse. Il y a là une habitude des différentes plantes de ces régions ; habitude qui peut-être se transmet héréditairement, puisque les graines de Norvège transportées ailleurs donnent des plantes dont le cycle évolutif est plus court.

En résumé :

1° L'atmosphère fournit aux plantes différents éléments de leur alimentation : soit directement (carbone), soit indirectement par l'intermédiaire du sol (ammoniaque, acide nitrique, etc.) ;

2° Elle est le siège des agents météoriques qui exercent leur action immédiate sur le cycle évolutif de la plante (chaleur, eau, éclaircissement).

<sup>1</sup> TISSERAND, *Mémoire sur la végétation dans les hautes latitudes.*

<sup>2</sup> CURTEL et DAGUILLON, *Sur l'assimilation des plantes norvégiennes.*

## CHAPITRE V

## FONCTIONS DE NUTRITION

L'étude du sol a été exposée dans le but de nous faire comprendre l'origine et les formes variables que revêtent les principes minéraux nécessaires à l'alimentation de la plante.

Nous allons maintenant exposer le mécanisme de l'*absorption* de ces différentes substances, c'est-à-dire leur passage du sol dans la plante.

Connaissant la composition de l'atmosphère et l'influence de ses perturbations sur la végétation, nous aborderons ensuite les moyens par lesquels la plante peut y puiser une part importante de son alimentation organique, et notamment le carbone (*assimilation*).

Nous verrons que l'oxygène libre de l'air est aussi nécessaire aux fonctions vitales, pour l'accomplissement des phénomènes respiratoires (*respiration*). Enfin, la plante sera, en outre, en rapport avec l'atmosphère par le phénomène de la *transpiration* ou rejet de vapeur d'eau, qui joue le principal rôle dans l'ascension du courant d'eau absorbée par les racines.

Comme ces différentes fonctions de nutrition ont pour siège chacune des cellules vivantes du végétal nous devons préalablement dire quelques mots de la cellule végétale.

§ 1<sup>er</sup>. — FONCTION DU PROTOPLASMA

La cellule est l'élément primordial de la plante; elle possède sa vie propre et concourt en même temps à la vie générale de l'individu dont elle fait partie.

La cellule est plus ou moins différenciée et adaptée à

un travail physiologique spécial. Cette déformation est d'autant plus profonde que la division du travail chez l'individu est poussée à un haut degré, c'est-à-dire que l'organisme est plus complexe, plus perfectionné et occupe par suite un rang supérieur dans l'échelle des êtres.

La cellule végétale adulte, malgré ses variations de fonctions est, en général, composée d'une enveloppe de nature cellulosique renfermant un contenu protoplasmique et un liquide ou suc cellulaire (fig. 15).

A l'état jeune la cellule est remplie par le protoplasma. En vieillissant le protoplasma n'occupe plus que la périphérie de la cellule et quelques trabécules qui finissent par disparaître. Le suc cellulaire occupe la place que laisse peu à peu le protoplasma qui ne remplit plus complètement la cellule.

**Le protoplasma.** — C'est un réseau fibrillaire composé de principes chimiques complexes en voie de transformation, les uns minéraux (solides et gaz dissous), les autres organiques.

Il est formé d'une partie externe, plus claire et plus dense (hyalosplasma), et d'une partie centrale granuleuse et trouble renfermant le ou les noyaux, et les leucites.

Les noyaux jouent un rôle considérable dans la vie de la cellule et dans la perpétuation de l'espèce, mais leur rôle est bien obscur encore.

Les leucites ou plastides dérivent de l'activité proto-

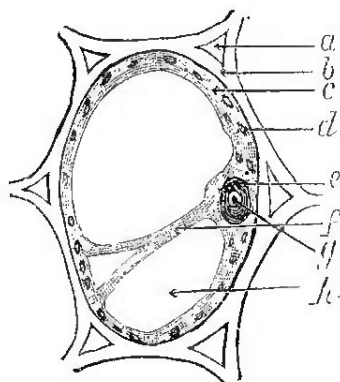


FIG. 15. — Cellule: *a*, méat intercellulaire; *b*, membrane cellulaire; *c*, protoplasma; *d*, grain de chlorophylle; *e*, nucléus ou noyau cellulaire; *f*, filament protoplasmique; *g*, nucléole; *h*, vacuole contenant le suc cellulaire.

plasmique ; quelques-uns jouent un rôle actif dans la fabrication des principes immédiats (amyloleucites, chloroleucites, chromoleucites). D'autres (hydroleucites) sont, en réalité, des vacuoles contenant le suc cellulaire dont le rôle augmente avec l'âge de la cellule et qui finalement

en occupent la majeure partie et contiennent en dissolution aqueuse une série de principes solubles très variés.

Il est bien établi que c'est le *protoplasma* qui est l'agent de transformation des matières minérales en matières organiques. L'étude des principes chimiques contenus dans les végétaux paraît donc indépendante de leur spécificité.

Les espèces végétales cependant ne fabriquent pas toutes les mêmes principes immédiats.

C'est ici qu'il est important de répéter que l'agencement variable des parties internes de la cellule même est la cause véritable des produits divers qui résultent du travail protoplasmique. Le savant doit se contenter pour l'instant

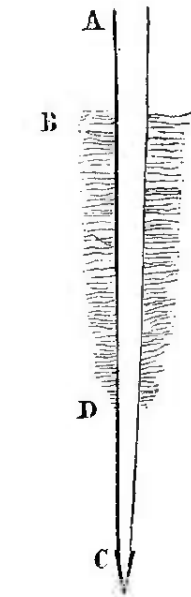


FIG. 16. — Partie terminale d'une racine: C, coiffe; C, D, région qui n'a pas encore de poils; B, D, région de la racine qui porte les poils; B, A, région où les poils sont tombés.

et pour longtemps sans doute de cette interprétation.

Dans tous les cas, la formation des produits organiques si variés résulte de la somme intégrale de tous les travaux cellulaires, en un mot du travail de l'individu.

## § 2. — ABSORPTION

Commençons par rappeler que tous les échanges, tous les transports qui s'opéreront dans la plante de cellule

à cellule s'opéreront au sein d'un liquide aqueux qui imbibé toutes les membranes et pénètre le protoplasma lui-même.

C'est là un point important pour s'expliquer le cheminement des gaz et des principes solubles puisés soit dans le milieu, soit dans les cellules elles-mêmes :

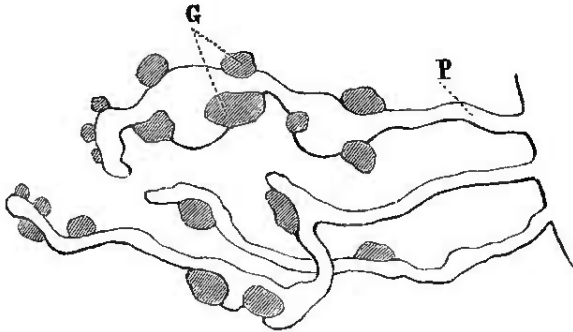


FIG. 17. — Poils absorbants d'une racine développée dans la terre. Les poils P sont dilatés, contournés autour des petits grains de terre G vu à la loupe.

« Tous les êtres vivants sont aquatiques, » a dit Claude Bernard.

L'absorption s'opère par les poils absorbants (*fig. 16, 17, 18*) des racines. Ce phénomène s'accomplit suivant les lois physiques de l'osmose et de la diffusion.

Le liquide absorbé ainsi constitue la sève brute qui se déplace dans le végétal en vertu :

- 1° De la force osmotique ;
- 2° De la capillarité ;
- 3° De l'aspiration produite par la transpiration.

Afin de mieux comprendre le mécanisme de l'absorption nous devons préalablement

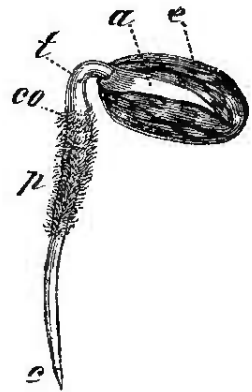


FIG. 18. — Graine de ricin germant : c, o, p, e, racine principale ; t, tige ; co collet ; e, téguments ; a, albumen.

exposer succinctement quelques données relatives à la diffusion et à l'osmose.

**1. Diffusion.** — « Si on laisse arriver dans un même vase deux liquides de densités différentes susceptibles de former un mélange permanent, ils se pénètrent et se mélangent peu à peu. On remplit une éprouvette à pied, aux deux tiers de sa capacité, d'une infusion bleue de tournesol, et au moyen d'un long entonnoir on y introduit avec précaution une certaine quantité d'acide sulfurique, qui occupera la partie inférieure du vase. On constatera, au bout de deux ou trois jours, que l'acide s'est diffusé dans le liquide qui a pris une teinte rouge. On peut dans l'intervalle observer les progrès du mélange par le changement graduel de couleur qui s'opère de bas en haut. C'est le phénomène de la diffusion <sup>1</sup> »

Des expériences fondées sur ce principe on a tiré plusieurs conséquences importantes :

1<sup>o</sup> Pour des solutions d'une même substance, mais à divers degrés de concentration, les quantités diffusées en temps égaux sont, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelles à la quantité de la substance qui se trouve dans la solution.

2<sup>o</sup> On n'observe aucune relation directe entre le poids spécifique d'une solution et sa diffusibilité, mais les quantités de diffusion de solutions qui contiennent des poids égaux de diverses substances varient avec la nature de ces substances.

Le tableau suivant indique les poids de substances

<sup>1</sup> MOIGNO, *Physique moléculaire*. C'est à cet ouvrage que nous empruntons la plupart des données relatives à la diffusion et à l'osmose.

diffusées dans une solution à 20 pour 100 abandonnée huit jours à la température de 16 degrés centigrades.

Chlorure de sodium.....	58,68
Sulfate de magnésie.....	27,42
Nitrate de soude.....	51,56
Acide sulfurique.....	69,32
Sucre candi.....	26,74
Mélasse de sucre de canne.....	32,55
Sucre d'amidon.....	26,94
Gomme arabique.....	13,24
Albumine.....	3,08

Ce tableau est intéressant au point de vue de la migration des substances au sein de la plante. Car les phénomènes physiques, qui permettent aux substances d'entrer dans les cellules périphériques, sont aussi ceux qui commandent le passage des substances de cellule à cellule vers les cellules internes.

L'extrême lenteur de la diffusion de l'albumine est un fait remarquable. Il semble dans le tableau précédent que la diffusion est d'autant plus rapide que le corps est moins complexe comme structure moléculaire. L'acide sulfurique se diffuse le plus vite, puis viennent les sels minéraux alcalins, ensuite les corps organiques ternaires et enfin les substances organiques quaternaires.

3° La diffusion augmente à mesure que la température s'élève, la proportion de matière diffusée peut passer du simple au double, et plus une substance est diffusible, moins elle gagne en diffusibilité par l'élévation de sa température.

4° On a trouvé que deux substances ne se combinant pas chimiquement, possédant des degrés différents de diffusibilité, mélangées en solution et mises dans un bocal de diffusion, se séparent jusqu'à un certain point

par le fait même de la diffusion, la plus diffusible passant au dehors plus vite que l'autre ; le sel le moins soluble ayant toutefois sa diffusibilité relative un peu réduite. Aussi, M. Graham fait-il remarquer que la manière dont le sol s'imprègne des eaux pluviales est favorable aux séparations par diffusion.

Il est fort vraisemblable que les sels solubles sont entraînés dans le sol à une certaine profondeur par une première portion des eaux, tandis que la dernière portion, formée d'eau presque pure, s'arrête dans la couche superficielle du sol. De là résultent des séparations de sels par diffusion de bas en haut. Les sels de potasse et d'ammoniaque, qui sont les plus essentiels à la végétation sont aussi ceux qui possèdent le plus haut degré de diffusibilité et qui, par conséquent, montent les premiers. La grande diffusibilité des hydrates alcalins peut être aussi mise en action par l'hydrate de chaux.

Quelquefois même les décompositions chimiques peuvent être au nombre des effets de la diffusion. Par exemple, si l'on met à diffuser dans l'eau une solution d'alun (sulfate d'alumine et de potasse), le sulfate de potasse se diffusera plus rapidement que le sulfate d'alumine, et la séparation de ces deux sels aura le caractère d'une décomposition chimique.

5° Pourvu que les liquides soient suffisamment dilués, une seconde substance se diffusera dans une eau contenant déjà une première substance en dissolution, en aussi grande quantité que dans l'eau pure ; mais la proportion de diffusion sera moindre si l'atmosphère liquide contient déjà une certaine quantité de la seconde substance.

2. Osmose. — Les phénomènes de diffusion sont en



relation intime avec ceux qui se produisent entre deux liquides séparés par un diaphragme poreux. Les phénomènes de l'osmose toutefois se compliquent de l'influence que peut avoir l'adhésion inégale de chaque liquide à la matière du diaphragme de séparation.

Si, de part et d'autre de la membrane de l'osmomètre de Dutrochet (*fig. 19*), on place de l'eau et de l'alcool, l'adhésion de l'eau pour la vessie est beaucoup plus grande que celle de l'alcool, et par conséquent cette membrane est mouillée plus facilement par le premier liquide que par le second. L'eau pénétrant dans les pores de la membrane s'y élève par capillarité, elle la traverse et arrive dans l'intérieur du vase, où elle rencontre l'alcool avec lequel elle se diffuse. Dans cette manière de voir, les conditions essentielles du phénomène se réduisent à l'inégalité des adhésions des deux liquides pour la membrane et à un certain degré d'adhésion de ces liquides eux-mêmes l'un pour l'autre.

Cette explication, malgré sa vraisemblance, est insuffisante à rendre compte du phénomène général et la théorie des phénomènes moléculaires est encore bien prématurée.

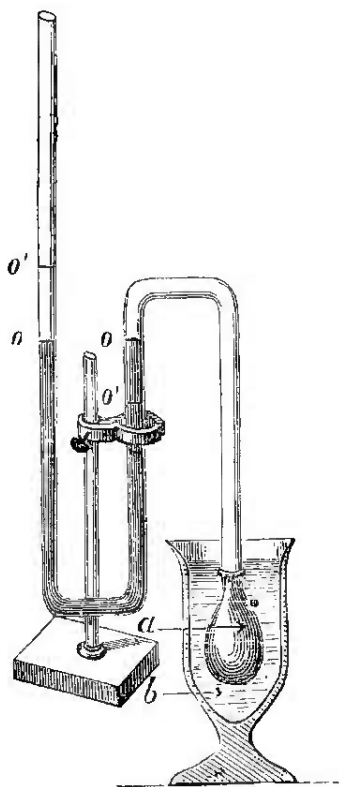


FIG. 19. — Endosmomètre; *a*, vessie contenant de l'eau sucrée; *b*, vase contenant de l'eau distillée; *oo*, niveau primitif du mercure; *o'o'*, niveau après le phénomène de dialyse.

Des expériences de M. Graham on peut retenir les résultats suivants qui intéressent la physiologie :

1° Les substances organiques neutres, telles que la gomme arabique, le sucre, la gélatine, la salicine, exercent une action osmotique très faible ;

2° Les sels strictement neutres, tels que le sulfate de magnésie, le chlorure de sodium, ne possèdent aucun pouvoir osmotique particulier, mais ils montrent à peu près la même diffusibilité que dans le cas où il n'y a pas de membrane poreuse ;

3° Les solutions alcalines (carbonates...) produisent, au contraire, l'endosmose à un degré remarquable. On a trouvé du reste que les phénomènes osmotiques ont généralement leur maximum dans les solutions très étendues à 2 pour 1,000 par exemple. En plaçant une solution à 1 pour 1,000 de carbonate de potasse dans l'osmomètre, au bout de cinq heures l'eau est entrée en abondance, le niveau s'élève dans le tube et accuse une « osmose positive » considérable ;

4° Les acides étendus d'eau et, en général, les solutions des sels acides font naître un courant en sens contraire ; le niveau s'abaisse dans le tube de l'osmomètre ; « l'osmose est négative » ;

5° Quand on observe l'action osmotique, il se produit en général une action chimique sur la membrane poreuse de séparation ; et il est remarquable que, si la cloison n'est pas décomposable chimiquement par les liquides, les phénomènes osmotiques deviennent insignifiants.

**3. Pression osmotique.** — Si l'on considère une matière dissoute remplissant un vase à paroi dite semi-perméable (paroi qui laisse passer le dissolvant, mais qui s'oppose au passage des corps dissous), vase qui lui-même est

fermé et plongé dans le dissolvant, on constate que la solution exerce une pression sur la paroi et acquiert ainsi la propriété caractéristique de l'état gazeux. En effet, la force osmotique tend à faire entrer le dissolvant dans le vase ; si celui-ci est rempli de la solution et fermé, il se produira une pression sur la paroi intérieure, pression dite *osmotique* <sup>1</sup>

Cette analogie entre la solution et un gaz dilué ressort d'une façon saisissante si l'on voit dans la force osmotique ce qu'elle est en réalité, la résistance nécessaire pour empêcher la disparition du corps dissous dans le dissolvant ; elle se rapproche dès lors absolument de la pression ordinaire d'un gaz, qui, elle aussi, est ressentie par la paroi, parce que celle-ci en empêche la disparition dans l'espace environnant.

Or la ressemblance entre cette pression osmotique d'une solution et la pression ordinaire d'un gaz se maintient jusque dans les données numériques et il est possible de démontrer, soit par l'expérience, soit par le calcul, la validité pour cette pression osmotique des lois fondamentales qui régissent les gaz dilués :

1<sup>o</sup> *Loi de Boyle*. — Il y a proportionnalité entre la pression osmotique et la concentration.

M. Pfeffer a réalisé des expériences qui lui ont donné les résultats suivants qui vérifient la loi :

Pression osmotique	Concentration	P/C <sup>2</sup>
535 mm.	1	535
1,016 —	2	508
2,062 —	4	521
3,075 —	6	513

<sup>1</sup> J.-H. VAN'T HOFF, *Notice. Agenda du chimiste*, 1893.

<sup>2</sup> P/C exprime le rapport de la pression osmotique à la concentration. Ce rapport est sensiblement constant d'après les expériences de Pfeffer,

2° *Loi de Gay-Lussac.* — Il y a proportionnalité entre la pression osmotique et la température absolue.

Les expériences de M. Pfeffer sont aussi concluantes à ce sujet.

Le courant osmotique représente une force mécanique qu'on peut mesurer. Il a un maximum qu'il ne peut dépasser. A partir de ce moment le mélange des liquides se continue sans changement de volume. Ce maximum de hauteur est la mesure de la puissance du courant osmotique. L'attraction chimique exercée sur la membrane est ainsi susceptible d'une évaluation numérique.

Les phénomènes d'osmose se produisent continuellement dans les organes des plantes; les liquides divers, alcalins, neutres ou quelquefois acides circulent, en effet, en traversant les parois des cellules et des vaisseaux.

4. *Dialyse.* — D'après les travaux de M. Graham <sup>1</sup>, les corps peuvent être rapportés chimiquement à deux grandes classes : les *crystalloïdes* et les *colloïdes*.

Les *crystalloïdes* sont les corps susceptibles de cristallisation. Ils forment généralement des solutions exemptes de viscosité et sapides, et peuvent traverser une cloison poreuse.

Les *colloïdes* sont, au contraire, de consistance gélatineuse (gomme, amidon, dextrine, tannin, albumine) et sont caractérisés par leur diffusion très difficile.

D'après l'auteur, l'explication de la dialyse serait la suivante: l'eau contenue dans la cloison ne peut servir directement de médium pour la diffusion, parce qu'elle y est à l'état de combinaison chimique, si faible d'ailleurs que puisse être cette combinaison. Les *crystalloïdes* so-

<sup>1</sup> GRAHAM, *Philos. Trans.*, 1861, p. 483.

lubles peuvent cependant séparer l'eau, molécule par molécule, du colloïde hydraté qui constitue la cloison. Le cristalloïde peut ainsi se diffuser à travers la cloison.

### §. Théorie de la diffusion, de la dialyse et de l'osmose.

— D'après Dubrunfaut, si l'on observe l'expérience ordinaire et classique de la diffusion d'un liquide coloré et de l'eau, le maximum d'effet se manifeste *au moment du mélange* et dans la *couche de contact primitif*, comme si la force se trouvait au maximum là où l'inégalité de densité des deux liquides est elle-même un maximum. La différence de densité est en effet, dans ce cas, un élément d'action, indépendamment de la différence qui peut exister entre les constitutions chimiques des deux liquides, ainsi que l'a reconnu Dutrochet.

L'endosmose ne diffère pas de la diffusion. La même force agit dans les deux cas, les mêmes effets se produisent, mais dans des temps très différents. Dans l'endosmomètre les liquides sont superposés dans l'ordre inverse de la diffusion; cette condition est favorable au mélange et la force accomplit son travail dans un temps plus court.

La force agit dans les deux cas: 1° dans une direction normale à la surface de contact des couches liquides; 2° avec une énergie qui varie avec la différence des densités.

Or, la condition d'endosmose met sans cesse en contact, par l'intermédiaire de la membrane, les deux liquides actifs avec le maximum de différence de densité. Il s'ensuit une accélération dans la rapidité du mélange. L'inégale perméabilité de la membrane aux deux liquides d'inégale densité justifie l'inégalité des deux courants produits par la force de diffusion et explique sa passi-

vité absolue au point de vue de la production de la force.

Si l'on réfléchit au nombre considérable de membranes qu'un courant nutritif doit traverser pour émigrer dans diverses parties de la plante, on se rend compte de l'importance de ces phénomènes physiques pour expliquer la cause occasionnelle du transport et sa rapidité.

Au point de vue plus pratique de l'intervention possible de l'agriculteur pour modifier l'absorption des racines nous devons appliquer les données précédentes aux deux cas bien différents des principes solubles et des principes insolubles.

**6. Absorption des principes solubles.** — Les principes dissous dans les liquides qui imprègnent le sol baignent les radicelles et pénètrent dans leur intérieur, mais les membranes des poils absorbants ne laissent pas passer toutes les substances, les unes les traversent facilement (cristalloïdes), les autres ne le font qu'avec une extrême lenteur (colloïdes). Outre cette propriété, la plante a une sorte de *faculté élective* : elle a une avidité spéciale à l'égard de chaque principe, et elle absorbe l'un ou l'autre sans tenir compte des proportions relatives qui existent dans le sol. Cette faculté élective paraît devoir être acceptée, car les cendres de végétaux différents ayant poussé dans le même terrain ont des compositions différentes. Les lois de l'osmose qui règlent l'introduction de ces éléments par les racines n'en sont pas moins vraies, car les membranes osmotiques ne sont pas identiques dans des plantes différentes.

Ce que nous appelons faculté élective n'est donc pas inexpliqué au point de vue des lois physiques.

Pour ce qui est des substances colloïdales, elles doivent

être amenées à l'état cristalloïde pour pouvoir servir utilement à l'alimentation.

L'*humus* en est un exemple. L'azote qu'il renferme peut devenir soluble sous forme de nitrate ou de composé ammoniacal.

Cette transformation obligatoire des corps organiques est importante à retenir, car la rapidité d'action des engrais azotés d'origine animale ou végétale dépendra en grande partie de la résistance des agents chimiques ou physiologiques qui tendent à détruire la matière organique.

**7. Absorption des principes insolubles.** — On a constaté que les racines peuvent dissoudre et faire pénétrer dans le végétal certains principes qui sont solubilisés à leur contact, soit par le dégagement d'acide carbonique des radicelles, soit par des acides organiques exsudés.

L'expérience classique des radicelles corrodant une plaque de marbre ou la paroi argileuse des poteries vient à l'appui de cette observation.

Il en résulte que les principes fertilisants insolubles n'agiront sur la végétation que s'ils sont au contact des radicelles. L'état physique du sol et la proximité des engrais <sup>1</sup> seront donc de première importance dans l'application des engrais chimiques.

Beaucoup de sols très riches en pierres calcaires, par exemple, peuvent bénéficier d'un chaulage, parce que la chaux ajoutée est présentée à la plante sous la forme immédiatement utile d'une poussière fine mélangée intimement au sol.

**8. Surface d'absorption des racines.** — Nous avons

<sup>1</sup> SCHLOESING, *Comptes rendus Ac. sc.*, nov. 1892.

citée plus haut la longueur assez grande des racines de quelques plantes cultivées; mais ce facteur n'est pas le seul, la surface d'absorption en est un autre, et de beaucoup le plus important. Cette surface est en général beaucoup plus grande qu'on pourrait se le figurer.

Voici quelques résultats obtenus par M. Aimé Girard en tenant compte de leur situation en profondeur :

SURFACE DES RADICELLES PAR HECTARE

Profondeur	Blé	Orge	Avoine	Herbages
	mèt. car.	mèt. car.	mèt. car.	mèt. car.
1 <sup>re</sup> couche, terre arable, 0 <sup>m</sup> 25	78,700	24,864	77,216	40,240
2 <sup>e</sup> — sous-sol, 0 <sup>m</sup> 25	15,000	4,864	6,400	18,048
3 <sup>e</sup> — — 0 <sup>m</sup> 25	14,690	2,896	15,584	10,576
4 <sup>e</sup> — — 0 <sup>m</sup> 25	4,650	2,258	7,840	6,976
5 <sup>e</sup> — — 0 <sup>m</sup> 25	5,050	416	774	400
Surface totale.	118,090	35,298	107,814	76,240

Les espèces n'ont pas, du reste, une surface d'absorption constante, et il est intéressant de noter que toutes les causes qui tendent à multiplier les radicelles (humidité, ameublissement du sol) retentissent par suite sur la végétation aérienne.

9. **Entrée des gaz.** — Les liquides du sol contenant des principes gazeux et solides dissous pénètrent par ce mécanisme dans la plante.

Une étude intéressante pourrait être faite des lois de solubilité des différents corps minéraux solides du sol.

Nous la passerons sous silence, mais les lois de solubilité des gaz doivent nous occuper en raison même du peu d'attention que leur donnent les traités classiques.



Pour les plantes aquatiques, cette question est primordiale, elle ne laisse pas que d'être aussi importante pour les plantes terrestres.

C'est la *loi de Dalton et Henry* qui régit la solubilité des gaz dans les liquides.

Elle s'énonce ainsi :

« A une température donnée il existe un rapport constant  $\beta$  entre le volume  $v$  du gaz dissous, mesuré sous la pression extérieure  $H$ , et le volume  $V$  du liquide absorbant. »

Si plusieurs gaz sont en présence du même liquide, chacun d'eux se dissout comme s'il était seul :

Le coefficient de solubilité  $\beta = \frac{v}{V} = \text{constante.}$

$$vH = Vh$$

$$h = H\beta$$

$$v = V\beta$$

Le coefficient de solubilité dans l'eau varie avec la nature du gaz et avec la température.

Bunsen a trouvé :

	Az	O	CO <sub>2</sub>
0 degré	0,02035	0,04114	1,7967
5 —	0,01794	0,03628	1,4497
10 —	0,01607	0,03250	1,1847
15 —	0,01478	0,02989	1,0020
20 —	0,01403	0,02838	0,9014

La composition de l'air dissous dans l'eau doit donc être différente de celle de l'air libre<sup>1</sup> L'analyse donne les nombres suivants :

<sup>1</sup> DEVAUX, Thèse de doctorat ès sc. nat. Paris, 1889.

	Air libre	Air dissous ou dialysé
CO <sup>2</sup> .....	0,04	2,19
O .....	20,80	33,98
Az .....	79,16	63,82

De sorte qu'une proportion de 2 pour 100 de CO<sup>2</sup> dans l'atmosphère suffit pour que l'air dissous en renferme 50 pour 100.

**10. Constitution des solutions gazeuses.** — Un liquide peut être considéré comme un milieu saturé de ses propres vapeurs (corps poreux liquide dans lequel les vapeurs sont à saturation).

A côté donc de la solubilité des liquides pour les gaz il y a lieu de considérer leur *porosité*.

Or, la diffusion des gaz à travers la masse d'un liquide dépend de deux facteurs :

L'un  $\beta$ , coefficient de solubilité ;

L'autre  $\frac{1}{\sqrt{d}}$ <sup>1</sup>, qui correspond à la porosité.

La vitesse de diffusion est  $v = K \frac{\beta}{\sqrt{d}}$  (*Loi d'Exner*).

Les gaz se déplacent très lentement dans les liquides, de sorte qu'on a reconnu qu'un gaz placé au-dessus d'un liquide immobile met quelquefois plusieurs mois pour se dissoudre et atteindre l'état d'équilibre.

La vitesse de diffusion par rapport à l'azote est :

$$\begin{aligned} \text{Az} &= 1 \\ \text{O} &= 1,87 \\ \text{H} &= 4,38 \\ \text{CO}^2 &= 54,77 \end{aligned}$$

<sup>1</sup>  $d$  est la densité.

D'où on calcule que l'air se diffusant dans le vide à travers une lame liquide a la composition :

$$O = 32,4$$

$$Az = 67,6$$

Il est probable que la diffusion à travers les parois de la plante est très analogue à celle qui se produirait à travers une lame liquide immobilisée.

L'eau en effet, à cause de sa forte proportion dans les parois de la plante, joue le principal rôle dans la diffusion des gaz à travers les parois.

M. Devaux l'a prouvé en démontrant : 1° qu'une paroi artificielle contenant la même proportion d'eau que celle des plantes aquatiques est tout à fait assimilable à une lame d'eau solidifiée ; 2° que la diffusion reste la même, que la plante soit dans l'air ou dans l'eau.

**11. Capillarité.** — La sève brute entrée par osmose et diffusion ne tarde pas à gagner de cellule en cellule les vaisseaux conducteurs, où la « pression osmotique » ou « force de diffusion » la refoule sans cesse.

Nous avons vu que cette force était capable d'élever la colonne liquide ; une autre force, la force capillaire vient s'ajouter à elle pour la maintenir dans les vaisseaux et l'élever à une certaine hauteur au-dessus du sol.

Les diverses lois établies au sujet des phénomènes capillaires sont applicables aux végétaux. Nous croyons devoir d'autant plus les citer ici, que les phénomènes capillaires jouent un rôle très important dans la constitution des sols.

*Première loi ou loi de Jurin.* — Pour un même liquide et à une même température, les hauteurs moyennes soulevées dans divers tubes capillaires sont en raison inverse des diamètres des tubes ( $rh = \text{constante}$ ).

*Deuxième loi.* — Les hauteurs soulevées sont indépendantes de la forme du tube capillaire et de la substance des parois du tube.

*Troisième loi.* — Les hauteurs diminuent quand la température s'élève.

*Quatrième loi.* — Les hauteurs varient avec la nature du liquide.

Nous en déduisons l'importance de la température (première loi et troisième loi); de la densité de la sève brute, et par là même de l'influence de l'humidité du sol (quatrième loi); l'influence du diamètre des vaisseaux sur la constante capillaire (première loi).

Ainsi se trouve confirmée encore l'extrême retentissement du milieu sur les fonctions de la plante.

**12. Mécanisme général de l'absorption.** — L'eau et chacune des matières dissoutes pénètrent à travers la membrane des poils absorbants (*fig. 17*), conformément aux principes physiques que nous venons d'étudier. Ces substances sont consommées plus ou moins rapidement. Le taux pour cent qu'elles représentent dans l'intérieur du végétal varie suivant la rapidité de leur disparition de la sève brute; ce taux pour cent, en faisant varier la concentration du liquide interne, retentit sur la rapidité des phénomènes osmotiques. C'est ainsi que l'eau transpirée plus ou moins rapidement par la partie aérienne modifie l'absorption aqueuse des racines.

C'est ainsi encore que l'entrée dans une combinaison fixe et insoluble d'un sel minéral a pour effet immédiat une nouvelle entrée de ce sel dans le liquide absorbé. L'équilibre est modifié sans cesse, et sans cesse tend à se rétablir par le régime variable des entrées osmotiques.

Souvenons-nous bien pourtant qu'aucun phénomène

physiologique n'est directement et régulièrement influencé. Toute force influente suppose une chaîne d'intermédiaires et des points d'application multiples. C'est ainsi, par exemple, que l'absorption aqueuse et la transpiration ne varient pas assez corrélativement pour maintenir dans la plante un taux normal et constant d'eau.

### § 3. — ASSIMILATION CHLOROPHYLLIENNE

L'atmosphère renferme de l'acide carbonique. Sous l'influence de la lumière, la chlorophylle des végétaux décompose cet acide en rejetant de l'oxygène et fixant du carbone.

Là où le chlorophylle fait défaut le végétal ne peut effectuer cette décomposition; c'est alors par emprunt d'aliments élaborés par d'autres organes verts que la plante peut se nourrir (parasitisme).

Il existe un optimum qui favorise l'assimilation, c'est quand l'atmosphère renferme 8 pour 100 d'acide carbonique. (L'air n'en contient que 4/10,000<sup>e</sup>.) L'assimilation est très variable suivant les conditions extérieures.

*A. Influence de la nature de la radiation* — On a cherché si toutes les radiations étaient également favorables.

Timiriazeff a placé des fragments de plantes dans des éprouvettes contenant une assez forte proportion de CO<sup>2</sup> et il a dirigé chacune des sept couleurs du spectre sur sept éprouvettes comparables.

Après quelques heures, ayant cherché celle qui contenait le plus d'oxygène, il a trouvé un maximum d'assimilation dans le rouge. Le jaune et le vert indiquaient une assimilation presque nulle (*fig.* 20).

Engelmann par sa méthode des bactéries est arrivé au même résultat. C'est un fait bien connu que les bactéries

recherchent l'oxygène, qui chez tous les êtres est nécessaire à la vie.

Ayant fait tomber un spectre étalé sur une lamelle supportant une algue verte baignant dans un liquide riche en bactéries, on voit celles-ci s'accumuler en grand nombre dans la région du rouge où, par conséquent, le dégagement d'oxygène est maximum.

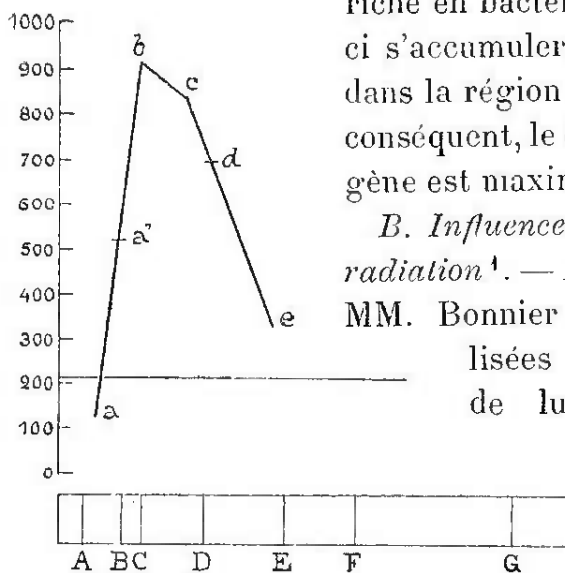


FIG. 20. — Décomposition de l'acide carbonique dans le spectre. (SACHS.)

B. *Influence de l'intensité de la radiation*<sup>1</sup>. — Les expériences de MM. Bonnier et Mangin, réalisées avec une source de lumière électrique, ont prouvé que l'assimilation croît avec l'intensité lumineuse jusqu'à un optimum.

C. *Influence de la température*. — L'assimilation croît avec la température, mais dans une faible proportion.

La respiration croissant également avec la température, les expériences relatives à l'assimilation doivent être faites en double : 1° avec une plante ordinaire ; 2° avec une plante anesthésiée au chloroforme, qui empêche l'assimilation et ne trouble pas la respiration.

D. *Influence du degré hygrométrique*. — L'assimilation croît avec le degré hygrométrique.

<sup>1</sup> BONNIER ET MANGIN, *Recherches sur l'assimilation*.

## § 4. — RESPIRATION

C'est de Saussure qui a reconnu le premier que les plantes possèdent la fonction respiratoire comme tous les animaux.

Les plantes absorbent de l'oxygène qui se combine dans leur tissu et rejettent de l'acide carbonique provenant des combustions vitales.

La respiration est nécessaire à la plante, la privation d'oxygène l'asphyxie ; toutes les parties de la plante respirent, mais les parties vertes, au contraire, possèdent seules la faculté d'assimiler.

A la lumière comme à l'obscurité, les plantes respirent, mais l'assimilation contraire, quand elle existe, l'observation de l'échange respiratoire.

Ces deux fonctions, en effet, varient en sens inverse, et l'analyse ne révèle que leur résultante.

MM. Pasteur et Müntz ont démontré que des organes végétaux qu'on prive d'oxygène peuvent continuer quelque temps à émettre de l'acide carbonique ; dans ces conditions, ils fournissent eux-mêmes les deux éléments, carbone et oxygène. Cette sorte de respiration dite intracellulaire est analogue à celle de la levure de bière.

Des recherches expérimentales faites sur des plantes anesthésiées ont établi que la respiration subit aussi l'influence du milieu.

Chez tous les tissus vivants étudiés l'on peut dire que le rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  est, d'une manière presque absolue, indépendant de la température pour une espèce donnée à un moment déterminé.

Ainsi, à un moment du développement, les combinai-

sous qui se produisent sont d'une nature peu variable.

De l'étude expérimentale il résulte que :

1° Le rapport des gaz échangés par la respiration est indépendant de la pression partielle des gaz ;

2° Le rapport est indépendant de la température ;

3° Le rapport est indépendant de l'éclairement ;

4° Le rapport varie avec le développement de la plante.

La respiration est, en outre, soumise aux lois suivantes :

1° L'intensité de la respiration augmente, et de plus en plus rapidement, avec la température, et cela d'une manière continue et indéfinie jusqu'à la mort de la plante. — Pas d'optimum de température.

2° L'intensité de la respiration augmente avec l'état hygrométrique de l'air ;

3° L'intensité de la respiration diminue avec l'éclairement ;

4° La lumière diffuse retarde l'intensité du phénomène respiratoire ;

5° L'ensemble des radiations les plus réfrangibles est plus favorable à la respiration que l'ensemble des radiations les moins réfrangibles ;

6° La valeur du rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé, variable avec les différentes espèces, est en général plus petit que l'unité ;

7°  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  ne varie pas avec la pression.

Le dégagement d'acide carbonique qui résulte du phénomène respiratoire peut être mis en évidence par l'appareil suivant (*fig.* 21) dû à Corenwinder.

On place à l'obscurité, sous une cloche, des rameaux



portant de très jeunes feuilles. La respiration y est assez active pour laisser un dégagement d'acide carbonique. On a soin d'établir un courant d'air pur dépouillé en C de son acide carbonique. L'air qui sort de la cloche en B trouble l'eau de baryte du flacon laveur, E.

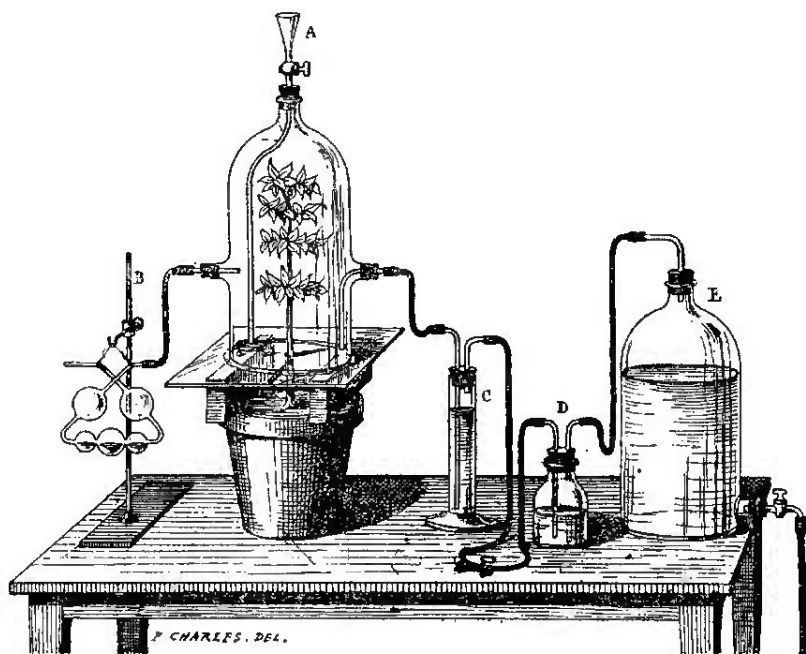


FIG. 21. — Appareil de CORENWINDER pour l'étude de la respiration.

**Atmosphères internes des plantes.** — Il nous reste à nous occuper des atmosphères internes. Les gaz contenus dans l'intérieur des plantes sont soumis à des changements de pression et de composition <sup>1</sup>.

L'absorption de l'oxygène par les éléments de la plante; la formation de CO<sup>2</sup> et son dégagement; les mouvements des plantes occasionnés par les vents; les variations de température; les variations de pression;

<sup>1</sup> PEYROU, Thèse, 1888.

la pénétration des liquides dans les tissus; l'osmose et la diffusion cellulaires, sont autant de causes qui influent sur l'atmosphère interne pour la différencier de l'atmosphère dans laquelle la plante est plongée.

Les variations de l'atmosphère interne sont très nombreuses et peuvent être étudiées par rapport :

- 1° Aux différentes heures de la journée ;
  - 2° Aux échanges dus aux parties vertes à la lumière.
- Pour ce qui concerne le milieu externe, par rapport :
- 1° A la température ;
  - 2° A l'agitation de l'air.

La structure des feuilles est aussi un facteur de variation qui dépend de l'âge, de l'intensité lumineuse, de l'espèce végétale.

Les premières études expérimentales sur ce sujet sont dues à Calvert et Ferrand (1843).

Ces savants firent éclater sous le mercure des gousses de *Colutea arborescens* et recueillirent les gaz, les desséchèrent et en firent l'analyse à l'eudiomètre.

Ils en déduisirent que :

- 1° L'air des gousses est plus riche en  $\text{CO}_2$  que l'air atmosphérique ;
- 2°  $\text{CO}_2$  est en plus grande quantité la nuit que le jour.

A la suite d'autres expériences sur des tiges fistuleuses ils trouvèrent :

Que l'air de l'intérieur des tiges est très différent de celui de l'atmosphère, surtout en  $\text{CO}_2$ , lequel augmente avec la végétation.

Ces expériences ne permettaient pas d'extraire les gaz dissous dans le protoplasma ou dans le suc cellulaire, ni ceux qui sont contenus dans les méats intercellulaires.

Ces gaz négligés doivent être les plus différents de l'atmosphère externe, puisqu'ils sont immédiatement en contact avec le pouvoir absorbant protoplasmique.

Boussingault attira l'attention des physiologistes sur ces gaz internes.

MM. Dehérain et Maquenne ont étudié aussi l'atmosphère interne des plantes au point de vue de leur influence sur la respiration.

MM. Gréhant et Peyrou ont étudié le sujet et en ont tiré des conclusions importantes.

Leur appareil est analogue à celui qui est employé pour extraire les gaz du sang.

Dans l'analyse <sup>1</sup> CO<sup>2</sup> est dosé par la potasse, O par l'acide pyrogallique, Az est obtenu par différence.

On constate expérimentalement que dans les tiges herbacées la composition des gaz est la même que dans les feuilles et que cette composition subit les mêmes influences.

*Variations diurnes.* — Pour les étudier il faut prendre des organes bien semblables, exposés de la même façon, sur les mêmes plantes, et il faut noter la température.

On trouve que la proportion d'oxygène, relativement plus forte pendant la nuit, diminue pendant les premières heures de la journée, passe par un minimum qui correspond à des heures variables suivant les jours, les saisons et l'exposition de la plante. A partir de ce minimum, il y a croissance jusqu'à un maximum qui a lieu entre onze heures et une heure, puis décroissance jusqu'au mini-

<sup>1</sup> On se sert maintenant en physiologie végétale de l'appareil Bonnier et Mangin. (Voyez la description dans la *Revue générale de botanique*, 1891.)

mum du soir vers cinq heures ; il y a ensuite croissance, et un maximum se produit entre minuit et deux heures du matin (fig. 22 et 23).

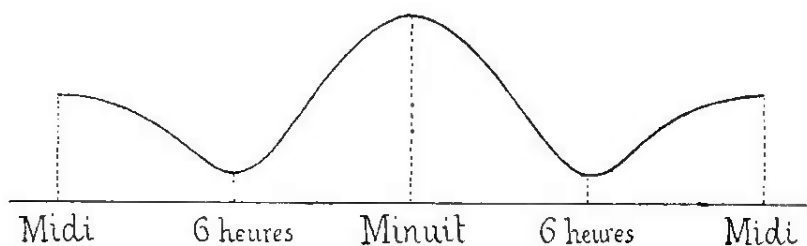


FIG. 22. — Courbe schématique représentant la marche des variations journalières de la proportion d'oxygène dans l'atmosphère interne des plantes.

La lumière paraît être le facteur important de ces variations, mais elle n'est probablement pas le seul.

Il est probable que le pouvoir absorbant du protoplasma pour l'oxygène doit être soumis à des variations qui doivent être la cause de celles qu'on peut constater dans l'atmosphère interne. Si le protoplasma subit des

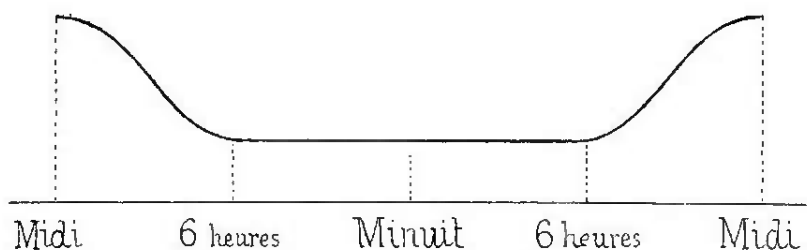


FIG. 23. — Courbe schématique représentant le dégagement d'oxygène par une plante, à différentes heures de la journée.

fluctuations au point de vue de l'absorption pour l'oxygène, il est évident qu'à une absorption énergique doit succéder dans l'atmosphère interne une pauvreté relative d'oxygène.

Toute diminution dans le pouvoir absorbant doit se traduire par une augmentation d'oxygène qui est fourni

par diffusion par l'atmosphère ambiante. On ne peut pas attribuer l'augmentation d'oxygène de la plante de neuf heures à midi à l'influence de l'action chlorophyllienne, car par un temps sombre, même à midi, les plantes peuvent absorber de l'oxygène au lieu d'en dégager: s'il n'en était pas ainsi, le maximum de midi serait atténué ou nul; or, on le constate par un temps sombre comme par un beau soleil. Chez les plantes à feuillage persistant l'époque de l'année n'a aucune influence sur l'atmosphère interne.

*Influence de la température.* — La température n'a pas d'influence appréciable sur la proportion d'oxygène contenue dans les plantes, à une condition, c'est que la température ne sera pas assez basse pour produire un arrêt des fonctions protoplasmiques.

Toutes choses égales d'ailleurs, la proportion d'oxygène dans les plantes est plus forte lorsque l'air est agité. Si on analyse les gaz de feuilles de divers âges, on reconnaît que l'âge de la plante, en retentissant sur l'énergie des fonctions protoplasmiques, donne des variations dans l'atmosphère interne.

Dans les feuilles étiolées la proportion d'oxygène est peu changée, mais  $\text{CO}^2$  est en proportion beaucoup plus considérable, ce qui prouve que les phénomènes endosmotiques et le pouvoir absorbant du protoplasma sont diminués dans les feuilles étiolées.

L'intensité de la lumière retentit sur la végétation, aussi on trouve: que la proportion d'oxygène augmente dans les plantes lorsqu'on les prive pendant un certain temps de l'influence de la lumière ou qu'on en atténue l'intensité.

La lumière augmente en effet l'activité générale de la

plante et favorise l'absorption d'oxygène. Les actions chimiques sont alors facilitées. Mais il paraît exister pour chaque plante un minimum de lumière au-dessous duquel les fonctions vitales subissent un décroissement assez rapide.

*Relations qui existent entre les quantités de O et CO<sup>2</sup> dans les feuilles.* — En général, CO<sup>2</sup> est d'autant plus considérable que l'oxygène est plus faible, mais il n'y a pas de relation simple entre ces deux valeurs à un moment donné.

Il est probable que l'acide carbonique s'accumule dans les tissus pendant l'obscurité de la nuit et se dégage surtout le matin.

L'extraction de CO<sup>2</sup> est difficile. La quantité qu'on peut extraire dépend de la température, et pour une même température le volume du gaz qu'on peut extraire est d'autant plus grand que la durée de l'extraction est plus longue. Tout porte à croire que ce gaz est à l'état de faibles combinaisons et que la dissolution de ces composés est facilitée par les faibles pressions prolongées. En effet, pour extraire à peu près complètement CO<sup>2</sup> de 50 grammes de feuilles de fusain il faut chauffer vers 100 degrés pendant une demi-heure.

Les plantes qui offrent des proportions d'oxygène considérables, comme celles qui sont à feuilles persistantes, renferment relativement peu d'acide carbonique. Au contraire, le lilas, le noyer... qui ont peu d'oxygène, renferment des quantités énormes de CO<sup>2</sup>.

Une partie de CO<sup>2</sup> qu'on recueille à une haute température provient de réactions chimiques analogues aux fermentations dues à la chaleur anormale subie par les feuilles. Mais il y a certainement une relation intime

entre l'énergie de la végétation et la proportion de  $\text{CO}_2$ .

On peut donc conclure que la composition gazeuse de l'intérieur des plantes se rattache directement aux phénomènes de vitalité générale.

L'activité vitale d'une plante est en raison inverse de la proportion d'oxygène qu'elle contient.

Ceci explique pourquoi une plante souffrante ou placée dans des conditions d'étiollement voit sa proportion d'oxygène augmenter, pourquoi une plante à l'ombre se développe plus lentement.

Ceci explique aussi la théorie de M. Gaston Bonnier, qui a reconnu que les végétaux jeunes absorbent plus d'oxygène qu'ils ne dégagent d'acide carbonique, et qui en a conclu que l'oxygène en excès est assimilé.

On peut donc affirmer que les tissus jeunes sont le siège d'une oxydation énergique lorsque  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} < 1$ .

## § 5. — TRANSPIRATION

La transpiration consiste dans un dégagement de vapeur d'eau. Une expérience très simple permet de mettre ce phénomène en évidence.

Un rameau feuillé placé sous une cloche ne tarde pas à saturer l'atmosphère où il est confiné, et bientôt des gouttelettes d'eau ruissellent sur les parois de l'enceinte. Ce dégagement de vapeur d'eau peut être évalué numériquement par différentes méthodes.

*Méthode des pesées.* — Dans l'expérience précédente, si l'on a soin de placer sous la cloche un corps avide d'eau, tel que de l'acide sulfurique monohydraté ou du chlorure de calcium, on peut par deux pesées de la substance chimique, l'une avant et l'autre après l'ex-

périence, en déduire l'eau transpirée par la surface foliaire  $s$ , pendant le temps  $t$  qu'a duré l'expérience.

La méthode des poids peut être modifiée pour expérimenter sur des feuilles non séparées du végétal. On se sert alors d'un tube fermé par un bouchon fendu en deux et entourant le pétiole sans le blesser (*fig. 24*).

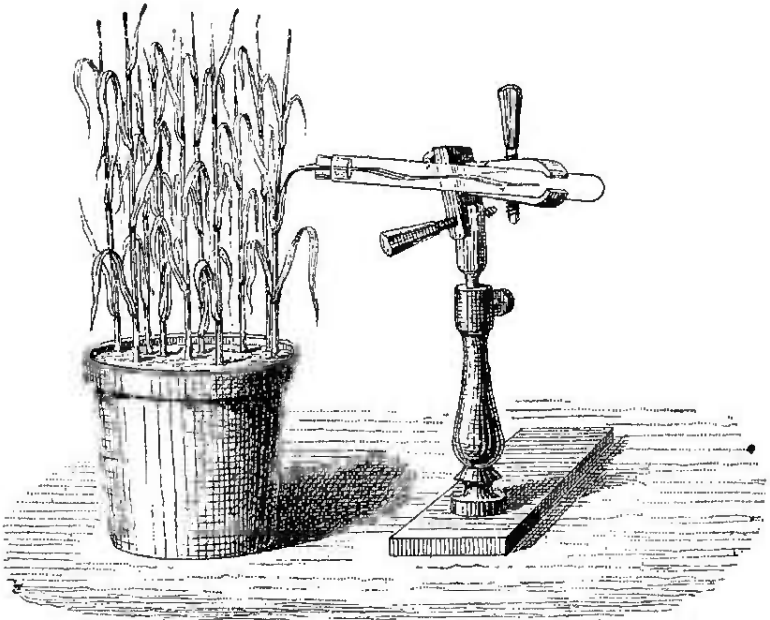


FIG. 24. — Mesure de la transpiration des végétaux.

Enfin, si l'on veut opérer sur une plante entière, on lute la surface du pot de façon à empêcher l'évaporation de la terre et on en déduit l'eau transpirée par des pesées successives.

Il y a lieu de distinguer deux sortes de transpiration :

1° La transpiration ordinaire ;

2° La chlorovaporisation ou transpiration chlorophyllienne, qui est en rapport direct avec l'assimilation chlorophyllienne.



Toutes deux augmentent avec l'intensité lumineuse et avec la température, et diminuent quand le rapport  $\frac{f}{F}$  augmente.

La chlorovaporisation varie en sens inverse de l'assimilation.

Wiesner, expérimentant soit par la méthode des spectres, soit par la méthode des cloches colorées, a trouvé que la transpiration chlorophyllienne est maximum dans la raie obscure du rouge.

D'après Wiesner, tous les rayons absorbés par la chlorophylle pourraient servir soit à décomposer l'acide carbonique (assimilation), soit à évaporer de l'eau (chlorovaporisation).

Ainsi s'expliquerait la variation inverse de ces deux fonctions.

M. Jumelle est arrivé à la même conclusion en faisant respirer deux rameaux comparables, l'un dans une atmosphère sans  $\text{CO}^2$ , où l'assimilation était par conséquent nulle, l'autre dans une atmosphère où l'optimum en  $\text{CO}^2$  (8 pour 100) était réalisé.

La chlorovaporisation était très intense dans le premier cas et beaucoup plus faible dans le second.

En faisant deux expériences avec état hygrométrique élevé, la chlorovaporisation étant diminuée, on voit l'assimilation augmenter.

**Eau évaporée par les cultures.** — C'est Hales qui, le premier, a attiré l'attention sur la puissance évaporatoire des feuilles. Par la méthode des pesées appliquée à des plantes enracinées dans des pots, il a pu déterminer les chiffres suivants :

Plantes	Surface des feuilles	Eau évaporée en douze heures	Rapport de l'évaporation à la surface de la plante
	centim. carrés	grammes	
Helianthus .....	35,400	220	1/165
Chou.....	17,100	209	1/80
Vigne .....	41,375	60,5	1/191
Pommier.....	9,833	99	1/109
Oranger.....	15,974	113,3	1/218

Hales a pu ainsi établir que les arbres verts évaporent moins d'eau que les arbres à feuilles caduques <sup>1</sup>.

M. Lawes a, de son côté, déterminé <sup>2</sup> la quantité d'eau évaporée par quelques plantes, pendant toute la durée de leur croissance, comparativement à la substance sèche élaborée.

	Eau évaporée	Matière sèche élaborée
	gr.	gr.
Blé .....	7.353,5	29,72
Orge.....	7.774,3	30,15
Fèves.....	7.269,6	34,82
Pois .....	7.065,5	27,27
Trèfle.....	3.568,5	13,26

On en déduit que, pour 1 kilogramme de matière sèche élaborée, il y a 250 à 350 kilogrammes d'eau transpirée.

Haberlandt a fait aussi des recherches sur l'eau évaporée par les cultures de céréales. Il a reconnu que l'évaporation était beaucoup plus active dans le jeune

<sup>1</sup> HALES, *Essais statiques*, 1727.

<sup>2</sup> LAWES, *Journ. Soc. hort.* London, 1850.

âge qu'à l'approche de la maturité ; c'est ce qui résulte du tableau suivant :

Espèces	Périodes	Évaporation par jour par 100 cent. car. de surface	Évaporation par jour pour toute la plante	Évaporation de chaque plante	
				pendant chaque période	pendant toute la vie
Blé.....	1 <sup>re</sup> période.	gr. 5,136	gr. 5,732	gr. 143,30	1.179,92
	2 <sup>e</sup> période.	2,802	11,981	299,50	
	3 <sup>e</sup> période.	2,657	18,428	737,12	
Seigle ..	1 <sup>re</sup> période.	3,765	4,300	107,50	834,89
	2 <sup>e</sup> période.	2,611	10,809	270,22	
	3 <sup>e</sup> période.	2,172	13,062	457,17	
Orge ..	1 <sup>re</sup> période.	5,212	8,214	205,35	1.236,71
	2 <sup>e</sup> période.	3,273	15,622	390,55	
	3 <sup>e</sup> période.	2,989	18,309	640,81	
Avoine .	1 <sup>re</sup> période.	3,272	12,384	309,60	2.277,76
	2 <sup>e</sup> période.	2,438	27,988	699,70	
	3 <sup>e</sup> période.	2,228	27,188	1.268,46	

On a pu ainsi calculer les quantités d'eau évaporées par hectare pendant la croissance de diverses graminées.

Céréales	Eau évaporée	Soil par kilogramme de matière sèche <sup>1</sup>
Blé.....	1 179.920 kilogr.	234 kilogr.
Seigle .....	834.890 —	166 —
Orge .....	1.236.710 —	247 —
Avoine .....	2.277.760 —	455 —

<sup>1</sup> En supposant la récolte égale à 5,000 kilogrammes de matière sèche à l'hectare.

On voit par ces quelques chiffres que le rendement agricole est lié intimement à la quantité d'eau qui circule dans la plante.

Or la transpiration est la force principale qui produit l'absorption par les racines. L'*expérience de Hales* permet de mettre ce fait en évidence.

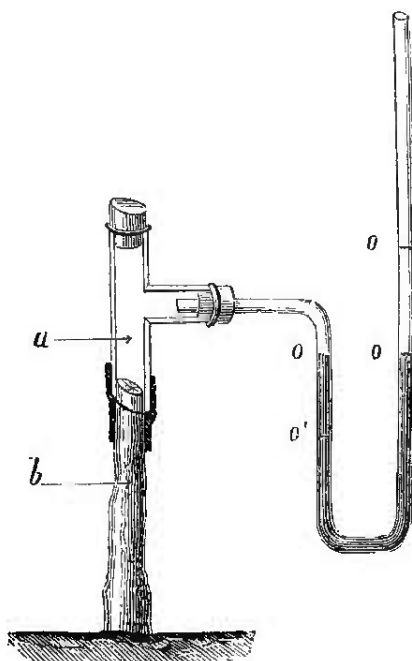


FIG. 25. — Poussée des racines: *a*, tube manométrique; *b*, souche décapitée; *o'o'*, niveau de mercure lorsque la pression se fait sentir; *o, o*, niveau initial du mercure.

On coupe une plante au ras du sol et on ajuste sur la section un tube communiquant avec un manomètre (*fig. 25*). Au bout de quelques minutes la sève brute qui sort de la section remplit le tube et presse sur le mercure qui monte dans la branche ouverte du manomètre.

Une section de 5 centimètres carrés chasse ainsi la sève avec une force capable de soutenir environ 5 kilogrammes.

La transpiration peut, du reste, s'exagérer considérablement. Il semble qu'elle soit limitée par l'arrivée parcimonieuse de l'eau. Les racines, en effet, ont une certaine surface d'absorption qui limite forcément la quantité d'eau qui peut entrer dans la plante en un temps donné. Pour le prouver, on peut réaliser une expérience différente de celle de Hales (*fig. 26*).

On opère sur un pied d'*Helianthus tuberosus* (topi-

nambour). Au lieu de le sectionner auprès du sol en A, on coupe la tige à une hauteur de 30 centimètres au dessus, en B, de façon à laisser quelques branches garnies de feuilles au-dessous de la section.

On ajuste en B un tube de verre de 6 millimètres de diamètre, et on le remplit d'eau jusqu'en *m*; au bout de quelques minutes le niveau baisse avec une certaine vitesse qu'on mesure par une lecture sur une échelle graduée.

Une plante qui a poussé sur un sol très sec absorbe ainsi une grande quantité d'eau, qui est, d'une part, destinée à augmenter la turgescence des tissus et qui, d'autre part, sert à exagérer la transpiration.

Si l'on opère sur une plante qui repose sur un sol très humide, le niveau baisse également dans le tube T, mais moins vite. On doit admettre, dans ce dernier cas, que les racines introduisent le maximum d'eau qu'elles peuvent absorber par leur surface en contact avec un sol saturé. D'un autre côté, la turgescence de la plante est aussi satisfaite. L'eau absorbée en B est donc un complément d'eau qui exagère la transpiration.

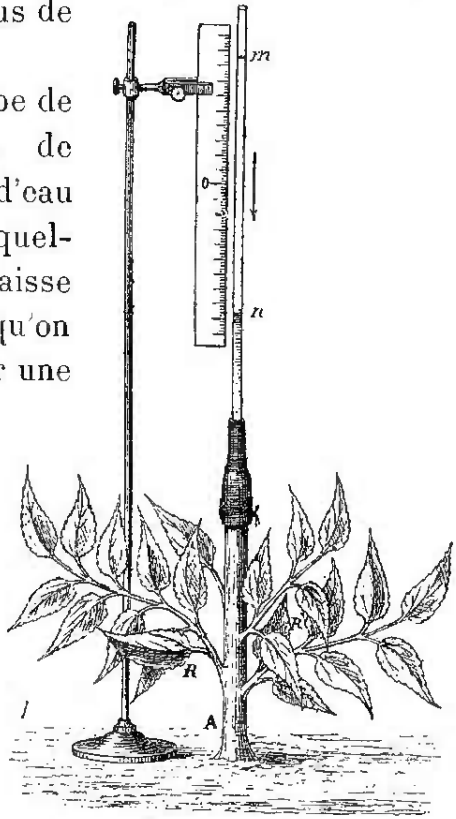


FIG. 26. — Expérience sur le rôle d'aspiration de l'eau par les feuilles : *m*, niveau initial; *mn*, eau absorbée par la plante, pendant le temps (*t*). Expérience sur la transpiration (E. GAÏN).

Ce rôle d'attraction de l'eau par les feuilles est, du reste, proportionnel sensiblement à leur surface. En effet, si l'on supprime successivement le quart, le tiers, la moitié environ des feuilles des rameaux R, R'... en lutant à la cire molle les cicatrices, on voit diminuer à peu près dans les mêmes proportions la vitesse de descente de la colonne d'eau.

Quand toutes les feuilles sont supprimées, le niveau reste constant pendant cinq minutes et, immédiatement après, la colonne remonte lentement de  $n$  en  $m$ . C'est qu'en effet, cette fois, l'expérience de Hales est réalisée, puisqu'on a une tige sans feuilles ni rameaux.

De cette expérience on peut conclure que la transpiration est une force d'attraction considérable qui attire l'eau dans la plante, force qui n'est pas équilibrée dans le cas ordinaire d'un sol même saturé d'eau.

---

## CHAPITRE VI

### PHYSIOLOGIE EXPÉRIMENTALE

La doctrine de Liebig relative à la nutrition minérale des végétaux ne tarda pas à provoquer des recherches expérimentales qui fixèrent définitivement la théorie générale de l'alimentation des plantes.

Nous examinerons successivement :

- 1° Les cultures dans les sols artificiels ;
- 2° Les cultures dans les solutions aqueuses.

#### § 1. -- CULTURES DANS DES SOLS ARTIFICIELS

Peu de temps après l'apparition de la *Chimie* de Liebig, l'Académie de Göttingue mit au concours la

question de l'utilité des éléments inorganiques pour le développement des plantes. Wiegmann et Polstorff donnèrent sur ce sujet un Mémoire resté classique <sup>1</sup>

Les essais de culture furent entrepris sur deux sols différents.

1° L'un était du *sable quartzeux* calciné et débarrassé par des procédés chimiques (eau régale et lavages) de toute matière organique et de substance soluble dans l'eau <sup>2</sup>;

2° L'autre était composé du même sable, mais additionné de matières fertilisantes ainsi qu'il suit :

	Pour 1,000 parties de sol artificiel
Sable quartzeux . . . . .	861,25
Aluminae hydratée . . . . .	15 »
Phosphate de chaux . . . . .	15,60
Oxyde de fer . . . . .	10 »
Carbonate de magnésie . . . . .	5 »
Sulfate de potasse . . . . .	0,34
Sel marin . . . . .	13 »
Sulfate de chaux anhydre . . . . .	1,25
Craie lavée . . . . .	10 »
Oxyde de magnésie . . . . .	2,50
Humate de potasse . . . . .	3,41
— de soude . . . . .	2,22
— d'ammoniaque . . . . .	10,29
— de magnésie . . . . .	1,97
— de chaux . . . . .	3,07
— d'alumine . . . . .	4,64
— d'oxyde de fer . . . . .	3,32
Humine insoluble dans l'eau . . . . .	50 »
	<hr style="border-top: 1px solid black;"/>
	1,000
	<hr style="border-top: 3px double black;"/>

<sup>1</sup> WIEGMANN et POLSTORFF, *Ueber die anorganischen Bestandtheile der Pflanzen*, 1842.

<sup>2</sup> En réalité, ce sable quartzeux préparé n'était pas de la silice pure, il renfermait 2 pour 100 de bases minérales.

Les expériences portèrent sur les plantes de grande culture suivantes :

L'orge, l'avoine, la vesce, le sarrasin, le tabac, le trèfle.

On suivit avec détail la végétation dont on nota tous les stades et, à la récolte, les produits furent soumis à l'analyse.

Les quelques résultats suivants donneront une idée des différences observées.

CENDRES CONTENUES DANS 100 GRAMMES DE PLANTES SÈCHES

Végétaux des expériences	Végétaux qui ont poussé dans le sable pur	Végétaux qui ont poussé dans le sol artificiel
	gr.	gr.
Vesce .....	6,840	12,126
Orge .....	5,383	7,040
Avoine .....	4,569	5,738
Sarrasin.....	1,875	3,992
Trèfle .....	6,641	11,614
Tabac .....	12,650	18,249

Si l'on examine les quantités absolues de cendres que le sol a cédées aux plantes dans les deux cas, on trouve des différences beaucoup plus importantes encore.

Ainsi par exemple :

Sur sable pur, cinq pieds de tabac donnent 0 gr. 506 de cendres ;

Sur sol artificiel, cinq pieds de tabac donnent 6 gr. 525 de cendres.

Ces deux chiffres sont entre eux comme *un est à treize*, de sorte que le développement du tabac a été en raison directe de la provision d'aliments offerts par les deux sols.



Ainsi comme conclusion générale :

Les plantes élevées dans le sable pur contiennent deux fois plus de matière minérale que les semences dont elles proviennent <sup>1</sup>.

Les plantes élevées dans le sol artificiel renferment quatre, cinq et même treize fois plus de cendres que les semences.

De ces recherches et de celles qui suivirent, Wiegmann et Polstorff concluèrent, comme B. Palissy l'avait énoncé, que la matière minérale est indispensable à l'organisation des végétaux et à leur développement.

Salm-Horstmar, appliquant aussi la méthode expérimentale chercha à déterminer le rôle spécial des différents éléments minéraux des plantes. Cette question laisse encore actuellement des problèmes à résoudre. (Voir plus loin : *Nutrition minérale*, page 235.)

Zöller et Nægeli, Hellriegel, Boussingault continuèrent dans cette voie pour résoudre différents problèmes relatifs à l'absorption de l'azote ou des aliments insolubles du sol.

La méthode expérimentale est maintenant couramment employée dans toutes les stations de chimie agricole où l'on cherche de plus en plus à serrer de près le problème de la nutrition végétale jusque dans ses détails. (Voyez plus loin : *Champs d'expériences*, page 350.)

La méthode de recherches la plus employée est la suivante :

<sup>1</sup> Analyse des semences, pour 100 grammes :

Vesce .....	2,576
Orge .....	2,432
Avoine. ....	2,864
Sarrazin....	1,322
Trèfle .....	4,687

On prend deux parcelles égales du même sol naturel. A l'une on ajoute un poids connu du composé défini dont on veut étudier l'influence; l'autre est laissée à elle-même et doit servir de terme de comparaison.

On les ensemeince, ou on les plante de la même manière. On pèse les deux récoltes à l'état sec. On a, bien entendu, déterminé à l'avance la limite supérieure  $P$  et la limite inférieure  $p$  du poids sec de la récolte dans diverses parcelles du même sol laissées à elles-mêmes. Soit  $P'$  le poids de la récolte sous l'influence de la substance essayée. Si  $P' > P$ , l'influence est favorable et  $\frac{P'}{P}$  en donne le degré. Si  $P' < p$ , l'influence est nuisible et  $\frac{P'}{p}$  en donne la mesure. Enfin, si  $P > P' > p$ , l'influence est nulle.

C'est la méthode la plus pratique pour l'essai des engrais.

## § 2. — CULTURES DANS LES SOLUTIONS AQUEUSES

L'impossibilité d'obtenir des sols artificiels exempts de produits étrangers a suggéré aux physiologistes l'idée d'employer des dissolutions salines très étendues. Cette méthode a, du reste, donné des résultats nombreux et intéressants.

C'est Duhamel <sup>1</sup> qui eut le premier l'idée des cultures dans l'eau. Th. de Saussure <sup>2</sup> employa aussi cette méthode pour arriver aux résultats que nous avons cités plus haut (p. 8). Il aborda aussi le problème des pré-

<sup>1</sup> DUHAMEL, *Physique des arbres*.

<sup>2</sup> TH. DE SAUSSURE, *Recherches chimiques sur la végétation*. Paris, 1804.

férences pour certains sols qu'on remarque chez les plantes.

Quand on connut, après Liebig, l'importance de l'alimentation minérale les travaux devinrent plus nombreux et plus précis.

Sacgs proposa l'emploi des solutions fractionnées, c'est-à-dire l'introduction successive dans les liqueurs d'élevage, des différents sels destinés à la nutrition des plantes.

Knop se prononça pour l'emploi des mélanges complets dès le début de l'expérience. Cette dernière méthode, qui a prévalu, est encore d'usage courant.

1. **Méthode de Knop** <sup>1</sup> — On fait germer les graines sans le contact de la terre en employant un germoir, pot aplati en terre argileuse poreuse non vernissée. Dans les angles quatre godets reçoivent de la potasse caustique destinée à absorber l'acide carbonique qui se dégage pendant la germination.

Le couvercle laisse passer un thermomètre et repose seulement par quatre tasseaux en terre, afin de laisser l'air circuler.

Lorsque le grain a germé, on place la plantule au milieu d'un bouchon. L'entonnoir permet de renouveler le liquide et un manchon en métal protège le liquide nutritif contre l'action de la lumière (*fig.* 27).

Knop a adopté dans ses recherches une liqueur type composée ainsi :

1,000 grammes d'eau additionnée de :	{	1 gramme de nitrate de chaux :
		0,250 de phosphate de potasse ;
		0,250 de nitrate de potasse ;
		0,250 de sulfate de magnésie ;
	{	traces de phosphate de peroxyde de fer.

<sup>1</sup> KNOP, *Agricultur. Chemie.*

On peut ajouter 0 gr. 250 de chlorure de potassium si l'on désire faire des essais avec une solution chlorée. Il est, en outre, nécessaire d'aérer la liqueur en y insufflant de l'air tous les quatre ou cinq jours.

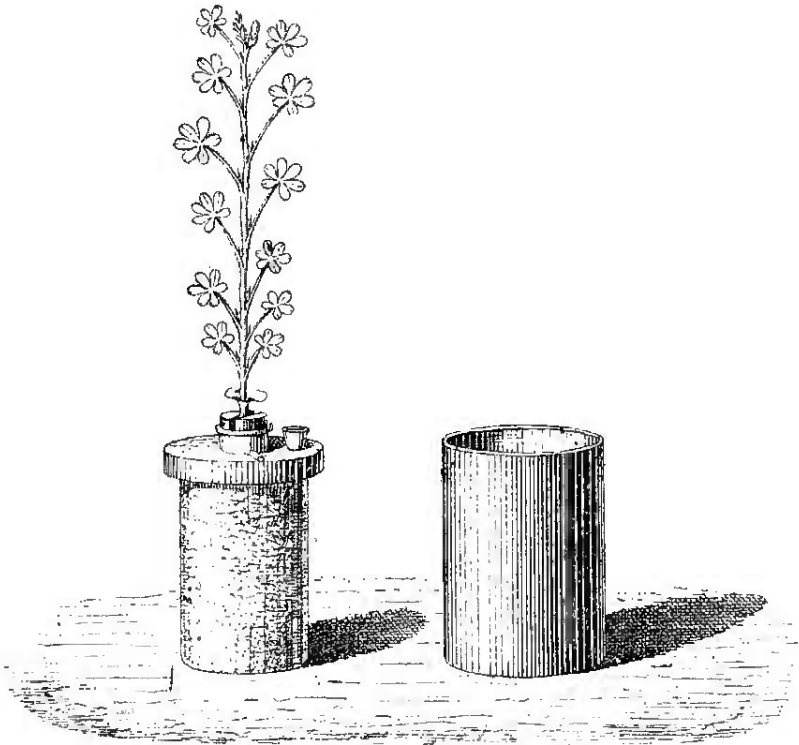


FIG. 27. — Méthode de Knop, culture en solution nutritive.

On prépare trois solutions de concentration différente, contenant 0 gr. 500, 1 gramme, 2 grammes de la liqueur type et l'on commence les essais avec la plus aqueuse.

Les essais de Knop ont été poursuivis de 1858 à 1865, et de ses premières recherches il a pu tirer les conclusions suivantes :

1° Le phosphate acide de potasse est le seul qui se prête le mieux à l'alimentation phosphorique de la plante ;

2° Les nitrates de potasse et de chaux conviennent parfaitement comme sources d'azote, de potasse et de chaux dans les essais de culture dans l'eau;

3° Le sulfate de magnésie est une source convenable de magnésie et d'acide sulfurique;

4° Le fer est utilisé par les plantes sous la forme de phosphate de peroxyde;

5° Les carbonates alcalins et les acides libres sont nuisibles;

6° Les acides énergiques combinés aux bases fortes sont supportés en quantité considérable par les plantes;

7° Tous les corps réducteurs sont des poisons, s'ils ne sont pas rapidement transformés par l'oxydation en sels inoffensifs.

MM. Nobbe et Siegert, continuant les essais de Knop, sont arrivés dans leurs recherches sur le sarrasin à des résultats aussi précis:

1° Le sarrasin accomplit toute sa végétation dans des solutions riches en chlorure. Il a donné ainsi en graines fertiles deux cents fois le poids de la substance sèche primitive;

2° L'absorption de silice, d'acide carbonique, de soude ou d'ammoniaque par les racines de la plante n'est pas nécessaire au développement du sarrasin;

3° Le chlore semble essentiel à la formation des graines;

4° La nature du chlorure ne paraît pas indifférente;

5° L'acide sulfurique semble nécessaire au développement complet.

La méthode de Knop se prêtait également aux essais de substitution des différentes substances isomorphes. Les expériences ont démontré que la potasse ne peut

pas être remplacée ni par la soude ni par l'ammoniaque, la baryte ne remplace pas la chaux, l'oxyde de zinc ne peut se substituer à la magnésic, l'alumine et le manganèse au fer (Knop); de même, le rubidium, le césium, le lithium, ne peuvent suppléer le potassium (Birker et Lucanus).

MM. Nobbe, Schrœder et Erdmann, à la suite de travaux importants, sont arrivés relativement à la potasse à des résultats qui méritent d'être retenus: Dans les dissolutions exemptes de potasse, et renfermant tous les autres principes nutritifs, la plante végète comme dans l'eau pure; elle est impuissante à assimiler et n'augmente pas de poids, parce que sans l'intervention de la potasse il ne saurait se produire d'amidon dans les grains de chlorophylle. Le chlorure de potassium est la combinaison la plus favorable au développement de certaines plantes (sarrasin, orge). La soude et la lithine ne peuvent pas se substituer à la potasse; la soude est simplement inutile, mais la lithine est vénéneuse.

Les expériences qui ont été faites avec des solutions renfermant des matières azotées organiques ont permis d'établir que les substances azotées autres que les sels ammoniacaux et les nitrates ne permettent pas d'amener une plante à fructification.

C'est aussi par les cultures en solution nutritive que M. Henri Jumelle<sup>1</sup> a pu étudier le développement général des plantes annuelles et les phénomènes de migration des réserves. (Voyez plus loin page 245.)

*Expériences sur les végétaux inférieurs.* — M. Pasteur a démontré que les organismes inférieurs se nour-

<sup>1</sup> HENRI JUMELLE, *Recherches sur le développement des plantes annuelles*. Thèse de doctorat es-sciences, 1889.

issent, comme les végétaux supérieurs, à l'aide d'éléments minéraux, à la condition qu'on leur fournisse un élément carboné.

Le mélange nutritif qu'il établit pour la levure de bière était :

Eau pure .....	100 gr.
Sucre candi .....	10
Tartrate d'ammoniaque.....	0,1
Cendres de 1 gramme de levure de bière.	

Par élimination successive il put se rendre compte que tous ces principes sont également essentiels à la nutrition de ces microorganismes.

2. **Expériences de M. Raulin.** — M. Raulin, un des élèves de notre grand savant, dans son célèbre travail sur l'*Aspergillus*, put chercher et établir que le maximum des récoltes d'*Aspergillus* ou *Sterigmatocystis* correspond à des exigences spéciales en aliments minéraux, comme chez les Phanérogames qu'ont étudiées Knop, Nobbe et Erdmann.

Ce mémoire de Raulin est très remarquable; aussi allons-nous en exposer un court résumé que nous empruntons à M. le professeur Van Tieghem :

« Il a opéré sur une spore d'une moisissure commune, le *Sterigmatocystis nigra* ou *Aspergillus niger* (fig. 28, 29 et 30).

« Suffisante pour supporter l'ensemble de caractères et de propriétés qui constituent la nature propre de la plante et pour en assurer le maintien indéfini, cette très petite cellule, qui pèse à peine quelques millièmes de milligramme, est incapable d'apporter des matériaux connus en proportion telle qu'ils altèrent la rigueur de la méthode. Cherchons à donner à cette spore tout l'ali-

ment qu'elle exige pour se développer en une plante

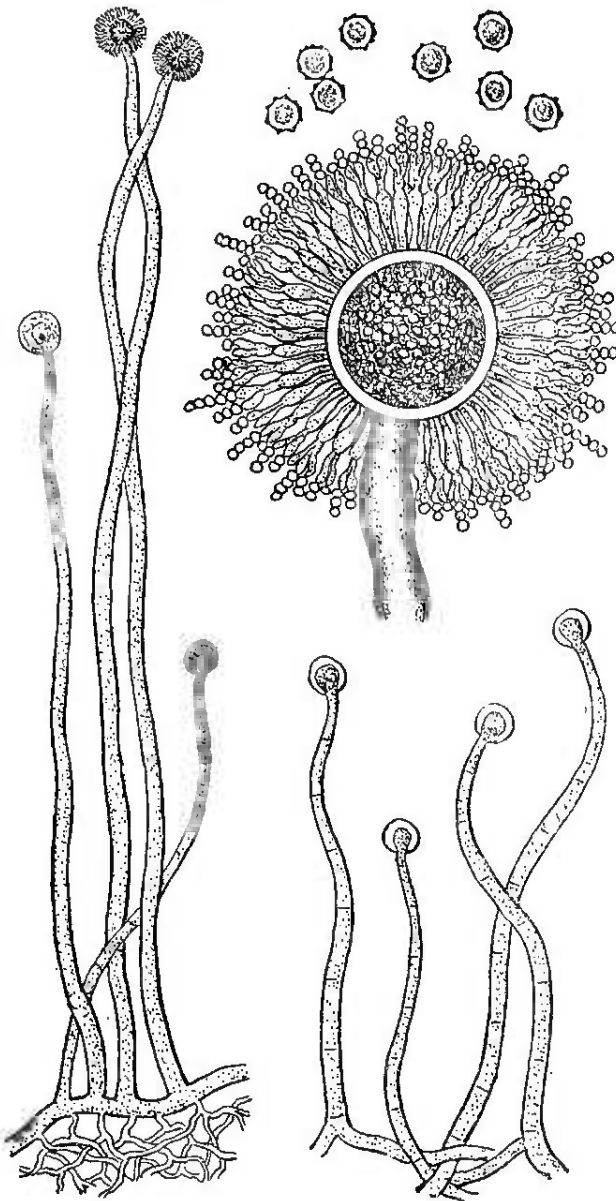


FIG. 28, 29, et 30. — *Aspergillus niger*.

complète et vigoureuse, en la supposant maintenue à l'optimum de température, qui est pour elle de 35 degrés.



« Tout d'abord, on constate la nécessité de l'oxygène de l'air, qui est consommé par la plante au cours de son développement. L'azote de l'air n'est pas absorbé et est sans effet. Le contact de l'air étant assuré, il suffit de dissoudre dans l'eau distillée un certain nombre de principes chimiquement purs et de semer la spore dans ce liquide <sup>1</sup>. La constitution première d'un pareil liquide se fait par tâtonnements, et l'on juge que le résultat est atteint quand on a obtenu dans le temps le plus court le plus grand développement en poids de la plante. On supprime ensuite un à un tous les éléments, en pesant chaque fois la récolte. Tous les corps qui peuvent être supprimés sans faire baisser le poids de la récolte sont inutiles et doivent être rejetés; tous les autres sont nécessaires et doivent être conservés. On obtient ainsi, en définitive, le milieu nécessaire et suffisant pour amener la plante à son complet développement.

« Pour le *Sterigmatocystis nigra* le milieu nutritif possède la composition suivante :

Eau .....	1,500 »
Sucre candi.....	70 »
Acide tartrique .....	4 »
Nitrate d'ammoniaque .....	4 »
Phosphate d'ammoniaque .....	0,60
Carbonate de potasse .....	0,60
Carbonate de magnésie .....	0,40
Sulfate d'ammoniaque .....	0,25
Sulfate de fer .....	0,07
Sulfate de zinc .....	0,07
Silicate de potasse .....	0,07
Carbonate de manganèse .....	0,07

<sup>1</sup> RAULIN, *Études chimiques sur la végétation. Ann. sc. nat.*, 5<sup>e</sup> série, tome II, 1870.

Nous renvoyons au mémoire original pour le détail des expériences et les nombreux chiffres qui les accompagnent.

L'acide tartrique n'est pas mis ici à titre d'aliment, mais seulement pour donner au milieu nutritif une certaine acidité favorable à la plante et qui empêche le développement des bactéries ou autres organismes étrangers.

Cette composition peut s'écrire aussi :

Oxygène de l'air	
Eau.....	1,500 »
Sucre.....	70 »
Acide tartrique.....	10 »
Ammoniaque.....	2 »
Acide phosphorique.....	0,40
Acide sulfurique.....	0,25
Acide silicique.....	0,03
Potasse.....	0,40
Magnésie.....	0,20
Oxyde de fer.....	0,03
Oxyde de zinc.....	0,04
Oxyde de manganèse.....	0,03

« Dans ce milieu, qu'on peut appeler la culture type, le poids de plante sèche obtenu en six jours avec 80 grammes d'aliment dissous a été de 25 grammes. C'est le poids maximum, il se maintient aussi très constant; le rapport du poids le plus grand  $P$  de la récolte au poids le plus petit  $p$  est très voisin de l'unité et donne l'erreur relative du procédé. Ce rapport est constant à  $1/20$  près de sa valeur. Toutes choses égales d'ailleurs, le poids de la récolte est aussi beaucoup plus grand que dans les conditions naturelles où l'on rencontre habituellement la plante; il lui est au moins quatre fois supérieur.

« C'est à cette culture type que l'on compare désormais toutes les autres. Tirons-en d'abord tout l'enseignement

qu'elle renferme. Les éléments constitutifs de l'aliment complet qui y est donné à la spore ensemencée sont : à l'état libre, l'oxygène ; et à l'état combiné : le carbone, l'hydrogène, l'azote, le phosphore, le soufre, le silicium, le potassium, le fer, le zinc et le manganèse. En tout douze éléments. Cette liste établit la nécessité du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, de l'azote, du phosphore du potassium, du soufre et du magnésium ; elle démontre la nécessité du fer, du zinc, du silicium et, avec moins de certitude, du manganèse. Elle confirme que le sodium n'est pas nécessaire, ce que nous avons déjà conclu des analyses les plus récentes et les plus perfectionnées, et que le lithium est inutile.

« Ceci posé, pour vérifier la nécessité de chacun de ces douze éléments et la part qui lui revient dans la constitution de l'ensemble, on dispose parallèlement à une culture type une autre culture qui n'en diffère que par l'absence d'un seul élément, celui dont on se propose l'étudier l'influence. On pèse séparément, à l'état sec, les deux récoltes obtenues en même temps ; le rapport numérique des poids des deux récoltes mesure l'influence de l'élément dont il s'agit. En faisant varier ainsi, un à un, tous les éléments du milieu, dans autant d'expériences comparatives, on embrasse jusque dans ses moindres détails le phénomène de la végétation de la plante, et chaque fois le rapport du poids de la récolte au poids type mesure l'action propre de l'élément. »

« Voici dans l'exemple que nous avons choisi les valeurs de ces rapports pour la suppression de chacun des composés définis :

Suppression de l'oxygène libre .....	Très grand.
— de l'eau .....	∞
— du sucre.....	65
— de l'acide tartrique .....	∞
— de l'ammoniaque .....	153
— de l'acide phosphorique ....	182
— de la magnésie .....	91
— de la potasse .....	25
— de l'acide sulfurique .....	24
— de l'oxyde de zinc .....	10
— de l'oxyde de fer .....	3
— de l'oxyde de manganèse ....	2
— de l'acide silicique .....	1,4

« Cette méthode permet en même temps de déterminer, pour chacun des divers éléments, le poids qui contribue à former le poids total de la récolte. On voit de suite que les divers éléments se comportent à cet égard très différemment. Pour les uns, le poids du composé disparu est beaucoup supérieur au poids de la récolte : une portion est détruite sans entrer dans la plante ou en sort quand elle y est entrée. Pour les autres, le poids de l'élément absorbé n'est qu'une fraction très minime du poids de la récolte<sup>1</sup>

« Voici, comme renseignement, les valeurs du rapport de chaque élément du milieu type au poids de moisissure qu'il a contribué à former :

Rapport relatif à l'oxygène .....	2
— à l'eau.....	42
— au sucre .....	3
— à l'acide tartrique .....	1/14
— à l'azote .....	1/17
— au potassium.....	1/64
— au phosphore .....	1/157
— au magnésium .....	1/200
— au soufre .....	1/346
— au silicium.....	1/320
— au fer .....	1/857
— au zinc.....	1,952

<sup>1</sup> *Mémoire sur la fermentation alcoolique.*

On est ainsi amené à trouver les éléments essentiels de la végétation.

A l'heure actuelle, c'est grâce aux recherches expérimentales, analogues à celles que nous venons de citer, que la nutrition des végétaux est connue dans ses grandes lignes.

---

## CHAPITRE VII

### CHIMISME DYNAMIQUE INTERNE DE LA PLANTE

Les phénomènes chimiques internes qu'on trouve chez les plantes peuvent se diviser en deux grands groupes.

1° Les *synthèses organiques* ou métamorphoses progressives qui comprennent la formation des principes immédiats en partant des éléments simples dont la plante dispose ;

2° Les *métamorphoses régressives*, ou digestions des réserves qui transforment les principes immédiats en substances assimilables destinées à l'entretien de l'individu.

Ce sont ces deux sortes de phénomènes qui produisent le *développement général* de la plante.

#### § 1. — SYNTHÈSES ORGANIQUES

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

<sup>1</sup> Voyez E. GAIN et P. JACCARD, *Synthèses organiques*. Bull. des sc. nat., 1892.

Les principaux matériaux, dont elle peut disposer comme point de départ, sont, nous l'avons dit déjà :

L'oxygène, l'azote, l'acide carbonique, l'eau, l'ammoniaque et l'acide nitrique.

L'oxygène et l'azote, elle les trouve à l'état de mélange dans l'atmosphère et en même temps dans le sol, les racines absorbant de l'eau aérée qui est aussi plus ou moins riche en oxygène dissous.

L'acide carbonique se trouve naturellement à l'état de liberté dans l'air, mais aussi dans le sol sous différents états (bicarbonate... etc.). Peut-être même, ainsi que l'on peut présumer des expériences assez récentes, que l'acide carbonique du sol est un facteur important dans l'alimentation carbonée de la plante. L'eau existe aussi dans les deux milieux où la plante puise son alimentation; enfin l'ammoniaque et l'acide azotique existent surtout comme aliments dans le sol.

De quelle nature sont les phénomènes de synthèse de produits naturels des végétaux? Ce sont absolument ceux qui sont utilisés dans nos laboratoires pour les synthèses artificielles.

La plante ne semble pas disposer d'autres moyens de construire que ceux dont nous disposons nous-mêmes. Oxydations, réductions, hydratations, déshydratations, condensations, tels sont les procédés qui suffisent pour élaborer tous les produits végétaux. En groupant ces différents modes d'action en séries, dans des ordres différents d'arrangement, en combinant deux à deux, trois à trois, quatre à quatre et cinq à cinq chacun d'eux, on se rend facilement compte du nombre infini de produits qui pourront dériver de toutes ces transformations, et

de la variété de constitution qui caractérisera tous les corps élaborés dans la plante.

**1. Synthèse des composés de la série grasse. Aldéhyde méthylique.** — Priestley (1771) est le premier qui essaya d'étudier le mystère de l'alimentation de la plante : son expérience des Menthes vivant dans un air confiné est restée classique. Le changement chimique de l'atmosphère des cloches ne lui échappa pas, mais il fut impuissant à en démêler les causes.

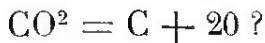
Jugenhouz remarqua la nécessité de la lumière solaire pour l'accomplissement de la vie de la plante. C'est seulement Sénebier qui établit la nécessité de l'acide carbonique de l'air pour la nutrition.

Th. de Saussure et ensuite Boussingault constatèrent que le volume d'oxygène rejeté par la plante est égal au volume d'acide carbonique absorbé.

Dès lors, on pouvait entrevoir un lien entre ces phénomènes : la plante absorbait de l'acide carbonique et rejetait l'oxygène contenu dans ce gaz ; le carbone restait fixé dans la plante.

Comment la décomposition s'opérait-elle ?

Pouvait-on admettre la réaction simple :



Une raison chimique s'y opposait. Le carbone à froid a des affinités très faibles, et l'oxyde de carbone n'est même pas décomposé par les cellules, l'expérience le prouve. La séparation des deux volumes d'oxygène du volume du carbone ne pouvait donc se faire de cette façon.

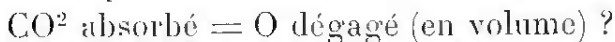
Boussingault a admis la réaction suivante :



L'acide carbonique, d'après lui, se dissocie en oxyde

de carbone (1/2 volume) et oxygène (autre moitié de so volume).

Mais alors comment concilier l'égalité constatée expérimentalement plus haut :



Boussingault fait intervenir la dissociation d'un volum d'eau. D'après lui,



L'oxygène mis ainsi en liberté fournit le 1/2 volum qui manque pour concilier la théorie et l'expérience.

Le résidu de ces deux réactions se compose alors de deux termes, CO et 2H, qui réunis donnent :



Une démonstration théorique, pour avoir quelque créance, doit être conciliable avec les faits.

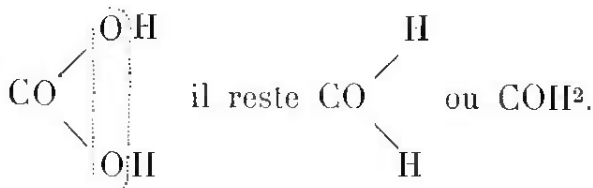
Or, la réaction (1) peut être produite à froid dans les laboratoires. M. Berthelot, en effet, en soumettant  $\text{CO}^2$  à l'effluve électrique, obtient la dissociation en CO et O.

La réaction (2) s'obtient également à froid par l'électricité. Thénard, de son côté, a obtenu un corps ( $\text{C}^4\text{H}^6\text{O}^3$ ) solide par synthèse directe de CO + H. Rien ne s'opposait donc à admettre la synthèse théorique  $\text{COH}^2$ . Or depuis Thénard, on a découvert que CO + H en présence de la mousse de palladium donne une substance soluble aldéhydique de la forme  $\text{COH}^2$ . Les réactions de Boussingault sont donc possibles.

Si l'on conçoit l'hydrate carbonique  $\text{CO}^2, \text{H}^2\text{O}$  ou  $\text{CH}^2\text{O}^3$ , on voit qu'il peut s'écrire:  $\text{CH}^2\text{O}^3 = 2\text{O} + \text{COH}^2$ .

Notre corps  $\text{COH}^2$  de la troisième réaction peut donc être considéré comme résultant d'une réduction directe de l'hydrate carbonique :





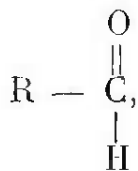
A la pression ordinaire, l'hydrate carbonique est un corps hypothétique; il n'en est plus de même à une haute pression. M. Cailletet a montré que CO<sup>2</sup> saturé de vapeur d'eau pouvait donner, par le procédé de la détente, un corps peu stable, CO<sup>3</sup>H<sup>2</sup> qui ne tarde pas à se dissocier lui-même en ses éléments CO<sup>2</sup> + H<sup>2</sup>O.

Or, en le renfermant dans des flacons maintenus à la pression où il est formé, CO<sup>3</sup>H<sup>2</sup> peut être conservé.

N'oublions pas que les cellules végétales peuvent nous donner des exemples de haute pression allant jusqu'à 10 atmosphères. Dans de telles conditions, CO<sup>3</sup>H<sup>2</sup> y peut donc être stable.

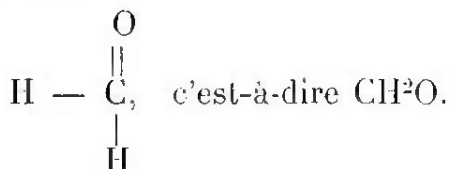
Étudions maintenant notre hydrate carbonique CO<sup>3</sup>H<sup>2</sup> réduit. C'est l'aldéhyde méthylique.

En effet, les aldéhydes peuvent être représentées par la formule théorique de constitution :

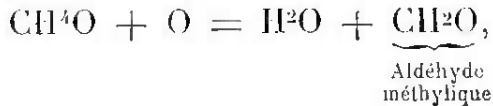


où la bivalence de l'oxygène et la tétravalence du carbone sont satisfaites, (R) étant un radical variable.

L'aldéhyde la plus simple qu'on pourra obtenir sera, en faisant R = H :

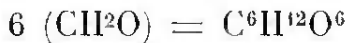


Les aldéhydes provenant de l'oxydation des alcools, nous prenons comme alcool  $\text{CH}^4\text{O}$  (esprit-de-bois, alcool méthylique), nous obtenons :



Notre aldéhyde méthylique, à l'analyse, donne les mêmes résultats que  $\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^6$  (glucose).

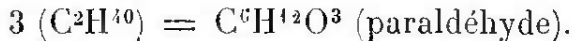
Nous pouvons écrire :



Cette égalité est, en effet, démontrée, ainsi que nous allons l'expliquer.

C'est un fait bien connu que les aldéhydes se prêtent facilement à la polymérisation, c'est-à-dire à la suture de plusieurs molécules semblables pour donner un corps nouveau.

C'est ainsi que l'aldéhyde ordinaire  $\text{C}^2\text{H}^4\text{O}$  peut, par exemple, donner par l'action d'un acide :



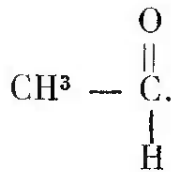
L'aldéhyde benzoïque  $\text{C}^7\text{H}^6\text{O}$  peut doubler sa molécule par l'action du cyanure de potassium et donner  $2(\text{C}^7\text{H}^6\text{C})$  (benzoïle).

L'aldéhyde  $\text{CH}^2\text{O}$  elle-même :  $3(\text{CH}^2\text{O})$  (trioxyméthylène).

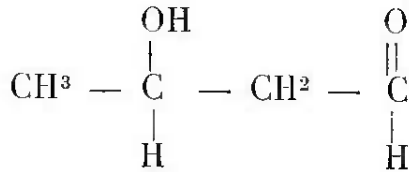
Reste à voir si ces divers corps, paraldéhyde, benzoïle, trioxyméthylène, sont susceptibles d'être comparés à un sucre. Si l'analogie existe, il sera très naturel d'admettre la polymérisation de l'aldéhyde méthylique en glucose.

L'analogie n'existe nullement; mais, heureusement pour la théorie, Wurtz, en traitant l'aldéhyde ordinaire par  $\text{HCl}$ , a obtenu l'*aldol*, qui peut être comparé aux glucoses.

Dans l'aldéhyde ordinaire, le radical R n'est autre chose que le méthyle CH<sup>3</sup> :



L'aldol a pour formule :



C'est une aldéhyde, puisqu'il possède le groupement  $\left\{ \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ | \\ \text{H} \end{array} \right.$

C'est un alcool secondaire, puisqu'il possède aussi le

groupement  $\left\{ \begin{array}{l} \text{OH} \\ | \\ \text{C} \\ | \\ \text{H} \end{array} \right.$

Or la glucose est aussi aldéhyde et alcool, et Wurtz admet que les glucoses dérivent de l'aldéhyde méthylique.

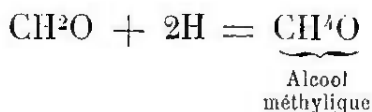
Une restriction cependant doit être faite : l'aldéhyde méthylique ne se polymérise pas par l'influence du HCl, mais par la présence des bases alcalines.

Ce qui précède est du ressort du chimiste. Voyons maintenant ce que le physiologiste peut y trouver d'incompatible avec la biologie végétale.

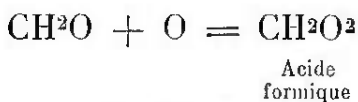
*Première objection.* — L'aldéhyde méthylique n'existe pas chez les plantes. — Ainsi présentée, cette objection est peut-être trop exclusive. Il est bien vrai que jusqu'ici

l'extraction de l'aldéhyde méthylique  $\text{COH}^2$  n'a pu être faite, mais nos procédés peuvent être trop imparfaits pour l'obtenir, sans que son existence puisse être absolument contestée.

Il y a, en effet, une raison assez sérieuse pour admettre l'existence de  $\text{COH}^2$  : c'est qu'on a pu extraire des plantes des produits très voisins tels que l'acide formique et l'alcool méthylique. Pour voir le lien et la parenté de ces deux corps avec notre aldéhyde, il suffit de se rappeler que  $\text{CH}^2\text{O}$  traité par l'amalgame de sodium donne :



et que l'oxydation simple d'un aldéhyde donne un acide correspondant :



Il y a longtemps que l'acide formique a été extrait des végétaux.

Pour ce qui est de l'alcool méthylique, on peut l'extraire des plantes vertes par distillation et rectification. On caractérise le corps obtenu par son point d'ébullition et par les éthers qu'on peut former avec lui.

Voici les proportions obtenues par M. Maquenne dans cinq analyses différentes :

Plantes fraîches	Kilogr.	Grammes	
Herbes de pelouses	34	ont donné 10	d'alcool méthylique.
Orties.....	30	—	10 —
Lierre.....	35	—	5 —
Fusain du Japon ...	15	—	2 —
Maïs.....	100	—	8 —

On peut donc conclure que l'alcool méthylique

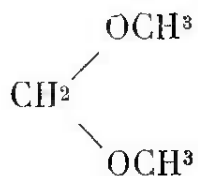
~~l'acide lactique~~ ~~existe normalement~~ ~~dans les plantes~~

Il est donc vraisemblable, malgré l'insuccès des chimistes, d'admettre que l'aldéhyde méthylique, produit intermédiaire, y existe également.

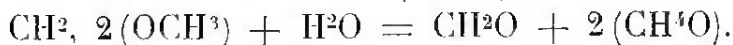
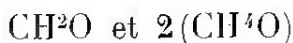
*Deuxième objection.* — Les plantes périssent dans les vapeurs d'aldéhyde méthylique. — Il est vrai que la végétation des plantes ne peut se faire dans ces vapeurs. L'aldéhyde à forte dose est donc un poison quand elle est abondante ; mais rien ne prouve qu'elle soit en proportion toxique dans la plante. Les poisons, quels qu'ils soient, ont un minimum de toxicité : il se peut fort bien que l'aldéhyde ne soit produit que passagèrement, et de polymérisation si rapide que la dose soit à un moment donné toujours trop faible pour être toxique.

Il y a un meilleur argument qui semble réfuter l'objection : c'est qu'il est possible de nourrir certaines espèces végétales par des combinaisons d'aldéhyde méthylique.

MM. Lœw et Bokorny ont obtenu ce résultat important que le méthylate

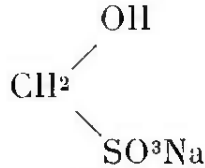


peut être *assimilé* par certaines algues et certains champignons, et sous l'action de l'eau se trouve dédoublé en :



L'assimilation du carbone, qui se produit dans ces plantes aux dépens de  $\text{CH}^2\text{O}$ , est surabondamment prouvée par l'apparition de l'amidon en grande quantité.

Lœw a réalisé un sel de l'aldéhyde méthylique en l'alliant au bisulfite de sodium :



Il tend à se dissocier facilement en ses deux éléments  $\text{CH}^2\text{O}$  et  $\text{SO}^3\text{NaH}$ .

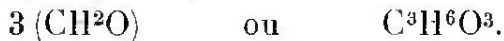
Si l'on fait une dissolution de ce sel à 1/2 gramme par litre, les algues s'en nourrissent bien.

Or l'amidon ne peut se former là qu'aux dépens de  $\text{CH}^2\text{O}$  et non aux dépens du bisulfite, qui est une substance minérale.

L'hypothèse de l'aldéhyde méthylique se polymérise aussitôt sa formation peut donc être admise dans l'état actuel de nos connaissances.

Avec l'aldéhyde méthylique on a pu reproduire plupart des hydrates de carbone de la forme générale  $\text{C}^n(\text{H}^2\text{O})^n$ . C'est à Löw et à Émile Fischer, de Wurtemberg, qu'on doit les principales études sur ce point. Kekulé a obtenu récemment l'aldéhyde méthylique chimiquement pur.

Il part du trioxyméthylène :



Chauffé à une température élevée, il y a dépolymérisation ou mieux dissociation du corps polymère, et l'on obtient trois équivalents  $\text{CH}^2\text{O}$ .

Au moyen d'un mélange de  $\text{CO}^2$  solide et d'éther liquéfié à (— 80 degrés).

Pur, ce corps bout à (— 20 degrés). On a pu constater qu'il possède une tendance extraordinaire à la polymérisation, et revient à l'air libre à l'état condensé trioxyméthylène ; ce qui ne fait qu'appuyer l'opinion sur sa polymérisation rapide dans l'organisme végétal.

2. **Composés sucrés.** — Après avoir établi par ce qui précède que l'*aldéhyde méthylique*  $\text{CH}^2\text{O}$  est le premier produit auquel donne naissance dans les plantes le phénomène de l'assimilation, nous avons à étudier maintenant la série des composés qui en dérivent, composés plus ou moins complexes auxquels on a donné le nom de *principes immédiats*.

Les premiers, c'est-à-dire les plus simples que nous rencontrons, sont des *matières ternaires*, et dans celles-ci des *matières ternaires non acides* que nous pouvons grouper de la façon suivante :

I. *Composés ternaires de la formule générale*  $\text{C}^n\text{H}^{n^2+2}\text{O}^n$ . — Ce sont des corps qui par leur caractère et leurs propriétés rentrent dans le groupe des alcools. Si dans la formule précédente nous remplaçons  $n$  par la suite des nombres naturels, nous aurons :

*Premier terme* :  $\text{CH}^4\text{O}$  alcool méthylique ( $s, \infty$ )<sup>1</sup> ;

*Deuxième terme* :  $\text{C}^2\text{H}^6\text{O}^2$  glycol inconnu dans les plantes ( $s$ ) ;

*Troisième terme* :  $\text{C}^3\text{H}^8\text{O}^3$  glycérine ( $s, \infty$ ) ;

*Quatrième terme* :  $\text{C}^4\text{H}^{10}\text{O}^4$  trois isomères, dont un connu : l'*érythrite*, que l'on rencontre dans certains Lichens marins, *Rocellaria*, etc. ;

*Cinquième terme* :  $\text{C}^5\text{H}^{12}\text{O}^5$  obtenu par synthèse en combinant l'hydrogène à l'arabinose et au xylose ; dans le premier cas on a l'*arabite*, dans le deuxième la *xylite* ;

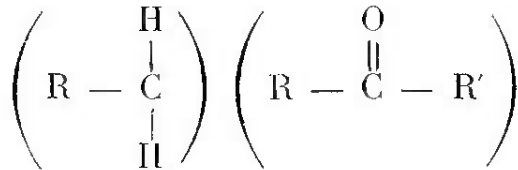
*Sixième terme* :  $\text{C}^6\text{H}^{14}\text{O}^6$ , ce sont les *mannites* ; on en connaît trois : la *mannite* ( $s, \infty$ ), la *sorbite* ( $s, \infty$ ) et la *dulcite* ( $x$ ) ;

<sup>1</sup>  $s$  signifie corps dont la synthèse a été opérée :  $x$  signifie corps existant chez les végétaux.

*Septième terme* :  $C^7H^{16}O^7$  la *perséite* trouvée par M. Mequenne dans le fruit de l'avocatier (*s, a*).

La série peut se continuer par synthèse, mais les termes suivants n'ont pas été jusqu'ici constatés chez les végétaux.

Si de chacun des termes de la série précédente on enlève deux molécules d'H, on obtient une nouvelle série de corps ayant pour *formule générale*  $C^nH^{2n}O^n$ , qui sont ( $n - 1$ ) fois alcool, et une fois aldéhydes ou acétones. On leur a donné le nom général de *sucres réducteurs* parce qu'ils ont les propriétés générales des aldéhydes et



des acétones (réduction du nitrate d'argent et de la liqueur de Fehling, etc.).

Les termes connus sont les suivants :

II. —  $CH^2O$  aldéhyde méthylique (*s*), pas encore rencontré à l'état libre chez les plantes ;

$C^2H^4O^2$  aldéhyde du glycol (*s*), pas encore rencontré à l'état libre chez les plantes ;

$C^3H^6O^3$  aldéhyde de la glycérine (*s*), pas encore rencontré à l'état libre chez les plantes ;

$C^4H^8O^4$  aldéhyde de l'érythrite (*s*), pas encore rencontré à l'état libre chez les plantes ;

$C^5H^{10}O^5$ , on en connaît trois : *arabinose* (*s, a*), *xylose* (*s, a*) et *ribose* (*s*) ;

$C^6H^{12}O^6$ , les glucoses, avec seize isomères dont dix connus. Sous le nom d'*aldoses* on groupe les cinq suivantes : *glucose* (*s, a*), *mannose* (*s, a*), *galactose* (*s, a*)

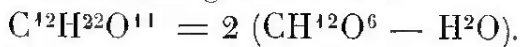


*gulose* et *talose* ; ces dernières sont seulement des produits de synthèse.

On a appelé *cétoses* (de cétone) les deux suivantes (*lévulose* et *sorbinose*), toutes deux *s* et *x*.

Les termes en C<sup>7</sup>, C<sup>8</sup>, C<sup>9</sup> sont connus par synthèse.

III. — Certains termes de la série précédente, en s'ajoutant deux à deux et en perdant une molécule d'eau, donnent naissance aux *saccharoses* appelées aussi *hexabioses*, dont la formule générale est



Les termes connus sont :

*Saccharoses* = (glucose + lévulose) ;

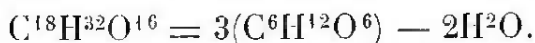
*Maltose* = (2 molécules de glucose) ;

*Tréhalose*, appelé aussi *mycose*, à cause de sa présence dans certains champignons, = (2 molécules de glucose), comme la maltose, mais diffère de celle-ci en ce qu'elle ne réduit pas la liqueur de Fehling réduite par la maltose ;

*Lactose* = (glucose + galactose).

Tous ces corps, qu'on désigne sous le nom générique de *sucres*, se rencontrent dans les végétaux. Ils ont tous la propriété de se séparer par ébullition avec un acide étendu en leurs deux molécules constituantes indiquées ci-dessus entre parenthèses.

IV — Un nouveau groupe de composés s'obtient par l'addition de 3 molécules de certains termes de la deuxième série avec retranchement de 2 molécules d'eau. Ce sont les *hexatrioses*



Les termes connus de cette série sont :

La *méléxitose* = (3 molécules de glucose) ; la *rafinose*, que l'on rencontre dans les betteraves et les mélasses,

dont elle gêne la cristallisation pour peu qu'elle soit en quantité importante; la raffinose par ébullition avec l'acide sulfurique étendu se dédouble en (glucose + lévulose + galactose).

V. — Enfin, les glucoses polymérisées un nombre  $n$  de fois encore inconnues avec retranchement de  $n$  ( $H^2O$ ) donnent la série des *amidons* de la formule générale ( $C^6H^{10}O^5$ ).

Ce sont : les *dextrines*, les *amidons*, les *celluloses*.

Tous ces corps, par ébullition avec  $H^2SO^4$  étendu, donnent des sucres.

Il nous reste à examiner maintenant les méthodes de synthèses employées pour obtenir les différents corps que nous venons d'énumérer.

On n'est pas arrivé du premier coup à réaliser cette condensation de molécules d'aldéhydes. Elle ne s'opère en tout cas qu'en présence de *bases*.

La première tentative consista à combiner à chaud l'aldéhyde à l'eau de chaux; on obtenait du formiate de calcium, plus un produit assez semblable aux sucres par certaines de ses propriétés, et auquel on donna le nom de *méthylénitane*.

Lœw eut l'idée de répéter cette expérience, mais en faisant agir à froid et lentement : il obtint alors un produit semblable aux glucoses, mais ne réduisant pas la liqueur de Fehling, ne fermentant pas et ne cristallisant pas.

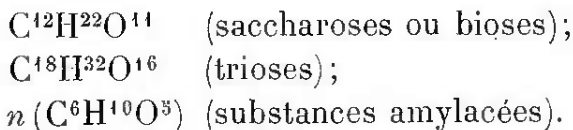
Ce n'est que lorsqu'on combina l'aldéhyde à la magnésie en présence de grenaille de plomb, dont le rôle ici reste encore obscur, que l'on obtint un sucre réducteur : la *méthose* ou *formose*, qui n'est pas capable de fermentation alcoolique, reste inactive à la lumière polarisée,

mais réduit la liqueur de Fehling et présente les propriétés générales des sucres.

Lœw n'avait pu obtenir la *formose* pure; c'est Émile Fischer, de Wurtzbourg, qui a complété l'étude de ce produit si important pour la conception d'une théorie générale des substances sucrées.

Ce savant est, en effet, arrivé à réaliser la synthèse d'un grand nombre de sucres qui existent dans l'organisme végétal; ses travaux laissent même supposer que les phénomènes très simples d'oxydations, de réductions, de fixation d'eau, employés par lui, peuvent avoir leurs analogues dans les synthèses naturelles.

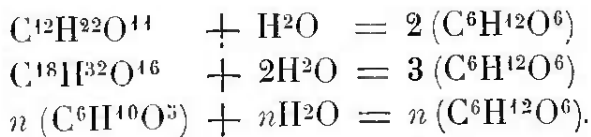
**3. Origine des polyglucoses.** — On peut ranger les diverses substances de ce groupe sous trois types exprimés par les formules suivantes :



Ces corps peuvent être considérés comme formés par l'union des glucoses ou homologues et de leurs alcools avec élimination d'eau.

Les bioses résultent de l'union de deux molécules de glucose; les trioses, de l'union de trois molécules; les substances amylacées, de l'union de  $n$  molécules de glucose.

En effet :



Ces produits sont analogues aux éthers ou mieux aux acétals.

Le mode général de préparation des éthers est applicable.

Si on chauffe un glucose avec un acide, on doit obtenir les éthers précédents ou polyglucoses.

Jusqu'à présent cependant on n'a pas fait la synthèse totale des saccharoses, trioses, substances amylacées; cependant des essais intéressants ont été tentés par Musculus et M. Gautier <sup>1</sup>

4. **Formation de l'amidon.** — L'amidon est très voisin des dextrines; aussi peut-on admettre qu'il se forme sous les mêmes influences.

On sait du reste, par l'expérience, que dans les feuilles l'amidon dérive des glucoses.

On place, par exemple, dans une chambre noire une plante ne contenant que peu d'amidon. A l'obscurité l'amidon disparaît bientôt et ne se reforme pas. Si l'on place une des feuilles à la surface d'une solution sucrée, l'amidon apparaît très vite et en grande abondance si la feuille séjourne assez longtemps pour absorber une quantité notable de glucose.

On sait aussi que l'amidon peut rétrograder, et quelques glucoses peuvent provenir de l'amidon. En effet, si la plante n'assimile pas, comme par exemple pendant la germination ou à l'obscurité, la vie végétale se réduit à des fonctions respiratoires; au lieu d'être un laboratoire de synthèses, elle est seulement un laboratoire d'analyses.

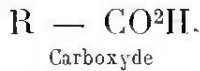
5. **Origine de la cellulose.** — La cellulose a sans doute une origine analogue à l'amidon, mais l'expérience

<sup>1</sup> Voyez E. GAIN et P. JACCARD, *Synthèses organiques* (Bull. sc. nat., 1892).

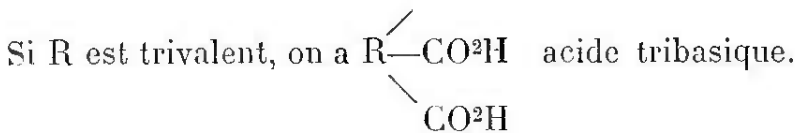
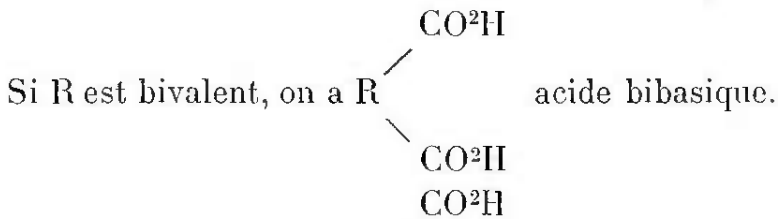
manque pour élucider le mode de formation de cette substance. On avait cru, il y a quelques années, reconnaître dans les bacs des sucreries une cellulose formée par l'action de diastases solubles sur les jus sucrés. Vérification faite, cette substance, dite *gomme des sucreries*, était bien de nature cellulosique; mais M. van Tieghem a prouvé qu'elle provenait de l'élaboration d'une masse végétale vivante composée de colonies de nostocs.

6. **Synthèse des acides organiques.** — On trouve dans les plantes des acides organiques. Ils peuvent tous être dérivés des sucres.

Un acide renferme toujours le groupe fonctionnel :



Si R est monovalent, l'acide est dit monobasique.



Si le radical R ne possède pas un groupement fonctionnel, on a un acide simple.

Si R est une fonction, on a un acide complexe, alcoolique ou aldéhydique suivant la nature de cette fonction.

Les plus simples des acides sont ceux dits acides de la série grasse, *premier groupe*, qui sont monobasiques et de la forme :  $\text{C}^n\text{H}^{2n}\text{O}^2$ .

Beaucoup de principes végétaux sont de cette série :

$\text{CH}^2\text{O}^2$  acide formique

$\text{C}^2\text{H}^4\text{O}^2$  acide acétique

$\text{C}^3\text{H}^{10}\text{O}^3$  acide valérianique

$\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^2$  acide caproïque

..

..

..

$\text{C}^{16}\text{H}^{32}\text{O}^2$  acide palmitique

..

..

$\text{C}^{18}\text{H}^{36}\text{O}^2$  acide stéarique

} acides gras proprement  
dits

Les acides du deuxième groupe sont polybasiques.

Citons :

$\text{C}^2\text{H}^2\text{O}^4$  acide oxalique

..

$\text{C}^4\text{H}^6\text{O}^4$  acide succinique

$\text{C}^4\text{H}^6\text{O}^5$  acide malique

$\text{C}^4\text{H}^6\text{O}^6$  acide tartrique

Au point de vue de la production de ces acides, les plus simples à étudier sont ceux qui, comme l'acide tartrique, sont *acides-alcools*, parce qu'ils sont très rapprochés des sucres.

Ces acides  $\text{R}$   $\begin{array}{l} \diagup \text{CO}^2\text{H} \\ \diagdown \text{CO}^2\text{H} \end{array}$  peuvent se produire facilement

par oxydation des alcools.

A. *Acide oxalique*. — L'acide oxalique, par exemple,

pourra se produire par oxydation du glycol. Si l'on chauffe du glycol  $C^2H^6O^2$  avec de l'acide azotique dans un tube à essai, il y a dégagement de vapeurs rutilantes et formation d'acide oxalique, qu'on décèle facilement, en neutralisant l'excès d'acide azotique par l'ammoniaque et traitant par le  $CaCl$ , qui donne un abondant précipité d'oxalate de chaux. Le glycol, il est vrai, n'a pas été constaté dans les plantes, mais peut-être est-il transformé, à mesure qu'il apparaît, en acide oxalique. Presque toutes les matières organiques, du reste, par l'action de l'acide azotique, donnent de l'acide oxalique. Dans l'organisme végétal, il est donc probable que cet acide a une origine variable. On le voit, du reste, apparaître dans les plantes, partout où les albuminoïdes se produisent. Or il est probable que ceux-ci proviennent de la réaction des corps amidés (asparagine, leucine) sur les hydrates de carbone. Si, en effet, on compare la composition centésimale des albuminoïdes à celle de l'asparagine, on voit que la transformation de cette dernière exige, pour que tout l'azote soit employé, une addition de carbone et d'hydrogène, tandis que l'oxygène devient libre en se portant sur les hydrates de carbone; cet oxygène peut les transformer en acide oxalique. MM. Berthelot et André ont, en outre, proposé une autre interprétation, d'après laquelle l'élaboration de l'acide oxalique serait encore corrélative des albuminoïdes.

L'acide oxalique est bibasique, il donne avec la potasse trois sels différents : un oxalate neutre  $C^2K^2O^4$ , un oxalate acide  $C^2KHIO^4$  et un oxalate à excès d'acide désigné anciennement sous le nom de quadroxalate  $C^2KHIO^4$ ,  $C^2H^2O^4$ .

Les oxalates de potasse sont très répandus dans les

végétaux, ils sont solubles ; les oxalates de chaux, au contraire, sont insolubles ; on les trouve cependant dans les plantes à l'état cristallin, soit sous forme de raphides, soit sous celle d'octaèdres aplatis ou de prismes orthorhombiques ou clinorhombiques.

*B. Acide tartrique.* — Si l'on oxyde l'érythrite  $C_4H^{10}O_4$  par l'acide azotique, on obtient de l'acide tartrique.

On peut donc admettre que, dans les plantes, c'est par oxydation de l'érythrite que se produit cet acide. On sait, du reste, que les plantes sont des corps oxydants énergiques dans certaines conditions (obscurité...). L'acide carbonique est bien formé par oxydation au sein de la plante (respiration).

Cette oxydation totale explique et permet d'admettre l'oxydation partielle de l'érythrite en acide tartrique.

L'acide tartrique dextrogyre est très répandu dans le règne végétal ; sa présence à l'état libre ou de combinaison avec la chaux ou la potasse a été constatée dans la sève de la vigne au printemps, dans les raisins, les tamarins, les pélargoniums, les baies de sorbier, les graines d'évonymus, les feuilles de chélidoine, les pommes de terre, les topinambours, etc...

Si l'on essaye d'oxyder les hydrates de carbone par l'acide azotique, on obtient tantôt de l'acide tartrique droit, tantôt de l'acide tartrique gauche, tantôt un mélange des deux.

Dans les acides organiques du premier groupe il n'y a plus de fonction alcool.

Par réduction on peut faire disparaître une fonction alcoolique par l'hydrogène naissant. Or les plantes décomposent par réduction l'acide carbonique de l'air qui est très stable ; elles peuvent donc désoxyder



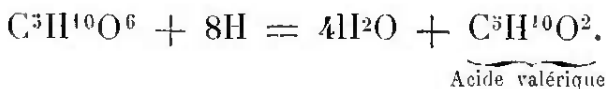
l'autres produits, tels que les acides alcools précédemment étudiés, comme l'acide tartrique, l'acide oxalique... etc...

On tombe alors sur des acides voisins des acides gras.

Kiliani, en étudiant l'arabinose  $C^5H^{10}O^5$ , qui est un aldéhyde, a obtenu par oxydation l'acide arabonique  $C^5H^{10}O^6$

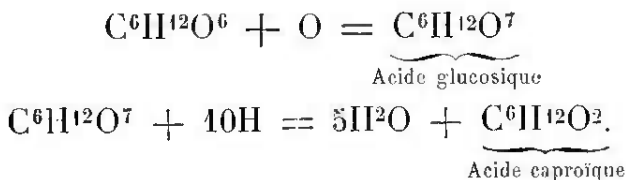
Cet acide a quatre fonctions d'alcool.

En le chauffant avec l'acide iodhydrique on fixe de l'hydrogène et l'on passe à un autre acide, mais monobasique :



Ainsi par deux transformations simples : une oxydation légère et une réduction, on voit un sucre devenir un *acide gras*.

De même :



Ainsi une troisième sorte de synthèse est opérée.

Les acides de la série grasse s'obtiennent par oxydation des sucres, ce qui donne un acide polybasique, qui est réduit en éliminant la fonction alcoolique supplémentaire.

Ici nous avons admis que l'hydrogénation est totale ; si la réaction n'est que partielle, nous devons avoir des produits intermédiaires.

Ainsi l'acide tartrique dérive de l'érythrite ; si on enlève ses deux fonctions alcools, on a l'acide succi-

nique, qui est de la série grasse et n'a pas de fonction alcoolique.

Si l'on ménage la réduction de façon à n'enlever qu'une seule fonction alcool, on a l'acide malique, intermédiaire entre l'acide tartrique et l'acide succinique.

Ainsi s'explique la synthèse de ce nouvel acide.

Pour les acides des corps gras tels que l'acide palmitique, stéarique, etc..., il y a une petite difficulté.

On ne connaît pas de sucres en C<sup>16</sup> et C<sup>18</sup>... Par analogie on est conduit à admettre cependant l'existence dans les végétaux d'alcools en C<sup>16</sup> et C<sup>18</sup>, qui ont très vraisemblablement une existence réelle, mais que l'on n'a pas pu encore extraire. Un corollaire important découle des hypothèses admises précédemment :

Si dans la vie végétale les acides gras proviennent d'acides polybasiques dérivés des sucres, il doit y avoir beaucoup d'oxygène dégagé.

L'étude de la respiration vérifie cette conséquence. Si l'on fait respirer une plante à 40 degrés, il y a un dégagement d'acide carbonique supérieur en volume à l'oxygène absorbé. Donc la plante fournit un supplément d'oxygène.

La plante est bien un appareil réducteur, comme l'avait prévu la théorie.

M. Schlœsing fils, étudiant les échanges gazeux d'une plante placée dans une atmosphère confinée (respirant et assimilant), trouve dans l'enceinte un excès d'oxygène supérieur à la quantité d'acide carbonique décomposé.

La plante s'appauvrit donc en oxygène, et ceci est toujours conforme aux exigences indiquées plus haut.

Lœw a reconnu que, si on met une solution de glucose en contact avec de la mousse de platine, il se produit

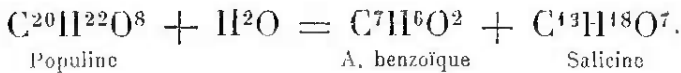
un mélange d'acides valérique, butyrique, caproïque, ce qui vérifie dans une certaine mesure l'hypothèse générale de la formation des acides.

**7. Synthèse des éthers.** — **GLUCOSIDES.** — Nous pouvons maintenant aborder l'explication de l'origine des éthers, qui sont si fréquents chez les végétaux. Nous allons l'abord nous occuper des *glucosides*, dont la structure est très complexe.

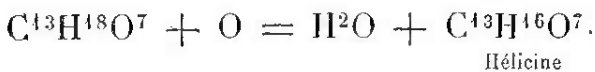
Les glucosides renferment des glucoses comme fonction alcool. Ils sont mal connus au point de vue analytique, ce qui retarde leur synthèse artificielle. Ils se dédoublent quand on les chauffe par un acide en glucose et en un résidu peu connu.

Actuellement, on a pu reproduire synthétiquement deux glucosides : la *populine* et la *salicine*.

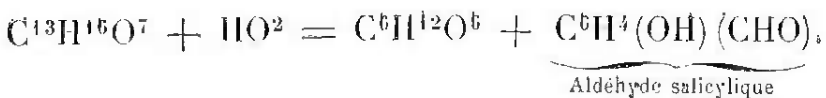
La *populine* a pour formule  $C^{20}H^{22}O^8$ , c'est un corps cristallisable. Si on la fait bouillir avec la chaux, elle se dissout dans l'eau, et il se sépare de l'acide benzoïque et de la salicine :



Si on oxyde par l'acide azotique la salicine obtenue, il reste de l'eau et un corps appelé *hélicine* :



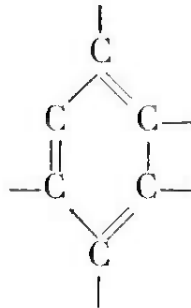
L'hélicine n'est pas connue dans les végétaux, sa formule en fait l'aldéhyde de la salicine. Si l'on soumet  $C^{13}H^{16}O^7$  à l'émulsine (ferment soluble qui dédouble les glucosides), on a :



En remontant les divers termes de cette analyse on obtient la synthèse de la populine et de la salicine.

8. **Synthèse des composés aromatiques.** — Après avoir étudié les corps de la série grasse, nous arrivons à une catégorie de corps qui constituent la série aromatique.

*Composés non azotés.* — C'est à Kékulé que l'on doit l'établissement de la formule de constitution de ces composés, qui permet de les grouper sous une forme hexagonale dans laquelle le noyau  $C^6$  est hexavalent, tandis que le même groupement dans la série grasse demande pour être saturé 14 atomes d'hydrogène :



On peut les grouper en composés inorganiques (pétroles de Russie) et en composés organiques (principes immédiats).

L'expérience de Berthelot permet d'expliquer la production des premiers : elle consiste à polymériser par la chaleur l'acétylène, hydrocarbure simple de la série grasse, en un nouveau corps  $C^6H^6$ , qui est la benzine  $3(C^2H^2) = C^6H^6$

Ce même composé  $C^2H^2$  polymérisé quatre fois donne le *cinnamène*  $C^8H^8$ , composé aromatique.

On sait en outre que les sels de Ba et de Ca forment facilement des carbures en présence du carbone : ces carbures, par l'action de l'eau, se décomposent en don-

tant de l'acétylène, qui, au contact d'une paroi chaude, peut donner de la benzine. Le même procédé ne peut pas s'appliquer aux composés organiques, et ceux-ci ne sont pas les moins nombreux. Citons-en quelques-uns :

1°  $C^{10}H^{11}$ , *cymène* dérivé de la benzine et qu'on trouve dans l'essence d'eucalyptus ;

2°  $C^{10}H^{14}O$ , *thymol* qu'on rencontre dans l'essence de thym ;

3°  $C^{10}H^{14}O$ , *carvacrol* ;

4°  $C^{10}H^{12}$ , *eugénol* qu'on extrait de l'essence de girofle et qui peut mener à la synthèse de la vanilline ;

Parmi les acides, citons :

1° L'*acide benzoïque* ;

2° L'*acide salicylique* ;

3° L'*acide gallique*.

Parmi les aldéhydes nous trouvons :

1° L'*aldéhyde benzoïque* ou essence d'amandes amères ;

2° L'*aldéhyde salicylique* ou essence de reine des prés ;

3° La *vanilline*, extrait de la gousse de la vanille.

En examinant le mode de production probable des principes immédiats de la série aromatique, on peut arriver à trouver des produits intermédiaires tels qu'on peut comprendre leur production à l'aide des principes de la série grasse <sup>1</sup>

Parmi ces intermédiaires on peut citer :

1° Un sucre tel que l'*inosite*, qu'on rencontre dans les feuilles des choux, des haricots, de noyer, et la *perséite*, autre sucre de transition ;

2° Des hydrocarbures tels que les *terpènes*  $C^{10}H^{16}$

<sup>1</sup> Voyez E. GAÏN et P. JACCARD, *Synthèses organiques* (Bull. sc. nat., déc. 1892.) — MAQUENNE, *Carbures aromatiques* (Revue générale des sciences, 1891-93).

(essence de térébenthine et isomères), le camphre, etc.

*Composés azotés.* — Les combinaisons azotées peuvent être réunies dans les trois groupes suivants :

I. Corps de la forme :  $R - AzH^2$  *amines*, ou de la forme :  $R - CO - AzH^2$  *amides* ;

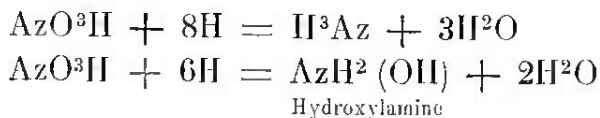
II. Corps renfermant un ou plusieurs noyaux cycliques : *alcaloïdes* ;

III. *Corps albuminoïdes.*

Les corps azotés dérivent de corps non azotés. Cette transformation peut avoir lieu par fixation directe d'azote libre, ou par la fixation de l'azote renfermé dans les composés nitrés ou ammoniacaux.

L'azote entre très difficilement en combinaison ; aussi le premier mode de fixation n'a guère été bien observé jusqu'ici que chez les légumineuses et quelques autres plantes où cette fixation est due à l'activité de bactéries.

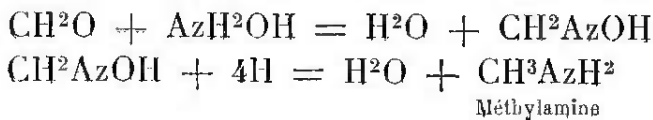
Si la synthèse est impuissante à reproduire un pareil procédé, elle peut imiter la nature lorsqu'elle emprunte l'azote soit à l'ammoniaque, soit aux azotates. L'acide azotique n'agit pas comme tel, ainsi qu'il est facile de se l'expliquer, mais il est transformé soit en ammoniaque, soit en hydroxylamine, ainsi que le montrent les deux équations suivantes :



Un exemple de synthèse d'une amine nous est donné par l'*acide aspartique*, que l'on peut obtenir en chauffant légèrement l'acide succinique avec de l'ammoniaque (il se produit d'abord un corps intermédiaire : l'acide malique).

On obtient également une amine en faisant agir sur une aldéhyde ou une acétone de l'hydroxylamine.

On peut par ce mécanisme concevoir la formation de la méthylamine en partant de l'aldéhyde méthylique :



Les amides peuvent s'obtenir également par deux procédés :

1° Par déshydratation d'un sel ammoniacal correspondant.

Ainsi l'aspartate d'ammonium par déshydratation donne l'asparagine, qui est une amide ;

2° Par l'action de l'ammoniaque libre sur les éthers.

Par ce procédé l'aspartate de méthyle traité par l'ammoniaque donne encore de l'asparagine.

9. **Synthèse des alcaloïdes.** — Le peu que l'on connaît jusqu'ici de la constitution des alcaloïdes n'a pas permis à la synthèse de les reproduire, sauf une ou deux exceptions.

On sait que ces corps complexes renferment toujours soit un noyau pyridique ( $\text{C}^5\text{H}^5\text{Az}$ ), soit le groupement hexagonal de la quinoléine ( $\text{C}^9\text{H}^7\text{Az}$ ).

Un des rares alcaloïdes obtenus par synthèse est la *ipéridine*  $\text{C}^5\text{H}^{11}\text{Az}$ , un des plus simples et qu'il est facile d'obtenir par hydrogénation de la *pyridine*.

Ce qui est plus intéressant, c'est la synthèse de ce corps en partant d'un composé gras : la *pentaméthylène-diamine*.

Ce corps chauffé avec  $\text{HCl}$  donne de la pyridine, que l'on peut, ainsi qu'il vient d'être dit, transformer en ipéridine.

Une seconde synthèse intéressante est celle de la *coniine*, principe actif de la ciguë et qui est une *propylpyridine*.

On est encore moins avancé sur la synthèse des dérivés de la quinoléine que sur ceux de la pyridine, et, bien que la méthode de Skraup permette de passer de l'aniline à la quinoléine par voie synthétique, on ne sait pas grand'chose encore sur le mode de formation des composés de ce groupe.

**40. Synthèse des corps albuminoïdes.** — Les corps albuminoïdes sont les plus complexes et les plus élevés que produisent les êtres organisés, ce sont aussi ceux que la synthèse artificielle a le plus de peine à reproduire. Les albuminoïdes sont, en général, amorphes, souvent solubles dans l'eau où ils déposent par évaporation une masse cornée.

Leurs solutions coagulent facilement, surtout sous l'influence de la chaleur. On reconnaît les albuminoïdes au moyen de plusieurs réactions, dont les plus connues sont : la réaction de Millon par le nitrate de mercure ; la réaction du biuret avec le sulfate de cuivre et la potasse, etc.

Leur propriété la plus caractéristique est de dégager de l'ammoniaque lorsqu'on les chauffe avec un alcali. Il est facile de se rendre compte que dans cette réaction l'ammoniaque ne préexiste pas sous forme de sel ammoniacal dans l'albumine, mais qu'il provient de l'hydratation de l'azote qu'elle renferme.

C'est cette dernière réaction qui a été mise à profit dans les nombreux essais de synthèse qui ont été entrepris. Ce sont surtout les derniers travaux de M. Schützenberger qui ont permis de donner aux albuminoïdes leur formule la plus probable.

Pour effectuer l'analyse complète de l'albumine, M. Schützenberger a soumis du blanc d'œuf à l'action



de la baryte en présence de l'eau et a porté ce mélange à des températures variant entre 100 à 250 degrés dans une chaudière autoclave afin d'avoir la somme totale des produits de décomposition.

A 100 degrés les produits formés sont :

- 1° L'ammoniaque  $\text{AzH}^3$  ;
- 2° Les acides : carbonique  $\text{CO}^2$  ; oxalique  $\text{C}^2\text{H}^4\text{O}^2$  ; acétique  $\text{C}^2\text{H}^2\text{O}^2$  ;
- 3° Un résidu que nous examinerons tout à l'heure en détail.

Avant d'aller plus loin, remarquons : 1° que la proportion de ces corps est constante quelle que soit la température à laquelle on opère ; 2° que la quantité d'ammoniaque formée correspond au quart de l'azote total contenu dans l'albumine ; 3° qu'il se forme deux molécules d' $\text{AzH}^3$  pour une d'acide carbonique et d'acide oxalique.

Remarquons, en outre, que, tandis que les *amines* et les *alcaloïdes* traités par un alcali en présence de l'eau ne dégagent pas d'ammoniaque, les *amides* par ce traitement en dégagent et par là se comportent comme les albumines.

En se basant sur ces considérations, M. Schützenberger a été amené à considérer les albumines comme des *corps amidés* et à déduire de leur analyse très probablement que la *carbamide* et l'*oxamide* en sont les amides constituantes, puisque l'acide carbonique et l'acide oxalique se rencontrent comme premiers produits de leur décomposition.

La formule de constitution de l'albumine renfermerait donc les deux noyaux suivants :



dont les affinités respectives sont saturées par un certain nombre de radicaux  $R_1R_2R_3R_4$ , dont le mélange constitue le résidu mentionné plus haut.

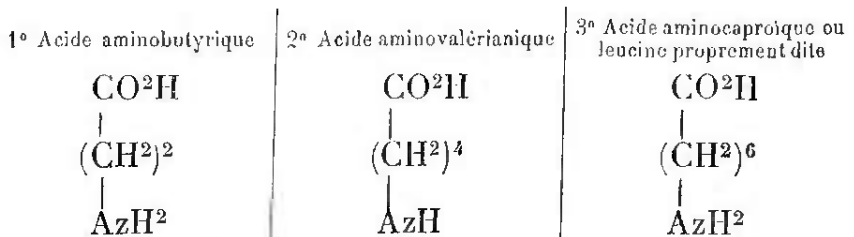
Ce résidu, dont l'analyse est des plus difficiles, peut être résolu :

A. — En une série de corps cristallisables d'une saveur sucrée, que M. Schützenberger a appelé les *glucoprotéines* de la formule générale  $C^nH^{2n}Az^2O^4$  dans laquelle  $n$  varie de 7 à 11 ;

B. — En un produit complexe, la *dileucéine*, dont la formule serait  $C^{18}H^{32}Az^4O^8$  ou  $C^{17}H^{30}Az^4O^8$ , mais qui est beaucoup moins abondant que les glucoprotéines.

En répétant la même analyse à une température de 200 degrés, les premiers produits de la décomposition n'ont pas changé ( $AzH^3$ ,  $CO^2$ ,  $C^2H^4O^2$ ,  $C^2H^2O^4$ ), mais le résidu est formé :

A' — Par un mélange de *leucines*, qui sont des *acides gras aminés* de la forme  $C^nH^{2n+1}AzO^2$  ( $n = 3$  à 6), ce sont :



B' — Par des substances déliquescentes, les *leucéines*, qui sont des leucines déshydrogénées ( $C^nH^{2n-1}AzO^2$ ).

Ces corps n'ont ~~pas encore été obtenus pures que~~ dans cette réaction, mais on peut admettre que ce sont des anhydrides d'acides transformables en *acides hydroprotéiques*, de la forme  $C^nH^{2n}Az^2O^3$ ;

*C'* — Par des corps plus déliquescents encore, solubles dans l'alcool, analogues aux glucoprotéines obtenus dans l'analyse à 100 degrés, mais non identiques; ce sont des *glucoprotéines*  $\beta$ ;

*D'* — Enfin, par un acide de la forme  $C^8H^{14}Az^2O^3$ , que M. Schützenberger a nommé *acide protéique*.

Comme on le voit, l'analyse à 200 degrés donne un plus grand nombre de produits, mais qui sont aussi plus simples.

Par des considérations qui ne rentrent pas dans le cadre de cet exposé, M. Schützenberger a été amené à admettre que la leucine et la leucéine ne sont que des produits de la décomposition de la glucoprotéine, qui se dissocie vers 200 degrés.

La formule de la glucoprotéine peut donc être obtenue en sommant les deux formules de la leucine et de la leucéine qui sont connues.

Pour les mêmes raisons, la glucoprotéine  $\beta$  et l'acide protéique sont donc vraisemblablement les produits de la décomposition de la dileucéine, mais la formule que l'on peut donner à ce dernier corps, en s'appuyant sur cette supposition, est encore très hypothétique.

Les radicaux  $R_1R_2R_3R_4$  de la formule générale peuvent être remplacées par leurs formules maintenant connues. On obtient de cette façon une formule de constitution de l'albumine, très complexe, il est vrai, mais ne différant pas essentiellement de celles des autres principes immédiats; elle explique parfaitement les réactions de ce corps.

Le nombre des valeurs attribuables à l'exposant  $n$  dans les radicaux  $R_1R_2R_3R_4$  étant assez considérable, on s'explique la grande variété des substances albuminoïdes.

Partant de sa formule théorique, M. Schützenberger a cherché à obtenir la synthèse des albumines, et il y est arrivé, en partie du moins. Le corps obtenu par lui n'est pas une albumine aussi complexe que le blanc d'œuf par exemple, mais est analogue aux peptones qui sont les produits de digestion de l'albumine et par conséquent sont plus simples.

D'autres essais tentés parallèlement à ceux de M. Schützenberger, par plusieurs chimistes, notamment par M. Grimaux, ont eu pour résultat la synthèse de quelques produits de nature albuminoïde, et spécialement des colloïdes dont la formule est encore incertaine.

Tout ce qu'on sait sur la synthèse des substances albuminoïdes n'explique donc pas leur mode de formation dans l'organisme végétal.

Le mécanisme de leur synthèse naturelle ne diffère sans doute pas de celui des corps plus simples qui servent à les former, mais il laisse supposer certaines réactions intermédiaires, peut-être nombreuses, que la synthèse artificielle n'a pas encore dévoilées.

Il résulte de cette étude sommaire que la synthèse des principes immédiats des végétaux laisse encore bien des problèmes à résoudre et que nous n'en possédons même pas les grandes lignes.

Néanmoins, elle permet de concevoir comment, sous l'influence de réactions simples, des composés relativement simples peuvent donner naissance à des principes d'une complexité beaucoup plus grande.

## § 2. — MÉTAMORPHOSES RÉGRESSIVES

Ces transformations chimiques ont surtout été étudiées dans les graines, mais elles se produisent dans toutes les autres parties de la plante, et spécialement dans les organes où se sont accumulées les réserves et qui, à un moment donné, ont une vie chimique très active (bulbes, bourgeons, tubercules, racines vivaces).

Comme la plupart de ces transformations chimiques ont pour but la transformation des principes immédiats en substances assimilables, ces phénomènes sont de véritables *digestions de réserve*.

1. Chimie de la graine et des organes de réserve. — L'ovule qui a subi la fécondation est le siège de phénomènes spéciaux qui ont pour effet de le transformer en graine.

Celle-ci est le siège d'une transformation lente pendant laquelle elle s'organise au point de vue chimique.

Elle perd une grande quantité d'eau et cette dessiccation amène de nombreux changements internes.

De toutes les parties de la plante il s'accomplit une migration des substances plastiques de réserves qui se sont accumulées pendant toute la végétation dans ce seul but. Le mécanisme de ces transports est régi par les lois de diffusion, que nous avons exposées plus haut.

Le résultat, c'est pour chaque plante une graine de composition chimique très fixe qui présente les parties suivantes (*fig. 31*) :

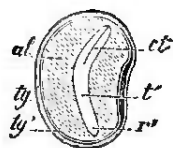


FIG. 31. — Graine à albumen coupée; Testa *ty*, tégument *ty'*, albumen *al*, et plantule *r*, *t*, *r''*.

1° Un tégument protecteur qui revêt une structure ligneuse ou parenchymateuse suivant les cas ;

2° Une amande centrale formée de deux parties :  
*a.* l'albumen <sup>1</sup> ; *b.* l'embryon.

L'albumen, quand il existe, entoure l'embryon ou jeune plantule. C'est un organe composé de cellules gorgées de substances de réserve.

L'embryon, qui est une jeune plante en miniature, est formée de plusieurs parties.

Un axe appelé « tigelle », qui se termine en bas par une partie conique, la radicule, et en haut par un jeune bourgeon, la gemmule, entouré de deux lames, ou coty-

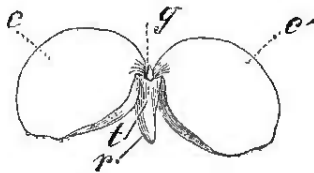


FIG. 32. — Plantule à deux cotylédons : *r.* radicule ; *t.* tigelle ; *g.* gemmule ; *cc'*, cotylédon.

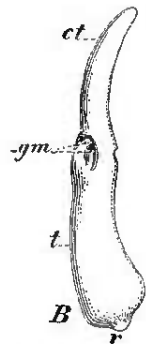


FIG. 33. — Plantule à un cotylédon : *r.* radicule ; *t.* tigelle ; *gm.* gemmule ; *ct.* cotylédon.

lédons, chez beaucoup de plantes (Dicotylédones) ou d'une seule (Monocotylédones) (fig. 32 et 33).

Si l'albumen fait défaut, les cotylédons sont renflés par les substances nutritives qui seront nécessaires à l'alimentation du végétal pendant la première période de son développement.

La transformation de l'embryon en jeune plantule ou germination comprend une série de changements chi-

<sup>1</sup>L'albumen n'existe pas toujours ; s'il est absent, les cotylédons emmagasinent les réserves.

riques de la plus grande importance et que nous allons tudier en détail.

*A. Germination.* — L'embryon dans la graine est à état de vie ralentie; c'est le milieu extérieur qui commande son réveil et son accroissement.

L'organisation de la graine étant normale, on dit qu'elle possède le pouvoir germinatif.

Pour qu'elle puisse germer, il suffit que le milieu lui apporte : 1° de l'eau, qui joue un rôle de dissolvant et permet des réactions qui rendent solubles des matières insolubles; 2° de l'oxygène nécessaire à la fonction respiratoire; 3° de la chaleur (*fig. 34*).

L'intensité thermique du milieu agit sur la germination et sur la croissance de la plante à tous ses stades de végétation.

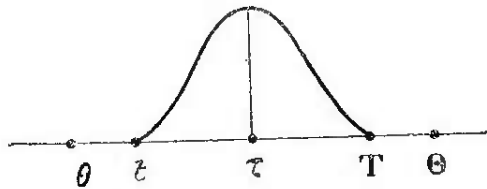


FIG. 34. — Courbe des intensités thermiques (d'après VAN TIEGHEM).

L'activité vitale étant mesurée sur les ordonnées en raison des températures croissantes inscrites de gauche à droite sur la ligne des abscisses, on obtient un tracé (*fig. 32*) rectiligne, de  $\theta$ , température minimum compatible avec la vie ralentie, à  $t$ , température minimum compatible avec le fonctionnement régulier, puis une courbe ascendante jusqu'à l'optimum thermique  $\tau$ , une courbe descendante de  $\tau$  en  $T$  maximum pour l'individu végétant, et une nouvelle ligne horizontale jusqu'à  $\theta$  où la plante est tuée par la chaleur.

La valeur absolue de ces températures critiques varie beaucoup suivant les espèces et même change avec le

stade de végétation, par suite la forme de la courbe varie dans une même plante suivant le phénomène particulier que l'on considère.

Pour faire passer la graine de l'état de vie ralentie à l'état de vie active, autrement dit pour la germination, voici chez quelques plantes vulgaires les limites et l'optimum :

	Limite inférieure	Optimum	Limite supérieure
Moutarde ( <i>Sinapis alba</i> ) . . . . .	0°	27°4	37°
Blé ( <i>Triticum vulgare</i> ) . . . . .	3°	28°8	42°4
Haricot ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) . . . . .	9°4	33°8	46°3
Courge ( <i>Cucurbita pepo</i> ) . . . . .	13°5	33°6	46°2

D'une façon générale les valeurs moyennes de ces trois températures sont 10 degrés, 20 degrés, 50 degrés.

Le milieu est ainsi mis à contribution pour fournir une partie de l'alimentation ; de là, deux sortes de phénomènes chimiques distincts : ceux qui s'accomplissent entre la graine et le milieu extérieur, et ceux qui ont leur siège dans l'intérieur même de la graine.

*B. Phénomènes chimiques externes.* — La plantule absorbe de l'oxygène, dégage de l'acide carbonique et émet de la vapeur d'eau. Autrement dit, elle respire et transpire. Sa substance sèche diminue de poids par perte de carbone et d'eau.

L'analyse comparée du grain de blé initial et de la plantule du blé, après cinquante jours de végétation, a donné les chiffres suivants :



Blé	Poids total	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Matières minérales
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Graines ..	1,665	0,758	0,095	0,718	0,057	0,038
Plantules ..	9,712	0,293	0,043	0,282	0,057	0,038
Différences.	0,953	0,465	0,052	0,436	»	»

Tout l'oxygène absorbé n'est pas rejeté sous forme d'acide carbonique. Une partie se trouve fixée et contribue à la synthèse organique de quelques substances.

*C. Phénomènes chimiques internes.* — Ce sont des phénomènes de métamorphoses progressives ou destructives, d'une part, et de métamorphoses régressives ou assimilatives, d'autre part.

L'oxygène qui est retenu par la graine dans sa fonction respiratoire est, nous l'avons dit, employé à former des principes immédiats.

D'un autre côté, toutes les réserves qui ne sont pas directement assimilables doivent être transformées pour contribuer à la construction de la jeune plante.

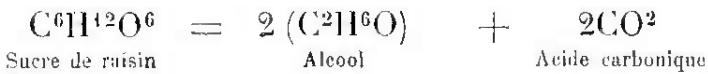
**2. Processus des métamorphoses régressives.** — La décomposition des aliments de réserve, en détruisant les forces *latentes* ou *potentielles* emmagasinées, a pour effet de mettre en liberté, autrement dit de dégager, des forces *vives* ou *réelles*, d'où résultent les différentes manifestations vitales qui se traduisent :

- 1° Par l'accroissement de la plante ou de l'organe ;
- 2° Par un dégagement de calorique mesurable ;
- 3° Par des réactions endothermiques internes.

On est convenu de considérer les digestions de réserves comme des *dédoulements* avec *hydratation*; mais les modes de destruction des matériaux organiques sont en réalité plus variés, nous allons successivement en citer quelques-uns :

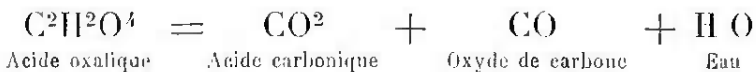
*A. Dédoulement simple.* — C'est la décomposition d'une substance organique en deux ou plusieurs produits dont la somme représente exactement la substance primitive.

Telle est la fermentation alcoolique du sucre de raisin.



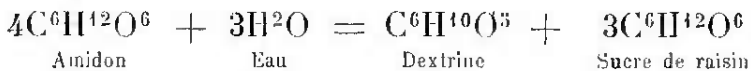
*B. Déshydratation.* — C'est une forme particulière de dédoublement simple dont un des produits est de l'eau.

Exemple: transformation de l'acide oxalique en acide carbonique, oxyde de carbone, eau :



*C. Hydratation.* — C'est un dédoublement précédé d'une hydratation de la substance organique.

Exemple: la saccharification de l'amidon :



La saponification des corps gras est aussi dans ce cas: tripalmitine + eau = glycérine + acide palmitique.

*D. Oxydation.* — C'est la décomposition avec fixation d'oxygène.

Exemple: la décomposition de l'albumine, du sucre et des graisses.

*E. Réduction.* — Décomposition accompagnée de dégagement d'oxygène. C'est un phénomène très commun dans la transformation des substances colorantes.

*F* *Synthèse.* — C'est-à-dire combinaison de plusieurs substances.

C'est surtout dans les métamorphoses progressives qu'on la rencontre, mais on en observe dans les métamorphoses destructives. La formation des corps gras est due aux dépens de la glycérine et des acides gras en voici un exemple.

La destruction des substances se fait quelquefois sous l'influence même des cellules de l'organe vivant, mais surtout par l'action des ferments chimiques, ferments solubles ou diastases.

**3. Ferments solubles.** — Les ferments solubles des végétaux, encore appelés enzymes ou zymases, peuvent être classés d'après les substances sur lesquelles ils agissent; on a ainsi quatre groupes bien marqués :

1° Ferments agissant sur les *hydrates de carbone*; ce sont :

Les *diastases*, agissant sur l'amidon;

La *maltase*, transformant la maltose en glucose;

L'*inulase*, ferment de l'inuline;

L'*invertase*, qui dédouble le sucre de canne;

La *tréhalase*, qui dédouble la tréhalose;

Les *ferments cytohydrolytiques* de la cellulose;

La *pectase* qui agit sur les matières pectiques qu'elle dissout.

2° Ferments décomposant les *glucosides* avec mise en liberté de sucre et de divers corps de la série aromatique; ce sont :

L'*émulsine* ou synaptase;

La *myrosine*;

L'*érythrozyme*;

La *rahnase*

3° Ferments agissant sur les matières *albuminoïdes*.  
Ces zymases dites *protéo-hydrolytiques* sont :

La *pepsine* végétale ;

La *trypsine* végétale ;

La *présure* végétale.

4° Ferments dédoublant les *matières grasses*.

A ces quatre groupes de ferment il faudrait ajouter ceux qui sont produits par des bactéries.

#### *Premier groupe*

A. **Diastase.** — La diastase est le principe saccharifiant de l'orge germée. On distingue en général :

a. *La diastase de translocation*, qui solubilise l'amidon pour fournir des aliments au jeune embryon en voie d'accroissement. Ce ferment n'existe pas dans la graine dormante, mais se rencontre dans les graines pendant la maturation et dès le début de la germination.

b. *La diastase de sécrétion* ou enzyme amylo-hydrolytique, qui est sécrétée par le scutelle de l'embryon. Elle est commune dans les Graminées ; c'est la diastase du malt.

Ces deux diastases ont un optimum de température très différent ; c'est ainsi qu'à 40 degrés la première a un pouvoir saccharifiant égal à celui de la seconde à 14°,5 (Lintner et Eckhardt).

La diastase agit par hydrolyse. Lorsque l'action est terminée, on trouve que l'amidon a été transformé en un mélange de maltose et de dextrine dans le rapport de quatre parties de la première substance pour une de la seconde. Effront<sup>1</sup> a étudié les conditions qui favorisent

<sup>1</sup> J.-B. GREEN, *Ferments solubles des végétaux* (*An. of Botany*, vol. VII, n° XXV, mars 1893). Voir trad. libre en français, *An. agr.*, août 1893.

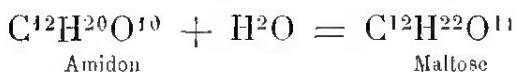
la diastase du malt ; il a trouvé que des traces de phosphates, de sels d'alumine, d'asparagine étaient très favorables à la fermentation.

Le suc des cellules devient acide en même temps qu'une partie des substances albuminoïdes passe à l'état de diastase proprement dite. Quelle est la marche de la formation des diastases ? Nous l'ignorons complètement.

Or, dans un milieu acide la diastase amylase a la propriété d'attaquer lentement l'amidon. Elle rend d'abord la granulose soluble, puis elle la dédouble avec fixation d'eau en amylopectine et maltose.

L'amylopectine par fixation d'un nouvel équivalent d'eau donne de l'érythropectine et de la maltose. Une troisième hydratation amène la formation d'acropectine et de maltose. L'acropectine se dédouble ensuite en dextrine et maltose. La dextrine elle-même donne par hydratation de la maltose.

Si l'on n'envisage que le terme principal, la maltose, de la saccharification de l'amidon par la diastase du malt, la formule de la réaction paraît très simple :

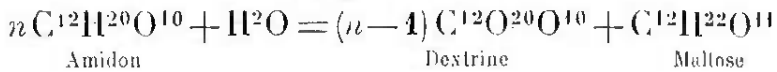


Mais il se produit en réalité, à côté de la maltose, et primitivement, un isomère de l'amidon, la dextrine<sup>1</sup>, déjà indiquée par Musculus (1874), Scharzer, Schultz et Mœrker, Payen. D'après les récents travaux de M. Bourquelot, cette dextrine se transforme par phases successives en maltose ; la réaction consiste dans la dégradation de l'amidon, dans la soustraction, répétée et successive à la molécule amyliacée, d'une molécule C<sup>12</sup>H<sup>20</sup>O<sup>10</sup> qui s'hy-

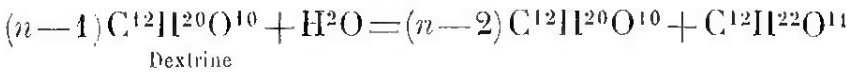
<sup>1</sup> GARNIER, *Ferments et fermentations*, p. 34. Paris, 1888.

drate et passe à l'état de maltose suivant les formules suivantes :

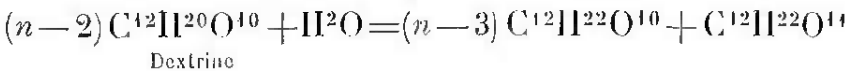
1<sup>re</sup> phase



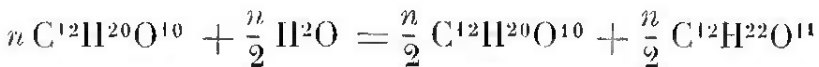
2<sup>e</sup> phase



3<sup>e</sup> phase

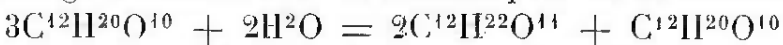


La réaction se poursuit jusqu'à ce que la dextrine formée soit inattaquable par le ferment; à ce moment, le pouvoir réducteur sur la liqueur cuprique est de 51 à 52 pour 100 de ce qu'il serait si l'hydrate de carbone était intégralement transformé en sucre, soit environ moitié, ce qui peut être formulé :



et correspond au pouvoir saccharifiant trouvé déjà par Payen (51 pour 100), Schultz et Mærker (51 à 51,7 pour 100).

Il résulte des recherches de M. O'Sullivan qu'à 63 degrés, ou un peu au dessous, l'amidon se dédouble en un mélange d'environ *deux* de maltose pour *un* de dextrine :



Entre 64 degrés et 68 degrés la proportion est intervertie; il se forme en effet *un* de maltose pour *deux* de dextrine :



Enfin, entre 68 degrés et 70 degrés, au voisinage immédiat de la température à laquelle la diastase est détruite

par la chaleur, il ne se forme plus que un de maltose pour cinq de dextrine, et la réaction peut s'écrire :



On peut en conclure que l'action de la diastase du malt atteint son maximum vers 63 degrés et devient nulle à 85 degrés.

*Mode d'action des diastases.* — L'étude du ferment diastasique a été l'objet de nombreux travaux dus à MM. A. Mayer, Baranetzky, Detmer, Hausen.

D'après M. Krabbe, l'action de la diastase sur les grains d'amidon peut se rattacher à trois types :

1° Chez les Graminées, les Polygonées, etc... on voit se former à la surface du grain de petites excavations qui se creusent de plus en plus de façon à former de petits canalicules plus ou moins irréguliers se ramifiant à mesure qu'ils s'étendent vers la partie interne du grain : la corrosion est centripète et inégale ;

2° Chez les Légumineuses, la marche de la corrosion est d'abord la même que dans le premier type, mais, lorsque les canalicules sont arrivés vers le centre du grain qui, on le sait, est habituellement creusé d'une excavation d'où partent des fentes rayonnantes, elle se continue dans les fentes radiales qui sont les points de plus faible résistance, de sorte que la marche de la corrosion devient centrifuge ;

3° Enfin, dans la pomme de terre, le lis, les grains d'amidon subissent une corrosion centripète égale.

D'après l'auteur, la diastase agit de proche en proche sans imbiber le grain d'amidon ; les fragments même les plus petits se colorent encore en bleu par l'iode ; il n'y aurait donc pas lessivage de la granulose, comme le voudrait M. Sachs, avec persistance d'un squelette ne bleuis-

sant plus par l'iode. L'action de la diastase n'est pas comparable à celle des acides qui imprègnent la masse entière et laissent un squelette ne devenant plus bleu par l'iode. Si l'on fait agir des sucs diastatiques ou des bactéries sur des grains d'amidon de pomme de terre, il y a corrosion centripète inégale et non digestion égale comme dans les cellules de la plante.

Pour certains auteurs, le ferment est composé de particules protoplasmiques; or, si le protoplasma intervenait directement dans la corrosion, on en trouverait dans les canalicules; d'ailleurs, l'alcool absolu n'enlève pas à la diastase son pouvoir. Cette circonstance et l'action des bactéries sur la pomme de terre infirment l'opinion de MM. Marceno, Wigand, etc..., qui font intervenir les bactéries dans la dissolution de l'amidon dans les cellules des plantes supérieures.

En somme, la vraie nature de la diastase est encore à établir.

Cependant les recherches de M. Krabbe semblent montrer que c'est une substance colloïde incapable de traverser les membranes soit par endosmose, soit par exosmose. Dès lors, il paraît probable que la diastase naît dans la cellule même où elle exerce son action dissolvante.

D'après Wortmann, dans les feuilles où il y a une transformation active d'amidon on éprouve, la plupart du temps, une grande difficulté pour extraire le ferment en quantité appréciable et cette quantité ne suffit certainement pas pour opérer la transformation en glucose de tout l'amidon produit à la suite de l'assimilation. La même observation s'applique aux tiges et aux pétioles.

Suivant les expériences de ce savant, ce ne serait que



dans quelques cas spéciaux (graines, tubercules, rhizomes amylacés) que la dissolution de l'amidon serait due à la diastase. Dans les autres cas (feuilles en particulier), cette dissolution aurait lieu plutôt sous la seule influence du protoplasma sans intervention d'un ferment sécrété<sup>1</sup>

**B. Maltase.** — Nous avons vu que le résultat de l'action des diastases sur la substance amylacée est surtout de la maltase.

La maltase a pour fonction d'hydrater toute la maltose qui s'est formée ; elle donne de la glucose qui est le produit définitif et stable qui résulte de la régression des grains d'amidon (Bourquelot).

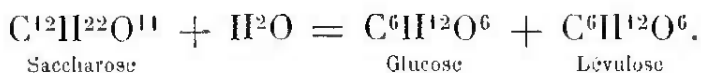
**C. Inulase.** — C'est dans les plantes qui renferment de l'inuline, succédané de l'amidon, qu'on trouve l'inulase (Composées). Cet enzyme n'apparaît que pendant la germination des tubercules. On constate entre l'inuline et le sucre qui en résulte plusieurs produits intermédiaires mal définis. L'inulase qui est très sensible à l'action des acides et des alcalis est détruite par l'ébullition comme les autres ferments solubles, et son optimum de température est de 40 degrés.

**D. Invertase.** — Le sucre de canne avant de fermenter

<sup>1</sup> M. Dastre a récemment établi que la transformation des matières albuminoïdes en peptones n'exige pas forcément la présence d'un ferment pepsique. Certaines substances antiseptiques telles que le chlorure de sodium et les fluorures peuvent, en solution, déterminer la digestion des albuminoïdes (*Comptes rendus Acad. sc.*, mai 1894). Il est donc vraisemblable que, dans l'organisme végétal, la présence des enzymes n'est pas nécessaire, dans tous les cas, pour la transformation des réserves en substances assimilables. Depuis longtemps on savait saccharifier l'amidon par l'action des acides, sans diastase ; on voit maintenant les substances les plus complexes, telles que les matières albuminoïdes, transformées également en principes assimilables sans l'intervention des ferments.

ter doit être transformé en sucre réducteur. Cette interversion est produite par l'invertase.

L'invertase dédouble la saccharose en glucose et lévulose :



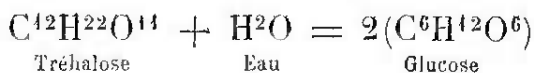
Dans cette réaction, nommée inversion du sucre, la saccharose, qui ne réduit pas la liqueur de Fehling et qui dévie à droite le plan de polarisation, se transforme en un mélange lévogyre de deux sucres réducteurs : l'un dextrogyre, la glucose ; l'autre lévogyre, la lévulose.

L'invertase, ou sucrase, existe dans la betterave en germination, dans la canne à sucre en fleurs, dans les bourgeons et autres parties végétatives (grains de pollen, pétales, embryons), etc...

En général, l'action des ferments solubles va en s'affaiblissant à mesure que la proportion des produits de dédoublement va en augmentant : l'invertase échappe à cette loi, car son activité est constante, indépendante du travail effectué.

**E. Tréhalase.** — Ce ferment se rencontre pendant la végétation des Champignons.

Le sucre tréhalose donne, sous l'action de la tréhalase, deux équivalents de glucose (Bourquelot).



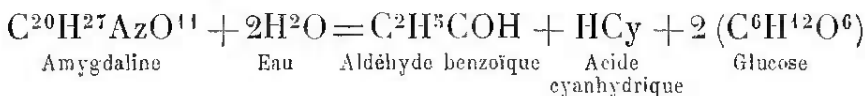
**F. Enzymes cyto-hydrolytiques.** — Les albumens dits cornés ont leur réserve de nature cellulosique (Palmiers, *Livinstonia*, *Coffea*). La cellulose sous l'action de ces ferments se transforme en un hydrate de carbone soluble et diffusible.

**G. Pectase.** — La pectose (Frémy), qui compose les

parois des cellules de plusieurs plantes, se transforme, sous l'influence de la pectase, en deux substances gélatineuses : les *acides pectosique* et *pectique*, qui sont probablement des produits d'hydratation de la pectose.

*Deuxième groupe*

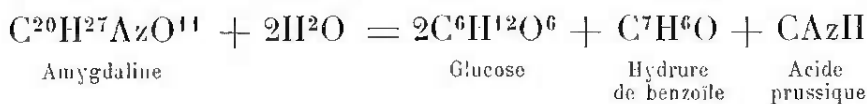
Tandis que les enzymes du premier groupe fournissent seulement du sucre comme produit ultime, celles du second groupe fournissent du sucre et diverses substances dont le rôle nutritif est problématique. Il y a le plus souvent, comme auparavant, *dédoublement avec hydratation*. C'est ainsi que l'*émulsine* de l'amande amère agissant sur l'amygdaline donne :



*H. Émulsine.* — Elle est fréquente chez les Rosacées (*Amygdalus, Cerasus, Prunus*). M. Guignard, vérifiant l'opinion de Pfeffer, a pu trouver la localisation de l'émulsine et de l'amygdaline dans des cellules différentes. Une solution chlorhydrique d'orcine donne avec l'émulsine une coloration violette. Des fragments de tissus donnant cette réaction microchimique dégagent HCy et C<sup>6</sup>H<sup>5</sup>COH, quand on les traite par une solution d'amygdaline.

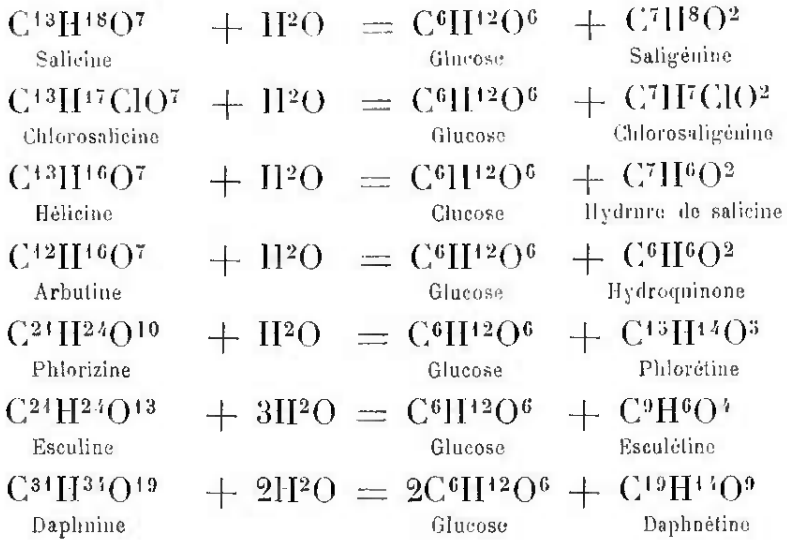
La salicine et la coniférine sont transformées comme l'amygdaline.

Les équations auxquelles l'émulsine donne lieu sont les suivantes :

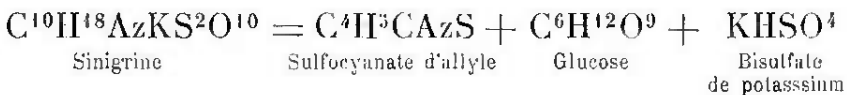


Les ferments des glucosides donnent toujours de la

glucose parmi les produits de dédoublement, ainsi qu'on peut le voir dans les réactions suivantes :



**I. Myrosine.** — Le dédoublement produit n'est pas accompagné d'hydratation. Les Crucifères renferment des glucosides complexes qui se décomposent, par l'action de la myrosine, en glucose et en composés sulfurés. Le *Brassica nigra*, par exemple, qui renferme de la *sini-grine* (myronate de potassium), donne :



M. Guignard<sup>1</sup> a étudié aussi la localisation de la myrosine dans les graines.

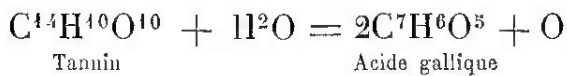
Il existe d'autres fermentations analogues à celle que produit la myrosine.

Le tannin naturel contenu dans diverses plantes astringentes, autres que l'écorce de chêne, le sumac, la noix

<sup>1</sup> GUIGNARD, *Journal de botanique*, 1890-93.

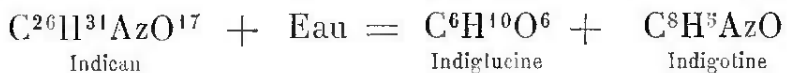
de galle, paraît être un glucoside de l'acide tannique, en lequel il se dédoublerait avec production de glucose sous l'influence d'un certain ferment végétal peut-être analogue à la pectase.

Quant à la transformation de l'acide tannique en acide gallique, il résulte des recherches de Schiff qu'elle consiste en un simple dédoublement après hydratation, la molécule de tannin donnant deux molécules d'acide gallique :



Beaucoup de matières colorantes végétales existent naturellement sous forme de glucosides et se dédoublent rapidement en présence de l'eau, sous l'influence des ferments solubles contenus dans la plante ; c'est ainsi que l'alizarine et les autres matières colorantes contenues à l'état de glucosides solubles dans la racine de garance (rubian, acide rubérique), sous l'influence de l'érythro-sine (ferment soluble) et au contact de l'eau, se décomposent avec production de sucre et de matière colorante purpurine qui reste insoluble.

Il existe, d'après Schunk, dans le pastel ou *Isatis tinctoria*, et probablement aussi dans les autres plantes susceptibles de fournir l'indigo (*Indigofera*), un glucoside incolore, l'*indican*, susceptible de se dédoubler, sous certaines influences, en indigotine et en une matière spéciale sucrée, l'*indiglucine* :



Cette décomposition se produit sous l'influence des acides dilués, tels que les acides sulfurique, oxalique, tar-

trique, ou encore pendant la putréfaction, sous l'eau, des plantes à indigo.

M. Guignard a démontré<sup>1</sup> que les Papayacées, les Capparidées, les Résédacées et les Tropéolées (capucine) présentent, sous ce rapport, une grande analogie avec les Crucifères. La capucine contient une huile essentielle, qui renferme un produit sulfuré nitrile aliphatique  $C^8H^7Az$ , dont l'homologue supérieur ou nitrile phénylpropionique  $C^9H^9Az$  s'obtient avec le cresson de fontaine. Il y a toujours localisation séparée du glucoside et du ferment.

**J. Rhamnase.** — On la rencontre seulement dans le *Rhamnus infectorius*. Le glucoside (*rhamnégine*) donne par hydratation de la glucose et de la rhamneline.

D'autres enzymes peuvent décomposer la *populine* du tremble, l'*érythrozyme* de la racine de garance, et enfin les composés tanniques qui par dédoublement donnent, comme nous l'avons dit, du sucre et des acides gallique et élagique.

#### Troisième groupe

**K. Pepsine.** — C'est le ferment peptogène des *Drosera*, *Dionœa*, *Pinguicula*, *Nepenthes*, *Sarracenia*, etc.

Dans un milieu acide le ferment sécrété par des glandes particulières transforme la matière azotée. D'après Darwin, cette zymase, comme la pepsine animale, ne se trouve sécrétée que si les glandes de sécrétion sont excitées par la présence d'une matière azotée.

**L. Trypsines.** — On a pu extraire une trypsine végétale du *Carica papaya* (Wurtz), de la *figue* (Bouchut), du *Cucumis utilissimus* (Grenn).

<sup>1</sup> GUIGNARD, *Comptes rendus Ac. sc.*, novembre à mars 1893.

Une autre enzyme protéo-hydrolytique a été découverte par Marcano dans le jus de l'*Ananassa sativa*. Elle produit des peptones, de la leucine et de la tyrosine, comme les trypsines.

Gorup-Besanez a découvert dans les graines de vesce, d'orge, de lin, de chanvre, une zymase, qui transforme la fibrine végétale en peptone.

Les graines du lupin renferment aussi une trypsine qui transforme la fibrine en acide, albumine, albumose, puis en peptone, leucine et tyrosine.

Cette trypsine donne sur les albuminoïdes de la graine les mêmes produits et de l'asparagine (Green).

La graine du ricin possède également une zymase dans son endosperme.

**M. Présures.** — Ce sont des ferments végétaux qui coagulent le lait.

On en trouve dans le *Galium verum*, le *Pinguicula vulgaris*, les *Drosera*, le *Carica papaya*, le *Clematis vitalba*, le *Cynara Scolymus*, le *Withania coagulans*, le *Datura stramonium*, le *Pisum sativum*, le *Lupinus hirsutus*, le *Ricinus communis*, dans différentes parties de ces plantes (tiges ou feuilles, fleurs ou graines). Ce ferment travaille en milieu neutre ou alcalin.

#### Quatrième groupe

**N. Zymases des corps gras.** — Müntz (1871) et Schützenberger émirent successivement l'opinion que les matières grasses de réserve étaient saponifiées sous l'influence de l'embryon, agissant comme un ferment. Green a, en effet, démontré que cette saponification était due à une zymase. Pendant la germination du ricin, par





réaction. Si l'on considère qu'une partie d'invertase peut transformer cent mille parties de sucre, on est réduit à penser que ces corps jouent le rôle d'intermédiaire entre l'eau et la matière à dédoubler.

L'enzyme s'unirait au corps primitif; cette combinaison pourrait alors prendre de l'eau, mais se dédoublerait en même temps, en remettant l'enzyme en liberté.

On doit regarder comme artificielle la distinction profonde que l'on a établie entre les végétaux supérieurs et les végétaux inférieurs qualifiés de ferments organisés, parce qu'ils sont capables de provoquer des fermentations ou décompositions complexes: dans les microorganismes, presque toujours unicellulaires, les transformations de matières doivent avoir lieu dans une cellule unique. La digestion est un phénomène intracellulaire inhérent au protoplasma; c'est toujours lui qui est l'agent actif dans l'évolution de la cellule.

C'est ainsi que l'on doit regarder la fermentation alcoolique comme indissolublement liée au développement des cellules de levure et à leur multiplication.

Le sucre est l'aliment qui fournit les matériaux nécessaires à cette évolution, les produits de la fermentation étant comme des résidus d'excrétion.

Dans les organes mêmes où s'accomplissent les phénomènes de métamorphoses régressives on peut observer, du reste, des métamorphoses progressives qui rendent le problème chimique plus complexe et plus insaisissable. Ces ferments solubles, produits eux-mêmes par le protoplasma, sont l'expression ultime de la complexité des substances albuminoïdes, et par suite occupent l'extrémité de la chaîne des principes immédiats contre lesquels ils exercent leur pouvoir de destruction. Ils sont aussi

indispensables à la plante que le sont à l'animal les sucs digestifs avec leurs ferments propres. Ce sont les intermédiaires qui assurent le fonctionnement des manifestations vitales qui se traduisent, comme nous l'avons indiqué, par l'accroissement, par le dégagement de chaleur et les réactions internes.

### 5. Expériences relatives aux digestions de réserves.

— Boussingault, ayant maintenu à l'obscurité des graines de maïs, afin de ne pas voir ses résultats contrariés par l'assimilation, a observé les faits suivants après vingt-cinq jours.

L'amidon (72 pour 100) avait presque totalement disparu, une partie avait sans doute fourni le carbone qui avait été brûlé, le reste s'était transformé en sucre et en cellulose.

La proportion d'huile était tombée de 5,4 à 1,7 p. 100.

La matière azotée n'avait pas changé en quantité, mais elle était passée à l'état colloïdal et non diffusible, à celui d'asparagine cristalloïde et soluble. Peters a observé que l'huile remplace l'amidon dans les graines de courge. D'après M. Müntz, dans les graines oléagineuses, les corps gras neutres sont saponifiés assez rapidement, tandis qu'une proportion croissante d'acide gras est mise en liberté et que les hydrates de carbone prennent naissance.

Le nombre des expériences de ce genre est considérable ; elles sont relatées dans tous les travaux des auteurs que nous avons cités au cours de l'étude des ferments solubles. Ajoutons cependant que les digestions de réserves laissent encore bien des points très intéressants à élucider.

## § 3. — DÉVELOPPEMENT DES PLANTES ANNUELLES

1. Marche des variations de poids dans la plante entière pendant son développement normal<sup>1</sup> — De la germination à la maturation, la plante traverse cinq périodes principales (*fig.* 35).

a) PÉRIODE GERMINATIVE. — Le tégument n'est pas encore tombé. La plante éprouve une diminution continue de poids sec, due à la respiration et aux différentes transformations chimiques qui se produisent dans les cotylédons.

La racine apparaît et s'allonge en augmentant régulièrement de poids sec. L'axe hypocotylé apparaît à son tour et se développe rapidement, en général, d'une façon régulière comme la racine.

En dehors de ce cas normal, on observe, pour le poids sec de l'axe hypocotylé, de nombreuses variations individuelles ; mais il y a le plus souvent, alors, balancement entre la diminution du poids des cotylédons et l'augmentation du poids de l'axe. Il y a en quelque sorte, fréquemment, une répartition indifférente de substances entre l'axe hypocotylé et les cotylédons.

L'absorption des substances minérales pendant cette période est très faible.

b) DEUXIÈME PÉRIODE. — Le tégument est tombé, les cotylédons verdissent, et la tige se montre. La diminution du poids sec de la totalité de la plante continue, sous l'influence des transformations chimiques, mais, d'autre part, la fonction chlorophyllienne intervenant

<sup>1</sup> H. JUMELLE, Thèse de doctorat, 1889. Ce paragraphe est entièrement emprunté au remarquable travail de M. Henri Jumelle.

introduit du carbone dans la plante. Tandis que la perte augmente peu avec le développement, le gain, au con-

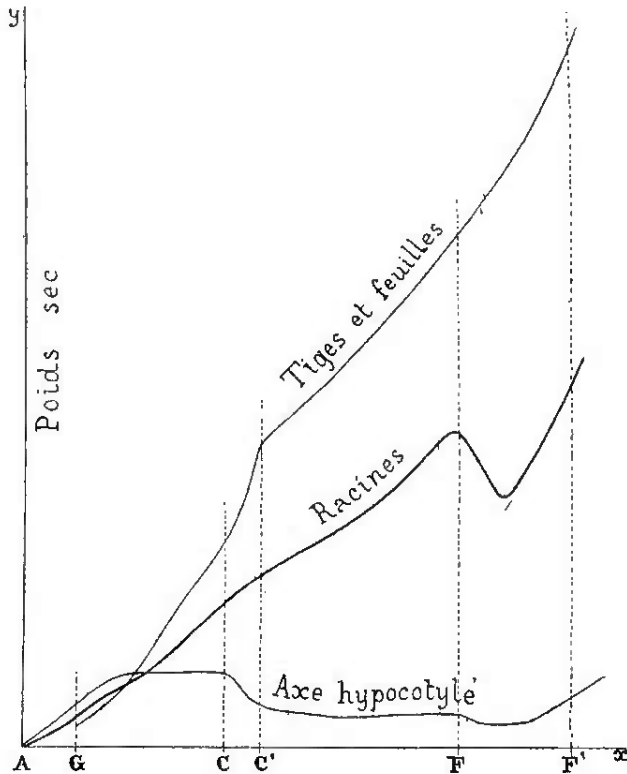


FIG. 35. — Courbe des variations du poids sec de la racine, de l'axe hypocotylé, de la tige et des feuilles du Lupin.

AG, germination. Les racines et l'axe hypocotylé ont en poids sec un gain quotidien sensiblement régulier.

G, début de l'assimilation chlorophyllienne. Augmentation rapide du gain quotidien de la racine.

GC, de la fin de la germination à la chute des cotylédons. Le gain quotidien de la racine subit une augmentation croissante. Dans l'axe hypocotylé, le gain quotidien a diminué, puis s'est arrêté. Le gain quotidien de la tige et des feuilles va croissant.

C', chute des cotylédons. Le gain quotidien des racines diminue. Le poids sec de l'axe hypocotylé s'abaisse. Il y a augmentation rapide dans le gain, en poids sec, de la tige et des feuilles.

C'F. Jusqu'à la floraison, le même mouvement continue.

FF', floraison. Au début, le poids sec des racines et de l'axe hypocotylé diminue. La tige et les feuilles gagnent encore en poids sec. A la fin de la floraison, il y a de nouveau, dans tous les membres, un gain quotidien qui va croissant. HENRI JEMELLE (*Revue générale de botanique*, 1889).

traire, augmente rapidement avec l'accroissement de la surface foliaire. Au bout d'un certain temps, dont la durée varie avec les conditions d'assimilation (lumière, etc.), le gain l'emporte sur la perte, et le poids sec de la plante s'élève alors de plus en plus.

La substance sèche de la racine, après la chute du tégument, s'accroît d'abord très rapidement, puis, dans des proportions moindres, continue à augmenter jusqu'à la chute des cotylédons (*fig. 55*).

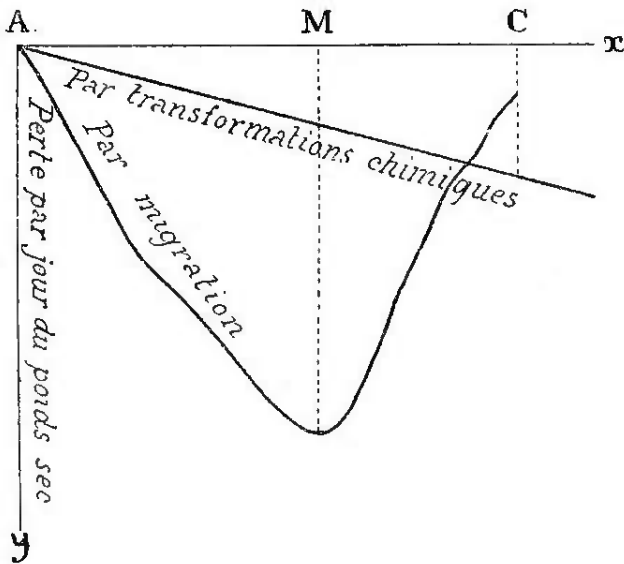


FIG. 36. — Courbe des variations de poids sec des cotylédons du Lupin. La perte de poids sec, par jour, due aux transformations chimiques augmente légèrement et depuis le début de la germination jusqu'à la chute des cotylédons.

La perte de poids sec, par jour, due à la migration des substances vers les autres parties de la plante, passe par un maximum M et diminue progressivement jusqu'à la chute des cotylédons. (Extrait de la *Revue générale de Botanique*, 1889.)

La proportion d'eau devient de plus en plus forte ; en d'autres termes, la racine gagne plus rapidement encore en eau qu'en substance sèche.

L'accroissement en poids sec de l'axe hypocotylé, après

avoir diminué, s'arrête ; la quantité d'eau, au contraire, augmente constamment. Enfin, la tige gagne sans cesse en substance sèche, et dans des proportions plus grandes en eau.

Pendant tout ce temps, les cotylédons diminuent de poids sec, tandis que la quantité d'eau qu'ils renferment varie peu, et même tend à augmenter.

La perte de substance des cotylédons est due :

1° A des transformations chimiques ; cette perte, dans de très faibles proportions d'ailleurs, augmente avec le développement ;

2° A une migration de matières vers les autres parties de la plante ; cette perte, très grande pendant la germination, plus grande encore au moment où les premières feuilles se développent, va ensuite en diminuant jusqu'à la chute des cotylédons (*fig.* 36).

c) TROISIÈME PÉRIODE. — Les cotylédons viennent de tomber. Le poids sec de la plante s'accroît de plus en plus, jusqu'à la floraison. Aussitôt que les cotylédons tombent, la substance sèche de l'axe diminue brusquement presque de la moitié, ce qui prouve encore une relation étroite entre l'axe hypocotylé et les cotylédons. En même temps, le gain par jour des racines, qui, jusqu'alors, s'était sans cesse élevé, s'abaisse momentanément. Dans la tige et les feuilles, au contraire, il se produit une forte augmentation de gain. Il y a donc eu, selon toute vraisemblance, migration de matières du bas de la plante vers le haut.

Dans les racines et dans l'axe hypocotylé, la proportion d'eau atteint à cette époque un maximum ; elle diminue, par contre dans la tige et les feuilles. D'une façon générale, d'ailleurs, quand il survient dans un organe

une diminution ou une augmentation brusque de substance sèche, la diminution ou l'augmentation correspondante d'eau n'est pas aussi rapide; le rapport primitif du poids d'eau au poids sec ne se rétablit que peu après.

Quand les phénomènes précédents se sont produits, la racine et la tige continuent à s'accroître en poids jusqu'à la floraison. Dans l'axe hypocotylé, la quantité de substance sèche reste sensiblement la même, mais la proportion d'eau diminue sans cesse. Dans les racines et la tige, cette proportion d'eau, après être redevenue à peu près la même qu'avant la chute des cotylédons, augmente, mais très faiblement, jusqu'au début de la floraison.

d) QUATRIÈME PÉRIODE. — Les fleurs apparaissent. Les substances minérales qui sont entrées abondamment dans la plante depuis la chute des cotylédons, et dont l'absorption a atteint son maximum un peu avant la floraison, n'augmentent qu'en faible quantité dans la plante, pendant que les fleurs se développent. Les racines éprouvent à cette époque une diminution non seulement du gain, mais de leur poids même de substance sèche. Il y a donc nouvelle migration de matières vers le haut de la plante. On n'observe cependant pas ici dans la tige d'excès de gain correspondant. Souvent même la totalité de la plante, loin de s'accroître en poids, semble éprouver une diminution dans sa quantité de substance sèche. Cette perte de poids ne peut être due qu'à une forte respiration des fleurs en voie de développement, et la supposition est d'autant plus légitime que, comme le montre l'analyse, le gain en carbone à cette époque passe par un minimum. Dans tous ces cas, l'eau suit encore les variations de la substance sèche, mais toujours dans des

proportions différentes, augmentant plus rapidement, et diminuant moins rapidement que celle-ci.

e) CINQUIÈME PÉRIODE. — C'est la fin de la floraison et le commencement de la maturation.

Dans la racine, la tige et les feuilles il y a accroissement considérable de poids sec. L'absorption des substances minérales est très active. L'accroissement de la quantité d'eau est maintenant moins rapide que celui de la substance sèche (*fig. 35*).

Pendant la maturation les phénomènes sont différents suivant les plantes, et se compliquent souvent du développement de nouveaux organes végétatifs et floraux.

2. **Accroissement et maturation.** — La maturation consiste essentiellement dans le transport des principes élaborés par les feuilles jusque dans les ovules fécondés. Ces principes s'accumulent au voisinage de l'embryon pour assurer la perpétuité de l'espèce.

A. *Développement général de la plante herbacée.* — D'après M. Dehérain, la vie de la plante herbacée peut être divisée en trois parties :

PREMIER ÂGE. — *Prédominance de la racine.* — Les principes qui tirent leur origine de la racine sont abondants dans le premier âge. C'est ainsi qu'on trouve les matières azotées et les cendres dans la proportion de  $\frac{1}{5}$  du poids sec.

Les jeunes plantes sont donc riches en azote. Elles sont riches aussi en *gommes tannins*, précipitables par le sous-acétate de plomb (1<sup>g</sup> pour 100). Les hydrates de carbone sont en faible proportion.

DEUXIÈME ÂGE. — *Prédominance de la feuille.* — Les hydrates de carbone sont produits en grande quantité, leur élaboration est rapide.



TROISIÈME AGE. — *Floraison et maturation.* — La fécondation est le signal de la migration des réserves.

*B. Changements qui surviennent dans le poids de la matière sèche.* — Le protoplasme se dissout et voyage. La cellule cesse de fonctionner. La migration des principes azotés produit donc la mort des cellules, l'affaiblissement de la plante et une perte de poids.

Les plantes annuelles peuvent se comporter de trois façons :

1° Plantes qui diminuent de poids aussitôt après la floraison et dépérissent ;

2° Plantes qui éprouvent un affaiblissement pendant la floraison et conservent pendant la maturation une recrudescence de végétation ;

3° Plantes qui continuent à augmenter de poids pendant qu'elles mûrissent leurs graines : blé, etc...

Il y a souvent un affaiblissement final du poids (Is. Pierre, Boussingault).

Si on laisse sur pied les plantes mûres, le dépérissement est rapide et les pertes de la plante sont énormes.

#### § 4. — MIGRATION DES PRINCIPES IMMÉDIATS

La migration des principes immédiats comprend deux phénomènes successifs :

1° La dissolution des principes et leur passage de l'état insoluble ou colloïdal à l'état soluble dialysable ;

2° Le transport de ces principes jusqu'aux organes où ils doivent séjourner, pour assurer l'alimentation de l'embryon (graine), du bourgeon (rameau ou tubercule), des tiges de deuxième année dans les racines bisannuelles.

**1. Dissolution des principes élaborés.** — La dissolution des principes élaborés a lieu à la suite de métamorphoses

régressives. Les feuilles sont des laboratoires et des magasins de réserves transitoires; ce sont donc, comme dans la graine, les mêmes transformations chimiques qui s'opéreront pour assurer la migration des substances. C'est ainsi qu'on peut par l'analyse suivre la migration de l'acide phosphorique ou de la potasse (Is. Pierre), de l'asparagine et du sucre, dans la plante.

Tous ces principes passent successivement des feuilles inférieures aux feuilles supérieures et à la graine.

**2. Mécanisme de la migration.** — *a) Influence de la dessiccation* <sup>1</sup> — Les feuilles du bas se séchent; comme elles évaporent moins bien que les jeunes, leur dessiccation subsiste, parce que l'eau y arrive plus difficilement. Les matières dissoutes sont donc en solutions plus concentrées dans les vieilles feuilles que dans les jeunes et, par suite, les principes dissous doivent s'acheminer vers les feuilles supérieures.

Si l'eau ne fait pas défaut, les vieilles feuilles continuent à assimiler et les plantes grandissent beaucoup. Si au contraire il y a manque d'eau, les feuilles cessent trop tôt de fonctionner et le rendement total est inférieur.

*b) Influence des précipitations.* — Accumulation des réserves insolubles.

La *précipitation*, dans les ovules, du sucre à l'état d'amidon, des albuminoïdes à l'état de gluten, produit un appel de ces substances pour rétablir l'équilibre de concentration.

Si on supprime les ovules, on supprime la migration et il se produit souvent un reflux de toutes les substances vers le collet où naissent de nouveaux rameaux.

<sup>1</sup> DEHÉRAIN, *Comptes rendus Ac. sc.*

Un arrosage constant empêche la dessiccation de la tige et arrête la migration vers les ovules.

L'accumulation des albuminoïdes et celle de l'amidon sont indépendantes l'une de l'autre. L'une peut réussir et l'autre manquer.

c) *Accumulation des réserves solubles.* — La combinaison d'un *crystalloïde* avec un *colloïde* équivaut à l'insolubilité pour déterminer les mouvements de diffusion.

3. **Dissolvants des principes immédiats dans les végétaux.** — Les matières dissoutes cheminent indépendamment du mouvement du dissolvant, mais ce dernier est toujours un véhicule nécessaire qui permet le transport.

Les dissolvants des principes chimiques qui circulent dans la plante peuvent être rangés sous trois dénominations :

- 1° Le suc cellulaire ;
- 2° La sève ;
- 3° Les latex.

A. *Suc cellulaire.* — Dans les échanges osmotiques de cellule à cellule, c'est lui qui est le véhicule ordinaire ; mais le protoplasma, qui est immédiatement en contact avec les membranes, joue aussi le même rôle, surtout chez les cellules jeunes.

B. *Sève.* — On est convenu d'appeler *sève brute* le liquide qui arrive des poils radicaux pour passer dans le système conducteur de la tige. Ce liquide, qui est primitivement très aqueux, produit par son courant régulier de bas en haut un appel des autres liquides plus denses qui avoisinent les vaisseaux. Il s'enrichit donc peu à peu à mesure qu'il circule dans la plante ; quand il arrive dans la feuille où s'élaborent les principes immédiats, ceux-ci en se dissolvant le transforment en un liquide

nourricier qui est la *sève élaborée* des anciens auteurs.

Celle-ci a pour fonction de nourrir tout l'organisme et de transporter suivant les besoins des *réserves* qui alimentent les zones en voie d'accroissement ou s'emmagasinent dans des organes spéciaux où elles attendent un emploi ultérieur.

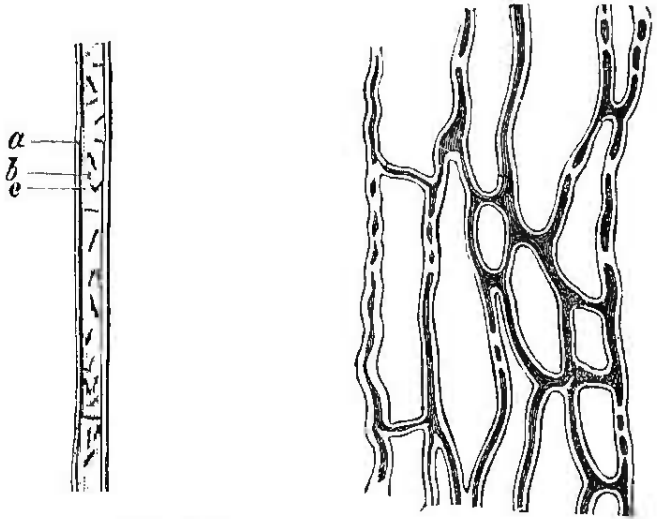


FIG. 37. — Vaisseau laticifère simple:  
a, paroi très épaisse; b, liquide intérieur;  
c, bâtonnet tenu en suspension.

FIG. 38. — Vaisseau laticifère anastomosé.

*C. Latex.* — Il existe dans la plante un tissu spécial dit « sécréteur » dont les cellules à membranés minces emmagasinent de bonne heure des produits spéciaux très variés, qui résultent de leur activité propre et de l'activité des cellules voisines (acides, tannins, mucilages, gommés...). C'est l'émulsion laiteuse de ces diverses substances qui constitue le *latex*.

Les cellules laticifères peuvent présenter des formes et des assemblages très variés, mais constituent toujours un appareil spécial de nutrition (*fig. 37 et 38*), dont le rôle dans la circulation des produits chimiques est très cou-

sidérable. Le tissu sécréteur sous diverses formes (*fig. 39* et *40*) est particulièrement bien représenté chez les

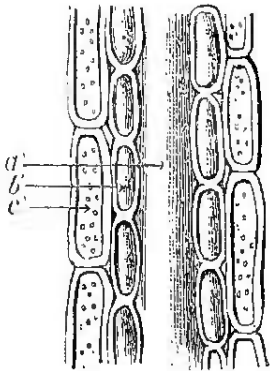
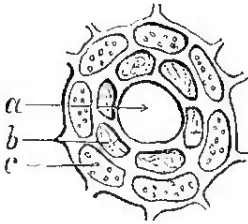


FIG. 39. — *a*, canal résinifère de conifère où viennent s'accumuler les produits de sécrétion des cellules environnantes; *b*, *b'*, *c*, *c'*, cellules normales.

Conifères, Aroïdées, Labiées, Ombellifères, Papavéracées, Euphorbiacées et Composées. Les différenciations très variées qu'on trouve dans cet appareil chez les familles précitées ne sont dans tous les cas que les manifestations diverses d'un seul et même phénomène.

4. Phénomènes généraux de migration. — Le transport des

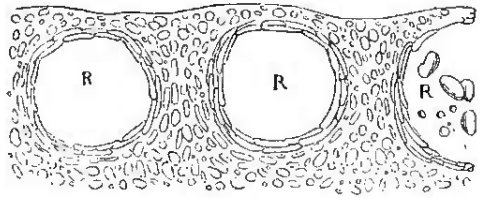
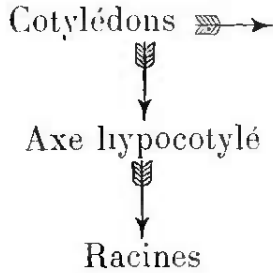


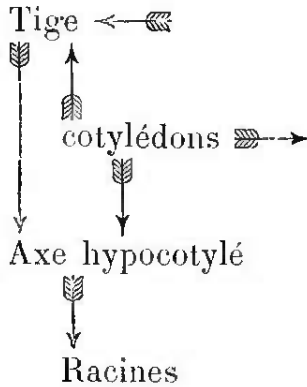
FIG. 40. — Coupe d'une écorce; R, réservoirs d'huile volatile.

matières dans les différents membres de la plante a été l'objet d'un travail des plus concluants de la part de M. Jumelle.

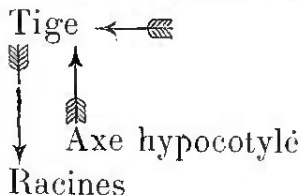
Il y a d'abord simple migration de matières des cotylédons vers les parties hypocotylées. C'est la période germinative, pendant laquelle la plante, non seulement n'assimile pas (car la quantité de sels introduits par la racine est négligeable), mais perd de sa substance sèche par transformation chimique; ce que nous pouvons indiquer par le schéma suivant où les flèches montrent dans quel sens se fait le transport des substances :



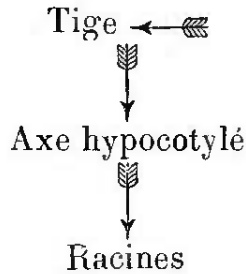
Après la chute des téguments l'assimilation commence. Les cotylédons abandonnent encore une partie de leur substance aux parties hypocotylées et, de plus, aux parties épicotylées qui se développent. Du carbone s'introduit dans la plante par assimilation chlorophyllienne (*fig. 36*). En même temps que la première migration, il s'en produit alors une seconde, du haut de la plante vers le bas ; ce qu'indique encore le schéma suivant :



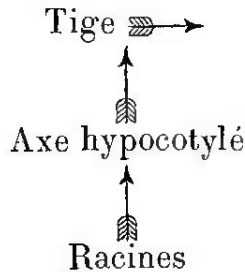
Les cotylédons tombent ; la première migration se trouve ainsi supprimée. Il y a, au moment de cette chute des cotylédons, transport rapide de substance de l'axe hypocotylé vers le haut de la plante :



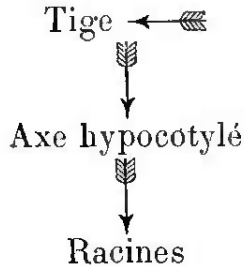
Cette dernière migration n'est que momentanée ; il n'y a plus ensuite, jusqu'à la floraison, qu'un courant de matières allant des parties supérieures de la plante vers les parties inférieures :



Pendant tout ce temps, les feuilles empruntent à l'extérieur plus de carbone qu'elles n'en perdent. Quand les fleurs apparaissent, l'acide carbonique rejeté par la plante augmente. La perte tend à annuler le gain, quelquefois à le surpasser. Il y a alors appel de substances du bas de la plante vers le haut ; le sens de la migration change donc de nouveau, sous l'influence d'une forte dépense de la plante.



Enfin, quand les fleurs sont développées et quand la maturation commence, les substances cheminent de nouveau du haut de la plante vers le bas.



En outre, depuis la fin de la période germinative il y a migration bien plus faible, mais continuelle de substances minérales, allant des racines vers le sommet de la plante. Cette migration s'accroît surtout dans la période précédant la floraison et au début de la maturation. Elle paraît plus faible pendant la floraison.

Toutes ces données, empruntées au travail de M. Jumelle, sont désormais entrées dans la science. M. Gaston Bonnier les a rendues classiques en les professant dans ses cours à la Sorbonne.

**5. Cycle évolutif.** -- Toutes les plantes qui ne durent qu'une année ont une évolution continue que nous venons de décrire.

Toutes les réactions internes sont combinées en vue de la graine.

Toutes les fois, au contraire, que la durée dépasse une année (plantes vivaces), la marche du développement est discontinue.

Il y a alternance d'activité et de repos.

Pendant la première phase les métamorphoses régressives et progressives se succèdent. Les réserves accumulées sont consommées, et de nouvelles réserves sont produites.

Pendant la seconde phase c'est une sorte de vie latente où l'organisme subit une lutte interne entre ses divers



éléments. C'est une vie ralentie ; comme chez la graine, il y a lutte entre les leucites ou plastides et les enzymes ou diastases.

Le rôle de ces deux agents, qui à eux seuls produisent presque tout le travail interne, est totalement contraire.

C'est grâce à cet antagonisme du reste que se produisent les transformations successives et perpétuelles que nous observons dans les formes de la matière.

Pendant la vie latente les enzymes, substances chimiques, sont immuables, les plastides, substances organisées, subissent une pérennité fatale : ils se fatiguent en vieillissant.

Ainsi dans le tubercule au repos, par exemple, la lutte reste égale pendant un certain temps. Puis les enzymes prennent le dessus avec l'affaiblissement des plastides ; les bourgeons se développent, les réserves sont détruites, et la période d'activité est rendue à la plante.

---

## DEUXIÈME PARTIE

### LA COMPOSITION CHIMIQUE DES VÉGÉTAUX

---

La technique de l'analyse qualitative et quantitative des végétaux est difficile et longue.

Le nombre des plantes est, en effet, considérable, et leurs principes constitutifs sont aussi très variés.

Chaque jour, des études nouvelles amènent du reste la découverte de corps nouveaux.

Un autre inconvénient de ce genre de recherche, c'est la décomposition rapide des principes organiques et leurs transformations faciles sous l'influence d'agents variés.

A côté de l'étude des procédés techniques d'analyse, on peut faire, indépendamment de ces derniers, une description chimique de la plante en la considérant comme un corps de structure chimique complexe dont nous essayerons de donner les grandes lignes.

---

#### CHAPITRE I

#### ANALYSE CHIMIQUE DE LA PLANTE

Au point de vue chimique, les végétaux peuvent être étudiés par deux méthodes :

1° Si l'on veut se rendre compte de leur composition

élémentaire, c'est-à-dire des corps simples qui entrent dans leur constitution, on fait ce qu'on appelle l'analyse *élémentaire* organique et l'analyse des principes minéraux ;

2° Si l'on tient à connaître la nature et la quantité des différents principes immédiats, on fait l'analyse *immédiate*, qui porte sur tous les corps complexes qui ont une existence propre dans l'organisme végétal. C'est la plus importante au point de vue de la physiologie.

La plante adulte comprend différentes parties : racines, tiges, feuilles, fruits, graines.

Qu'il s'agisse d'une seule de ces parties ou de la plante entière, on a immédiatement à tenir compte de l'eau qui imprègne tous les tissus et forme souvent la partie principale du poids de la plante fraîche dit : *poids frais*.

Si l'on soumet le végétal à une dessiccation lente dans une étuve qu'on porte à 110 degrés, l'eau s'évapore rapidement et, au bout d'un certain temps, qui peut être très long pour des tissus très compacts, on voit le poids rester stationnaire. La balance donne alors le *poids sec* de la plante.

Les plantes herbacées très riches en sucres, les tubercules, les plantes grasses peuvent renfermer ainsi seulement 2 à 10 pour 100 de poids sec, le reste est de l'eau.

A l'analyse on a par exemple :

Poids frais.....	70
Poids sec.....	30
	<hr/>
Total.....	100
	<hr/> <hr/>

Le poids sec est formé par des substances organiques et des substances minérales.

Une calcination lente, à basse température et au contact de l'air, détruit, on le sait, les matières organiques en dégageant de l'eau et de l'acide carbonique par oxydation du carbone.

Il reste alors toutes les substances minérales (cendres).

La température ayant été maintenue au-dessous du rouge sombre, les chlorures n'ont pas été volatilisés, et l'on obtient toute la partie minérale de la plante. On a :

$$\text{cendres} = p.$$

Par différence on en déduit :

Poids sec — cendres = matière organique ( $p'$ ) :

$$P_s - p = p'$$

$$P_s = p + p'$$

#### § 4. — ANALYSE ÉLÉMENTAIRE

Dans l'analyse élémentaire on calcule la proportion centésimale des quatre éléments organiques, carbone, hydrogène, oxygène, azote, et les différents éléments minéraux qui composent les cendres.

1° L'azote est dosé séparément en mesurant la quantité d'ammoniaque formée quand on chauffe la matière organique au contact de la chaux sodée.

Du poids ou du volume de  $AzH^3$  on déduit Az.

2° Dans une deuxième opération on incinère un poids ( $p'$ ) de matière organique dans un courant d'oxygène, et on pèse l'acide carbonique et l'eau formés, en recueillant ces deux corps par des substances appropriées (potasse, chlorure de calcium, acide sulfurique).

On déduit de  $CO^2$  la valeur de C, et de  $H^2O$  la valeur de H.

Par différence, on trouve la valeur de l'oxygène.

En effet :  $p' = C + H + O + Az.$

D'où :  $O = p' - (C + H + Az).$

Les cendres renferment les autres éléments.

Ceux-ci sont analysés qualitativement et quantitativement, par des procédés variés que fournit la chimie analytique générale.

## § 2. — ANALYSE IMMÉDIATE

Elle consiste à évaluer numériquement les différentes substances organiques ou principes immédiats qui par leur réunion constituent la partie organique du végétal. Ces corps sont :

Soit binaires (hydrocarbures) ;

Soit ternaires (hydrates de carbone, corps gras, résines, gommés, etc.) ;

Soit quaternaires (alcaloïdes, corps amidés, albuminoïdes).

Pour les doser quantitativement on a recours <sup>1</sup> à trois procédés généraux :

a) On cherche à isoler le corps en question par un dissolvant approprié et élimination des autres corps. Pour cela on se base sur les propriétés chimiques de ces corps.

La balance donne le poids du corps si on peut évaporer le dissolvant sans altérer la substance dissoute, ou bien on l'obtient par un dosage alcalimétrique, ou acidimétrique, ou colorimétrique comparé.

<sup>1</sup> L'analyse chimique des végétaux est exposée dans tous ses détails dans l'*Encyclopédie chimique*. Voyez DRAGENDORFF : *Analyse des végétaux*, traduit par SCHLAGDENHAUFFEN. — MUNTZ, *Analyse chimique des produits agricoles*.

Voyez aussi : GRANDEAU, *Chimie des produits agricoles*.

b) Le corps ne pouvant pas être facilement isolé, on dose les autres substances séparément par la méthode *a* et l'on en déduit le corps cherché par différence.

c) Pour les différentes catégories de matières albuminoïdes on peut se contenter de doser l'azote, qui permet de calculer ainsi la quantité approchée de protéines, caséines, légumineuses, etc.

Quand on veut faire l'analyse d'une substance dans ses détails, on est ainsi amené à effectuer les opérations suivantes :

- 1° Détermination du poids sec ;
  - 2° Dosage des cendres ;
  - 3° Recherche des matières solubles dans l'éther de pétrole (*huiles essentielles, corps gras, cire, etc.*) ;
  - 4° Recherche des substances solubles dans l'éther (*résines et leurs congénères*) ;
  - 5° Recherche des substances solubles dans l'alcool absolu (*résines, principes amers, alcaloïdes, tannins, glucoses*) ;
  - 6° Recherche des substances solubles dans l'eau (*principes pectiques, acides, glucoses, saccharoses, hydrates de carbone, matières albuminoïdes*) ;
  - 7° Recherche des substances solubles dans la soude caustique diluée (*acide métarabique, matières albuminoïdes, phlobaphènes*) ;
  - 8° Recherche des principes solubles dans l'acide chlorhydrique étendu (*amidon, pararabine, oxalate de chaux*) ;
  - 9° Substances insolubles dans les acides et les alcalis (*ligneux, celluloses*).
-

## CHAPITRE II

ÉTUDE DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX  
DES VÉGÉTAUX

## § 1. — COMPOSITION DES CENDRES

Tous les métalloïdes, sauf le bore, le sélénium, le tellure, l'arsenic, ont été observés à l'état de combinaison dans les végétaux.

Les métaux qu'on y a rencontrés sont : le potassium, le sodium, le lithium, le rubidium, le calcium, le magnésium, le baryum, le strontium, le manganèse, le fer, l'aluminium, le zinc, le cuivre, le plomb, le nickel, le cobalt, etc.

Les métalloïdes y sont en général sous la forme d'acides ordinairement unis aux bases alcalines.

Les principaux acides sont :

1° L'*acide carbonique*, sous forme de carbonate de chaux ou de carbonate de potasse ;

2° L'*acide silicique* ou silice, qui est un élément très commun dans les cendres et se trouve surtout abondant dans la paille des céréales. Les cendres du blé en renferment 70 pour 100. Elle peut former des concrétions, comme chez le bambou de l'Inde.

La silice imprègne souvent les membranes des cellules et en forme comme le squelette. Les Graminées et les Fougères en renferment 40-50 pour 100 des cendres, les Ericinées 48 pour 100, etc.

3° L'*acide phosphorique* existe surtout dans la souche des arbres ou dans les graines sous forme de phos-

phates. On en trouve de 4 à 8 pour 100 en moyenne, sauf chez les familles suivantes :

Crucifères.....	14	pour 100
Caryophyllées.....	9,5	—
Légumineuses.....	10,3	—
Rosacées.....	9,7	—
Composées.....	9,64	—
Personnées.....	10,11	—
Euphorbiacées.....	9,83	—
Orchidées.....	9,55	—
Joncées.....	9,25	—

4° L'*acide sulfurique*, enfin, qui se trouve à l'état de sulfate, mais en petite quantité.

Parmi les bases notons :

1° La *potasse*, très fréquente chez les plantes terrestres. On en rencontre jusque 20 pour 100 des cendres chez les Crassulacées, Ericinées, Rosacées ; de 38 à 50 pour 100 chez les Renoneulacées, Résédacées, Caryophyllées, Borraginées, Solanées, Liliacées ;

2° La *soude*, abondante surtout dans la famille des Chenopodées et chez les plantes marines ;

3° La *magnésie*, qui existe chez presque tous les végétaux ;

4° La *lithine*, qui n'est qu'accidentelle et dont l'action est vénéneuse ;

5° L'*oxyde de manganèse*, qui colore les cendres en bleu par suite de la formation du manganate de potasse ;

6° L'*oxyde de fer*, qui est aussi très fréquent. Son absence provoque chez les plantes la chlorose.

7° L'*oxyde de zinc*, qui a été signalé par Sachs.

8° La *chaux*, qui, bien que très abondante, joue dans la végétation un rôle obscur. Elle varie en raison inverse des alcalis et de la silice.



Son abondance dans certains terrains empêche le développement de certaines espèces dont cependant les cendres en contiennent beaucoup normalement (plantes calcifuges).

Ajoutons que la composition des cendres varie avec la nature du sol sur lequel les plantes se sont développées.

On trouve en outre dans les végétaux :

1° Des chlorures <sup>1</sup> qui sont en quantité notable dans les plantes marines.

La tige du *Glaucum flavum* en possède 32 pour 100 des cendres.

Les plantes marines ou littorales cultivées loin du rivage modifient, du reste, leur composition, ce qui indique que le chlore joue un rôle peu important.

C'est ainsi que le *Crambe maritima*, cultivé par M. Cloëz, à Paris, a donné comme cendres :

	Bord de la mer	A Paris
Chlorure de sodium.....	49,6	7,9
— de potassium.....	26,2	8,3
Sulfate de potasse.....	20,1	78
— de chaux.....	3,2	4,8

La proportion de chlore est de 4 à 8 pour 100 et peut atteindre rarement 20 pour 100 des cendres. On en rencontre : 11 pour 100 dans les Crucifères ; 8 à 20 pour 100 dans les Primulacées ; 8 à 21 pour 100 dans les Joncées ; 8 à 12 pour 100 dans les Graminées.

2° De l'iode et du brome, surtout abondants dans les cendres des plantes marines.

Le *Fucus digitatus* renferme dans ses cendres d'après M. Marchand :

<sup>1</sup> Pour l'action des chlorures sur la végétation, voyez P. LESAGE, Thèse de doctorat, 1889.

Iode .....	9,54 pour 100
Brome .....	1,38 —

Boussingault a donné de nombreuses analyses de plantes. Le tableau ci-contre (p. 239), que nous lui empruntons, donnera une idée de la composition des cendres de quelques végétaux.

Parmi les éléments accessoires citons seulement les quelques faits suivants :

M. Rochleder a signalé l'*aluminium* dans les cendres des Lycopodiacées.

Le *cuivre* a été trouvé, par M. Commaille, dans les cendres de l'Oranger, du Pin et du Hêtre; dans le Mûrier, le Chêne, le Tilleul, le Platane, le Blé, le Trèfle, la Carotte, la Laitue, le *Sisymbrium officinale*, le *Polygonum aviculare* (Wicke), enfin dans les graines de Froment et de Seigle (Meyer). M. Grandeau l'a également décelé dans diverses cendres par la méthode de l'analyse spectrale.

Le *manganèse*<sup>1</sup> est très répandu dans les graines (blé, orge), dans les arbres et surtout chez les plantes aquatiques (*Nymphaea*, *Hydrocharis*).

On rencontre le *zinc* dans les plantes qui croissent sur un terrain qui en renferme (*Viola calaminaria*, *Thlaspi calaminarium*, Chêne, Bouleau, Hêtre, Pin, *Armeria vulgaris*, *Silene inflata*, et en petite quantité dans la plupart des végétaux<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Des cultures expérimentales sont en voie d'exécution au Laboratoire de Biologie végétale de Fontainebleau en vue de déterminer l'influence du manganèse sur la végétation, ainsi que l'action des engrais fluorés.

<sup>2</sup> Voyez RAULIN, *Recherches chimiques sur la végétation*. (An. sc. nat., 1890.)

Désignation des végétaux	Cendres pour 100 du poids sec	100 de cendres contiennent								
		CO <sub>2</sub>	Acide sulfurique	Acide phosphorique	Chlore	Chaux	Magnésie	Potasse	Soude	Silice
Pommes de terre .....	4	13,4	7,1	11,3	2,7	4,8	5,4	51,5	traces	5,6
Betteraves.....	6,3	16,1	4,6	6,0	5,2	7,0	4,4	39,0	6,0	8,0
Navets.....	7,6	14,0	10,9	6,1	2,9	10,9	4,3	33,7	4,1	6,4
Topinambours.....	6	11,0	2,2	10,8	1,6	2,3	1,8	44,5	traces	13,0
Froment .....	2,4	»	1	47,0	traces	2,9	15,9	39,5	traces	1,3
Paille de froment.....	7	»	1	3,1	0,6	8,5	5,0	9,2	0,3	67,6
Avoine.....	4	1,7	4	14,9	0,5	3,7	7,7	12,9	0	53,3
Paille d'avoine .....	5,4	3,2	4,1	3,0	4,7	8,3	2,8	24,5	4,4	40,0
Tréfle.....	7,7	25	2,5	6,3	2,6	24,6	6,3	26,6	0,5	5,3
Pois.....	3,1	0,5	4,7	30,1	1,1	10,1	11,9	35,3	2,5	1,5
Haricots.....	3,5	3,3	1,3	26,8	0,1	5,8	11,5	49,1	»	1,0
Fèves .....	3,0	1,0	1,6	34,2	0,7	5,1	8,6	45,2	»	0,5

Par l'analyse spectrale, Bunsen a signalé le *lithium* dans les cendres d'un grand nombre de plantes, dans tous les bois de l'Odenwald, dans les céréales du Palatinat, dans le Tabac, la Vigne, etc...

M. Grandeau a trouvé le *rubidium* dans les cendres du Tabac, du Café, de la Betterave <sup>1</sup>

D'après Forchhamer, les *Fucus vesiculosus* et *Zostera marina* contiennent en outre du zinc, du bore, du nickel et du cobalt; le *Fucus* renferme de plus du *baryum* et du *strontium*.

Nous donnons ici, d'après les nombreuses analyses de cendres végétales, faites par Malagutti, quelques renseignements sur les particularités que présentent les principales familles au point de vue de leur teneur en substances minérales. (Voir ci-contre, p. 241.)

## § 2. — RÉPARTITION DES SUBSTANCES MINÉRALES

Les substances minérales ne se trouvent pas également réparties dans le végétal. Aussi est-il nécessaire d'étudier chaque membre séparément : feuille, tige, racine.

*A. Feuilles.* — De Saussure a trouvé que, dans les feuilles, la quantité de cendres augmente avec l'âge des organes incinérés.

Dans un Orme la plus vieille feuille en renferme jusqu'à 16 pour 100 de son poids sec, la plus jeune en contient seulement 9<sup>3</sup> pour 100. Le tableau suivant résume, du reste, quelques faits qui confirment cette loi.

<sup>1</sup> GRANDEAU, *An. phys. et chim.*, 1863, t. LXVII.

	Potasse	Magnésie	Chaux	Soude	Acide phosphorique	Chlore	Silice	Acide sulfurique
Renonculacées <sup>1</sup> .....	+ ou — r.		+ ou — r.	r.	a. r.		m. r.	
Crucifères.....	+ ou — r.		+ ou — r.		t. r.	r.	m. r.	r.
Caryophyllées.....		a. r.	v.		r.		p. r.	t. r.
Résédacées.....			v.				a. r.	
Légumineuses vivaces ..	r.	r.	p. r.	r.	r.		p. r.	r.
Légumineuses herbacées...	r. en bases		r.		p. r.		r.	
Rosacées herbacées .....	r. —	a. r.	r.		a. r.			
Ombellifères.....	r. —		t. r.		a. r.		p. r.	
Crassulacées .....	r.	p. r.	a. r.		p. r.	a. r.	r.	
Rubiacées.....								
Composées.....	a. r.	a. r.		a. r.	a. r.		p. r.	
Dipsacées.....	a. r.						r.	
Ericinées.....	p. r.		p. r.	r.	p. r.	p. r.	p. r.	r.
Borraginées.....	r.	r.	p. r.				p. r.	
Solanées.....	r.		p. r.	p. r.			a. r.	
Primulacées.....	r.						a. r.	
Personnées.....	m. r.	r.	m. r.		r.	r.	r.	
Labiées.....	m. r.		m. r.		m. r.		r.	
Polygonées.....	a. r.		— ou — r.		r.		p. r.	a. r.
Euphorbiacées.....	a. r.		— ou — r.		r.		m. r.	r.
Orchidées.....			m. r.		r.		a. r.	
Liliacées.....	t. r.		p. r.				m. r.	
Joncées.....	t. r.		p. r.		r.	r.	p. r.	
Cypéracées.....	t. r.		tr. p. r.				r.	
Graminées.....			tr. p. r.				t. r.	
Fougères.....	m. r.		pauvre				t. r.	p. r.

<sup>1</sup> Signes conventionnels : (t. r.) très riche, (r.) riche, (a. r.) assez riche, (p. r.) peu riche, (m. r.) moyennement riche, (v.) variable.

Feuilles	Cendres contenues dans les vieilles feuilles pour 100 du poids sec		Cendres contenues dans les jeunes feuilles pour 100 du poids sec	
Orme .....	16	pour 100	9,5	pour 100
Abricotier ...	14,7	—	7,6	—
Hêtre .....	9	—	5	—
Pin noir.....	(à 4 ans) 4,55	—	(à 1 an) 1,9	—

*B. Racines.* — On trouve proportionnellement moins de cendres dans les racines que dans les tiges et les feuilles. Ainsi, d'après Johnson, on trouve pour 1 kilogramme de matière sèche les nombres suivants :

	Racines	Feuilles
Turneps .....	80 grammes	130 grammes
Pomme de terre..	40 —	180 —
Tabac .....	70 —	230 —

*C. Tiges herbacées et ligneuses.* — On peut dire, en général, que plus les organes évaporent d'eau, plus est grande la quantité de substances minérales qu'ils contiennent.

Ainsi les herbes en contiennent plus que les arbres, les parties herbacées plus que les parties ligneuses. Le tableau suivant permet d'en juger <sup>1</sup> :

100 parties de végétaux desséchés contiennent :

Arbres		Herbes	
Peuplier.....	0,20	Foin .....	3,70
Sapin .....	0,83	Lin .....	4,10
Bouleau.....	1,00	Pois .....	8,10
Noisetier.....	1,57	Vesces .....	10,10
Sureau .....	1,60	Tabac.....	18,67

<sup>1</sup> G. VILLE, *Conférences.*

De même, dans les plantes ligneuses, les feuilles contiennent plus de minéraux que l'écorce, l'écorce en contient plus que l'aubier, et l'aubier plus que le bois. Voici un tableau de ces différences :

	Minéraux dans 100 parties sèches			
	De bois	D'aubier	D'écorce	De feuilles
Mûrier .....	0,70	4,30	8,90	15,10
Peuplier.....	0,80	»	7,20	14,00
Noisetier .....	0,50	»	6,50	13,50
Chêne.....	0,20	4	6	»
Moyenne.....	0,55	2,65	7,17	14,10

Enfin, dans le fruit on trouve plus de principes minéraux que dans la graine, et dans le tégument de la graine plus que dans l'amande :

	Minéraux dans 100 p.			Minéraux dans 100 p.	
	Gousses	Graines		Tégument	Amande
Haricots....	6,70	3,30	Froment ....	5,30	0,60
Pois.....	5,50	3,20	Orge.....	2,74	0,60
Fèves .....	5,06	3,15	Seigle.....	4,50	2

*D. Plantes entières.* — Si l'on dose les cendres à différents moments de la végétation, on voit la proportion relative diminuer parce que l'élaboration de la matière

organique combustible croît plus vite que l'assimilation des matières minérales.

Ainsi *Sinapis alba* contient dans sa matière sèche, en mai, 24 pour 100 de cendres et, en juillet, 41 pour 100, ce qui correspond à environ 2 pour 100 du poids frais.

Au point de vue de la répartition dans la plante entière, le tableau suivant, relatif à l'Orge, va nous permettre de tirer quelques conclusions :

Éléments minéraux	Minéraux contenus dans 100 parties de cendres de				
	Racines	Paille	Balles	Graines	
Acide phosphorique.....	3,86	5,77	3,57	35,66	Éléments fertilisants
Magnésic .....	2,86	3,70	4,60	7,64	
Potasse.....	8,40	16,20	7,89	31,85	
Chaux.....	4,42	9,91	3,33	1,76	
Soude.....	4,26	7,35	1,19	1,97	Éléments accessoirs
Oxyde de fer ...	2,94 <sup>1</sup>	0,33	0,31	0,31	
Acide sulfurique ..	5,38	6,10	2,16	0,36	
Chlore .....	0,32	1,93	0,68	Traces	
Silice.....	12,06	11,94	24,35	8,20	
Sable et silice insoluble .	54,90	30,80	51,73	11,74	

Cette composition est prise comme type, et les céréales et légumineuses, par exemple, ne s'en éloignent guère.

Relativement aux quatre premiers éléments, nous voyons donc par un simple examen que :

1° L'acide phosphorique est l'élément minéral qui domine dans les graines ;

2° La potasse est l'élément minéral qui domine dans la paille et dans la racine, et son rôle dans la graine est presque égal à celui de l'acide phosphorique ;

3° Le maximum de la magnésic est dans la graine ;

<sup>1</sup> L'oxyde de fer provient du sable resté adhérent aux racines.



- 4° Le maximum de la chaux est dans la paille ;  
 5° La racine est la partie la moins riche en éléments fertilisants ;  
 6° La graine est la partie la plus riche en éléments fertilisants.

La conclusion, au point de vue agricole, c'est que les récoltes de graines sont très épuisantes.

Ces résultats sont ceux qui sont obtenus à la fin de la végétation. Il va sans dire que, si l'on opère une récolte avant la fin du développement de la plante (Betterave, fourrages verts), la répartition des éléments est toute différente.

Ainsi la Betterave récoltée pour son sucre est déracinée bien avant d'être en graine et même en fleur ; sa composition est la suivante :

	Minéraux contenus dans 100 parties de cendres de	
	Racines	Feuilles
Acide phosphorique .....	6,86	6,60
Magnésie .....	5,92	8,92
Potasse.....	31,63	15,20
Chaux.....	7,95	11,24
Soude.....	15,01	8,25
Oxyde de fer .....	0,68	0,98
Acide sulfurique .....	2,86	2,36
Chlore.....	1,26	2,69
Silice.....	1,28	1,86
Sable et silice insoluble....	6,83	79,14

La conclusion générale, c'est que la potasse et l'acide phosphorique sont les éléments constituants les plus importants ; nous pouvons ajouter qu'ils sont les facteurs principaux du développement général des végétaux et, par suite, du rendement agricole.

Les tableaux suivants, qui relatent la répartition de ces éléments, ne peuvent que confirmer cette loi :

## RÉPARTITION DE LA POTASSE ET DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE

Plantes	Potasse			Acide phosphorique		
	Racines	Pailles	Graines	Racines	Paille	Graines
Froment .....	2,87	15,18	32,59	1,70	2,26	46
Orge.....	8,10	14,70	31,89	3,86	5,77	33,66
Pois .....	12,33	11	41,02	5,48	7,02	43,40
Féverolle .....	25,38	37,62	38,50	2,47	3	35,27
Colza .....	8,05	24,50	15,34	3,58	2,09	26,98
Coton.....	18,84	22,21	32,87	6,03	9,14	34,97

## RÉPARTITION DES PHOSPHATES ET DES ALCALIS

(D'après les analyses de BERTHIER)

Plantes	Dans 100 parties de cendres		
	Sels alcalins	Phosphates	
Maïs .....	Tiges .....	32	14,30
	Feuilles .....	34	22
	Graines.....	43	98
Seigle .....	Paille.....	26,90	9
	Graines.....	52	100
Pavots ....	Tiges .....	31	13,80
	Capsules.....	52	11,90
	Graines.....	23	78,80
Haricot....	Tiges .....	19,40	9,42
	Gousses .....	55	6,30
	Graines.....	77	85
Pin ;.....	Bois .....	7,20	11,20
	Feuilles ..	13	10,40
	Cônes vides .....	20,40	10,80
	Graines.....	20,60	70,50

1. **Nutrition minérale** — Toutes les substances minérales n'ont pas pour la plante la même importance; quelques-unes sont nécessaires à sa vie; d'autres influent sur la vitalité des tissus ou communiquent à la plante des propriétés spéciales qu'une utilisation ultérieure peut faire rechercher. Il en est, enfin, qui sont pour la plante indifférentes. Toutes les recherches sur ce sujet ont été faites au moyen des cultures en solution nutritives que nous avons exposées précédemment. On a trouvé ainsi que :

L'acide phosphorique et la potasse sont indispensables;

La chaux et la magnésie sont utiles;

La soude et la silice sont indifférentes;

La lithine est nuisible.

## 2. **Assimilation des substances minérales par les plantes.**

— L'analyse des cendres montre que les racines exercent sur les matières absorbables du sol une sélection dont nous devons chercher le mécanisme.

Les substances minérales contractent avec les principes végétaux des combinaisons régulières ou irrégulières, ou bien encore semblent déposées dans les tissus par simple évaporation de l'eau qui y a circulé.

Les bases sont ordinairement combinées à des acides organiques : acides oxalique, tartrique, citrique, malique, ou à des acides minéraux, phosphorique et azotique. Boussingault écrit dans son *Économie rurale* :

« On aperçoit une certaine relation entre la proportion d'azote et celle de l'acide phosphorique contenus dans les substances alimentaires; généralement, les plus azotées sont aussi les plus riches en acide, ce qui semble indiquer que, dans les produits de l'organisation

végétale, les phosphates appartiennent particulièrement aux principes azotés. »

Mayer, Corenwinder sont arrivés à la même conclusion :

L'azote et le phosphore sont unis dans l'organisme végétal suivant un mode de combinaison encore mystérieux.

On constate, du reste, que l'acide phosphorique au contact des albuminoïdes ne présente plus ses réactions habituelles.

Les iodures, sulfates et chlorures sont liés aux fibres végétales par simple adhérence analogue à l'action adhésive des mordants en teinture, ou encore sont dissous.

### § 3. — CORPS MINÉRAUX

Les substances minérales dans la plante vivante s'y trouvent à l'état cristallisé, ou bien sont amorphes ou dissoutes.

**1. Corps cristallisés. — Oxalates.** — Dans certaines cellules, le protoplasma produit de l'acide oxalique qui, au contact des sels solubles de chaux, forme des dépôts de cristaux d'oxalate de chaux.

L'acide oxalique est bibasique, il donne avec la potasse trois sels différents : un oxalate neutre  $C^2K^2O^4$ , un oxalate acide  $C^2KHO^4$  et un oxalate à excès d'acide désigné anciennement sous le nom de quadroxalate  $C^2KHO^4$ ,  $C^2H^2O^4$ .

Les oxalates de potasse sont très répandus dans les végétaux, ils sont solubles ; les oxalates de chaux, au contraire, sont insolubles ; on les trouve cependant dans

les plantes à l'état cristallin, soit sous forme de raphides, soit sous celles d'octaèdres aplatis ou de prismes orthorhombiques ou clinorhombiques.

Les cristaux d'oxalates sont quelquefois localisés dans une zone de cellules dites oxaligènes et qui peuvent être disposées en anneau autour du cylindre central (*Lichnis githago*).

Suivant les conditions de milieu, l'oxalate contient des quantités d'eau variables et cristallise dans des systèmes différents (système du prisme rhomboïdal oblique — système du prisme droit à base carrée).

Quand les cristallisations sont en aiguilles réunies en faisceaux, on a des *raphides* (fig. 41); elles peuvent se présenter aussi sous forme de *sphéro-cristaux*, aiguilles groupées autour d'un centre (fig. 42).

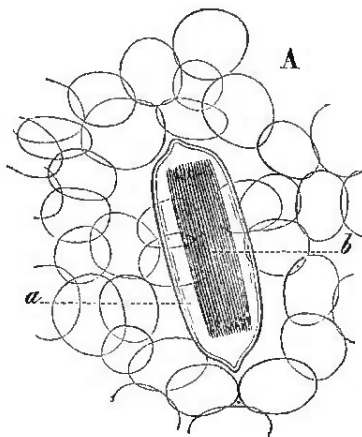


FIG. 41. — b, Raphide; a, cellule qui le renferme.

Les cristaux d'oxalate de chaux simples ou mâclés, libres au moment de leur formation, sont ensuite souvent enfermés dans des grains d'aleurone que nous étudierons plus loin.

Les oxalates ne se redissolvent jamais après leur formation, aussi peuvent-ils s'accumuler en grande quantité (85 pour 100 du poids sec chez quelques Cactées). Ce sont donc des produits d'élimination.

*Carbonate de chaux.* — Il se fait aussi quelquefois des dépôts de carbonaté de chaux cristallisé (Cycadées, Cactées, Ail, Chêne-liège).

On les reconnaît par l'action de l'acide acétique qui les dissout et les décompose.

*Sulfate de chaux et phosphate. Soufre.* — Les cristaux de sulfate de chaux se rencontrent chez les Musacées, les Scitaminées, *Aconitum*, *Bryonia*.

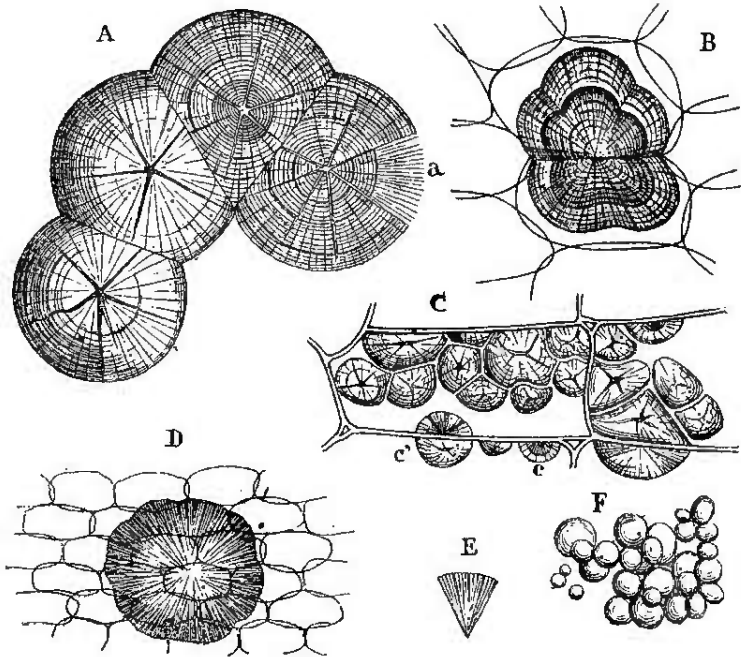


FIG. 42. — Sphéro-cristaux d'inuline. — A, séparés d'une solution aqueuse après deux mois et demi; en a commencement d'action de l'acide nitrique; B, cellules d'un tubercule de Dahlia ayant séjourné vingt-quatre heures dans l'alcool à 90 degrés; C, deux cellules d'une tige de Topinambour avec deux moitiés de sphéro-cristaux, ayant leur centre commun sur la membrane mitoyenne; D, un grand sphéro-cristal envahissant plusieurs cellules; E, un grand sphéro-cristal; F, inuline précipitée par évaporation de la solution aqueuse (Sachs).

Le bois de la tige du *Tectona grandis* renferme du phosphate de chaux cristallisé.

Les Oscillariées ont offert quelques exemples de soufre cristallisé.

Les substances minérales se trouvent aussi à l'état cristallin dans les membranes minéralisées souvent au

travaux de la cuticule (Conifères, *Urtica campervicia*) ou bien dans les parties plus internes (Taxinées, Cupressinées). Elles peuvent proéminer perpendiculairement à la membrane (sporanges des Mucorinées).

Les *cystolithes* sont aussi des formations qui appartiennent à la minéralisation cristalline. Ce sont des agglomérations de carbonate de chaux qui se sont formées sur un prolongement ou pédicelle d'une membrane de cellule (feuilles d'Urticées, Figuier, Mûrier, Ortie, Houblon, Chanvre) (fig. 43).

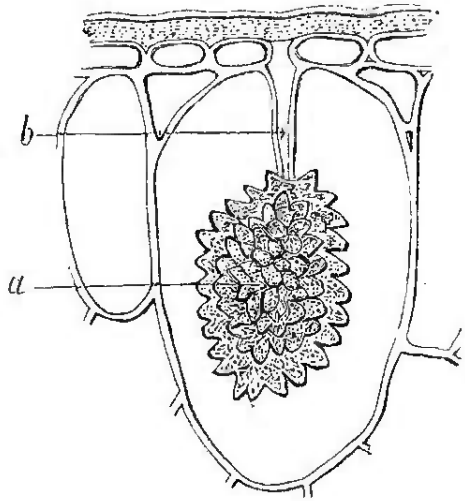


FIG. 43. — Cystolithe du *Ficus elastica*: a, masse cystolithique; b, pédicelle ou filament suspenseur.

**2. Corps minéraux amorphes.** — Ils se présentent sous forme de concrétions et de nodules.

En premier lieu, nous citerons la *silice* qui existe aussi, du reste, à l'état soluble, pendant certaines périodes du développement. Nous étudierons ensuite les *globoïdes* et les substances minérales des membranes.

**A. Silice dans les végétaux.** — La silice est abondante dans les cendres de beaucoup de végétaux; mais c'est surtout dans les pailles des Céréales et, en général, des Graminées, dans l'épiderme des Équisétacées, qu'on la rencontre en plus grande quantité.

Dans les divers organes de la plupart des Orchidées exotiques (*Pholidotus*, *Stanhopea*...), des Palmiers, des

Marantacées, des Bambous, on voit se former de très bonne heure, dans le protoplasma de certaines cellules spéciales, des masses arrondies, plus ou moins mamelonnées, qui en remplissent peu à peu presque toute la cavité et qui sont formés de silice pure <sup>1</sup>. Les mêmes concrétions se retrouvent dans les feuilles d'une Diosmée (*Galipea macrophylla*).

Dans les cendres des céréales, on peut trouver la silice dans la proportion considérable de 60-70 pour 100 des cendres. Elle est, au contraire, très rare dans les cendres des Légumineuses.

Dans un travail publié en 1861, Hugo von Mohl <sup>2</sup> a montré que la silice imprègne souvent les membranes des cellules, de sorte que, si l'on détruit la matière organique par la calcination, on conserve un véritable squelette de silice présentant la disposition de l'organe détruit. L'expérience réussit très bien avec l'*Equisetum arvense* <sup>3</sup>.

a) *État de la silice dans les végétaux.* — On a étudié l'état de la silice dans des tiges de diverses natures en les soumettant à une solution alcaline bouillante (potasse ou soude ; un degré au pèse-sel). Ces expériences comparatives, faites pendant le même temps et dans les mêmes conditions, prouvent que la silice se trouve dans le chaumé des céréales, dans le bois, dans la canne à sucre sous des états très différents.

Il faut admettre peut-être que la silice existe sous divers états isomériques, résistant plus ou moins à l'action des dissolvants alcalins. Sinon, on peut faire l'hypo-

<sup>1</sup> ROSANOFF, *Botanische Zeitung*, 1871, p. 741.

<sup>2</sup> *Ibid.*, n° 30-32-49.

<sup>3</sup> DETMER, *Physiologie végétale*, p. 60.



thèse que, dans certains cas, elle est combinée avec la cellulose ou retenue au moins par une cohésion variable au sein de cette substance qu'elle imprègne souvent. Ainsi les feuilles de chêne cèdent leur silice très facilement à la soude caustique, les feuilles des Marronniers et les Fougères résistent très bien à cette action.

b) *Influence de la silice dans la végétation.* — Les analyses d'Isidore Pierre établissent que la silice n'a pas pour le développement des céréales l'intérêt qu'on lui avait accordé *a priori*. Von Hohnel a exécuté sur l'assimilation de la silice des expériences intéressantes. Au moyen de solutions nutritives dont les unes étaient dépourvues de silice, il a prouvé que la silice n'était pas nécessaire à certains fruits (*Lithospermum*) dont l'épiderme est normalement silicifié complètement.

Wolf a essayé d'élever de l'Avoine dans une solution nutritive exempte de silice, il a constaté que les plantes étaient moins vigoureuses.

Jodin, à la suite d'expériences sur le Maïs, conclut que la privation de silice, si contraire aux habitudes spécifiques de cette plante, peut être prolongée pendant plusieurs générations successives, sans que cette descendance anormale détermine une dégénérescence physiologique attribuable à cette privation.

Cette conclusion relative à la silice prouve une fois de plus qu'il ne suffit pas qu'une substance se trouve dans les cendres d'une plante pour qu'on puisse conclure de sa présence à son utilité.

Le rôle de la silice était donc encore bien obscur après ces divers travaux, nous ne savions rien sur son évolution pendant le cycle de la végétation et sur son mode de migration.

c) *Travaux de MM. Berthelot et André*<sup>1</sup> — Pour combler cette lacune, MM. Berthelot et André ont choisi une céréale, le Blé. Ils ont soumis à l'analyse la graine initiale et la plante qui en dérive, en la prenant à cinq stades de sa végétation.

Tout d'abord, on pouvait se demander si la silice n'avait pas une certaine part dans la répartition des substances nutritives. Nous allons voir que ce corps voyage dans la plante pendant l'accroissement de la plante et pendant la maturation, mais sans suivre le courant ordinaire qui, à la fin du cycle végétatif, se trouve dirigé vers la graine.

À ce point de vue, il importe de se rendre compte de la solubilité de la silice; la silice soluble seule pourra en effet émigrer dans les divers membres de la plante.

MM. Berthelot et André ont dosé pour chaque expérience :

- 1° La silice soluble dans l'eau pure;
- 2° La silice soluble à froid dans la potasse étendue;
- 3° La silice soluble à chaud dans la potasse étendue;
- 4° La silice totale.

Tous les dosages ont été faits dans des vases exempts de silice, les macérations dans des coupelles en nickel, les incinérations dans des godets en platine ou en argent.

Voici les principales conclusions qui découlent des résultats numériques :

*Graine initiale.* — La silice du grain s'y trouve presque en totalité à l'état de silice soluble dans les alcalis dilués et froids, un dixième environ est même soluble dans l'eau froide.

<sup>1</sup> BERTHELOT et ANDRÉ, *Silice dans les végétaux.* (*Ann. de chim. et phys.*, oct. 1892.)

La graine du Blé n'en renferme du reste que 1 pour 1,000 environ de son poids sec.

1. *Début de la végétation.* — Dans la tige et les feuilles on trouve comme silice totale 43 pour 100 des cendres de ces organes, 78 pour 100 des cendres de la racine. On juge ainsi de l'importance physiologique de la silice dans la jeune plante. Ces poids représentent  $\frac{1}{3}$  des principes azotés de la tige. Dans la tige les  $\frac{3}{4}$  de la silice sont insolubles dans la potasse étendue. Si l'on se rappelle que la graine initiale ne renfermait que très peu de silice, on voit que cet élément a dû être amené au sein de la tige à l'état soluble (silice, silicates, corps minéraux ou organiques), puis a dû y revenir insoluble pendant la végétation.

2. *Avant la floraison.* — A cette époque, on peut constater que la plante a quadruplé de poids, et que le poids total de la silice s'est accru de moitié environ; de plus, sa répartition s'est beaucoup modifiée. La silice de la racine a à peine varié, tandis que la dose a doublé dans la partie aérienne. On vérifie, en outre, que la silice contenue dans la tige est redevenue soluble dans les alcalis.

Le poids de l'azote et celui de la silice totale sont voisins dans la tige, de sorte que les principes azotés de la plante pèsent six fois plus que la silice. Les principes azotés de la plante se sont donc accrus rapidement; c'est sans doute en raison de cette circonstance que la silice a repris l'état soluble, probablement à l'état de composé organique complexe.

3. *Début de la floraison.* — La silice totale a doublé pendant cette période, ce qui montre un nouvel emprunt de ce composant au sol. La variation a été plus rapide que celle de l'azote, de sorte que la silice totale forme

alors  $1/3$  du poids des principes azotés, comme pendant la période initiale.

Le poids relatif de la silice totale est maximum dans les feuilles. Dans la tige, il y a  $2/3$  de silice soluble dans les alcalis, celle-ci contenant  $1/3$  de la silice régénérée préexistant à l'état insoluble. L'épi n'a alors que de la silice soluble.

On peut donc retenir ce fait important que la feuille est un lieu spécial de concentration pour la silice, et surtout pour la silice insoluble.

4. *Maturation des graines.* — Le poids de la plante ayant encore doublé, le poids de l'azote s'est accru de  $1/5$  et la silice totale a aussi doublé.

On peut en conclure que la silice n'est pas en corrélation avec les principes azotés, mais qu'elle varie proportionnellement avec le poids des tissus et les principes hydrocarbonés.

La silice ne s'accumule plus dans les feuilles,  $1/3$  s'y trouvant à l'état insoluble.

La tige ne possède plus que de la silice soluble, et le minimum est dans l'épi qui possède  $1/3$  de silice insoluble.

5. *Dessiccation.* — Pendant cette période qui est un stade de régression pour la plante, la tige s'est enrichie surtout en silice insoluble, les feuilles au contraire sont devenues plus riches en silice soluble. La silice est alors moitié du poids des principes azotés. Le grain qui, lui, n'a besoin que de bien peu de silice, ne donne à l'analyse que 0,097 pour 100.

Le tableau suivant donne la richesse de la plante en silice totale, en fonction du poids sec, aux divers stades étudiés.

Stades	Quantité de silice en fonction du poids sec	Le poids sec est en fonction du poids frais	Quantité de silice en fonction du poids frais
1	11,08 pour 100	19,2 pour 100	2,12 pour 100
2	4,30 —	27,9 —	1,19 —
3	3,12 —	23,1 —	0,72 —
4	3,55 —	41,1 —	1,45 —
5	4,91 —	66,8 —	3,27 —

Comme on le voit, c'est dans la jeune plante que le rôle de la silice paraît le plus important.

Pendant la période de dessiccation sa proportion se relève un peu, on lui attribue depuis longtemps la propriété d'empêcher la verse de la plante en donnant à la tige une certaine rigidité; on ne peut nier que 3,27 pour 100 de la plante ne soit une proportion importante et non négligeable pour consolider le chaume, surtout si on se rappelle que la silice insoluble forme au sein de certaines tiges un véritable réseau de soutien à mailles serrées.

**B. Globoïdes.** — Au point de vue chimique, ce sont des glycérophosphates ou des saccharophosphates de magnésie et de chaux.

Ils ont ordinairement une taille inférieure à 5  $\mu$ .

C'est surtout dans les leucites de réserve et dans les grains d'aleurone qu'on les rencontre.

**C. Substances minérales des membranes cellulaires.** — Quand elle est jeune, la membrane ne renferme qu'une petite quantité de sels minéraux, mais plus tard on rencontre ces derniers en abondance, on dit que la membrane est minéralisée. Si cette formation est constituée par une série de granulations, la minéralisation est dite homogène ou granuleuse suivant la taille des granulations minérales.

Ces substances, qui imprègnent les cellules cutinisées périphériques des tiges, des feuilles, des cellules lignifiées du bois, constituent les cendres lorsqu'on incinère ces différentes parties.

Cendres du bois	Pour 100 du poids sec
Sapin.....	2
Chêne.....	5
Hêtre.....	5
Noyer.....	25
Maronnier.....	28

Les bases qui dominent sont la chaux, la potasse, la magnésie et la soude.

	Chaux.	Potasse.	Soude.	Magnésie.
Bois de noyer. Pour 100 des cendres.	56	17	»	8

La silice, comme nous l'avons dit, imprègne souvent aussi de cette façon les membranes (Prèles, Graminées).

Le carbonate de chaux forme souvent une sorte de calcification en croûte pierreuse et cassante (Characées, Floridées, Corallinées et Lithothamniées).

**3. Corps minéraux dissous.** — C'est ordinairement dans le suc cellulaire, dans les latex ou dans la sève brute qu'on les rencontre. Ce sont toujours des nitrates, phosphates, sulfates, silicates, carbonates, chlorures de bases alcalines.

---

## CHAPITRE III

### ÉTUDE DES SUBSTANCES ORGANIQUES

#### § I. — LES ÉLÉMENTS ORGANIQUES

Les éléments organiques se trouvent dans les végétaux dans des proportions relativement très fixes, le car-

bone et l'oxygène étant prédominants, ainsi que le prouvent les chiffres suivants :

	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote
Arbres .....	50,60	6,16	43,2	1,04
Herbes .....	49,06	5,75	43,2	1,24

Cette constance dans les proportions est un fait très remarquable qui se vérifie même dans le détail, ainsi qu'on peut le constater d'après ces analyses dues à Boussingault et Chevandier.

Plantes	Éléments de cette composition				
	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	
Arbres	Hêtre .....	49,8	6 »	43,1	0,93
	Chêne .....	50,6	6 »	42,0	0,28
	Bouleau .....	50,6	6,2	42,0	1,11
	Tremble .....	50,3	6,3	42,4	0,98
	Saule .....	51,7	6,2	41,1	0,98
	Moyennes .....	50,60	6,26	42,13	1,04
Plantes herbacées	Tiges de froment .....	52,1	5,7	41,8	0,4
	Tiges de seigle .....	52,8	5,8	42,1	0,3
	Tiges d'avoine .....	52,8	5,7	41,1	0,4
	Betteraves .....	45,7	6,2	36,3	1,8
	Navets .....	46,3	6,0	45,9	1,8
	Tiges de pois .....	51,5	5,6	40,3	2,6
	Tréfle rouge .....	51,3	5,4	41,1	2,2
	Tiges de topinambours ...	47,0	5,6	47,0	0,4
Moyennes .....	49,09	5,75	43,2	1,24	

Entre le tronc, les branches et les feuilles, les différences sont peu appréciables, sauf pour l'azote que les feuilles contiennent en beaucoup plus grande quantité.

Sous ce rapport, les graines sont encore plus riches que les feuilles.

Nous donnons quelques chiffres relatifs à ces comparaisons :

	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote
Bois.....	50,60	6,16	42,13	1,04
Branches.....	51,78	6,30	40,76	1,13
Feuilles.....	51,83	6,53	39,52	3,42
Graines.....	»	»	»	4 »
Feuilles de mûrier.....	51,89	6,70	35,73	5,68
— d'acacia.....	57,65	6,90	40,86	3,31
— de peuplier....	47,20	6 »	43,50	3,30
— de graminées...	49,18	6,59	41,86	2,37

Pour étudier les substances organiques ou principes immédiats, nous passerons successivement en revue les différentes parties de la cellule vivante :

- 1° Le protoplasma;
- 2° Les substances chimiques dérivées et incluses dans le protoplasma;
- 3° Les substances organiques, dissoutes dans les suc cellulaires;
- 4° La membrane organique et ses transformations.

## § 2. — LE PROTOPLASMA

1. **Composition du protoplasma.** — Le protoplasma, au point de vue chimique, est un mélange d'eau et d'un plus ou moins grand nombre de principes immédiats en voie de transformation continuelle. Parmi toutes ces substances, les unes sont binaires ( $C^xH^y$ ) comme certains carbures aromatiques; d'autres sont ternaires ( $C^xH^yO^z$ ), tels sont : les glucosides (tannin, populine); les hydrates



de carbone (amidon, dextrines, sucres, corps gras); d'autres sont quaternaires ( $C^xH^yO^zAz$ ): c'est le groupe des matières dites albuminôïdes (albumine végétale, caséine végétale); des amides comme l'asparagine, la glutamine; des alcaloïdes comme la quinine, la morphine.

Enfin, le protoplasma renferme en dissolution des matières minérales qui en constituent les cendres (bases alcalines combinées aux acides organiques).

Voici, à titre de document, l'analyse du protoplasma d'un myxomycète (*Fuligo septica*)<sup>1</sup>:

Substances organiques (71 pour 100)		
Binaires	Ternaires (41 pour 100)	Quaternaires ou Azotées (30 pour 100)
»	Paracholestérine.	Plastine.
»	Résine.	Vitelline.
»	Principe colorant.	Myosine.
»	Glycogène.	Peptones.
»	Sucre non réducteur.	Pepsine.
»	Acide oléique.	Lécithine.
»	— stéarique.	Guanine.
»	— palmitique.	Sarcine.
»	Corps gras neutres.	Xanthine.
»		Carbonate d'ammoniaque.
Substances minérales (29 pour 100)		
	Chaux combinée aux acides	lactique.
	—	acétique.
	—	formique.
	—	oxalique.
	—	phosphorique.
	—	sulfurique.
	—	carbonique.
	Phosphates de potasse et de magnésie.	
	Chlorure de sodium.	
	Fer.	

<sup>1</sup> REINKE, *Botanische Zeitung*, nov. 1880.

Un grand nombre de naturalistes avec Nägeli et Pfeffer identifient la structure de la substance vivante à la structure moléculaire ; d'autres, comme MM. Berthold, Bütschli, Plateau, Quincke, etc., revenant à l'opinion des anciens auteurs, considèrent le protoplasma comme un simple liquide ou un mélange de plusieurs liquides ; d'autres enfin, avec Brücke, regardent le protoplasma comme doué d'une organisation spéciale, propre à la substance vivante. Le nombre des théories sur la constitution du protoplasma est grand. Nous donnons ci-après un simple aperçu sur celles qui sont les plus généralement discutées à cause de la notoriété de leurs auteurs.

**2. Théorie des micelles de Nägeli.** — D'après Nägeli<sup>1</sup> les substances organisées sont formées de corpuscules cristallins doublement réfringents (*micelles*), libres de toute adhérence et placés régulièrement les uns à côté des autres. A l'état humide, les micelles, par suite de leur attraction plus grande pour l'eau que pour eux-mêmes, s'entourent d'une enveloppe liquide ; l'attraction des micelles pour l'eau est en raison inverse des dimensions de leurs axes. A l'état sec, les micelles se touchent. La croissance des substances organisées résulte, d'une part, de la croissance des micelles et, d'autre part, de l'intercalation des nouveaux micelles entre ceux qui existent déjà. Les micelles s'accroissent par apposition, comme les cristaux, et ils naissent pour ainsi dire spontanément à la façon des cristaux, de sorte que le processus de croissance est une sorte de cristallisation.

**3. Théorie des plasomes de Wiesner.** — M. Wiesner pose en principe que, dans l'intérieur d'un organisme, le

<sup>1</sup> Voir PRUNET, *Revue générale de botanique*, 1892,

vivant naît toujours du vivant, l'organisé de l'organisé. Il admet que les grains de chlorophylle, les noyaux, etc., ne se forment jamais spontanément aux dépens de simples substances chimiques : sucres, corps gras, albuminoïdes.

Remarquant l'importance du processus de division dans la biologie, il affirme que la division se retrouve dans les parties vivantes de la cellule que nos moyens d'investigation ne nous permettent pas d'atteindre.

Il est conduit ainsi à admettre que le protoplasma ne saurait sans division intérieure se régénérer.

Il résulte de cette argumentation que les parties vivantes de la cellule sont formées de petites individualités organisées qui possèdent la propriété de se multiplier par division. Mais, si ces individualités se divisent, elles doivent s'accroître, et, si elles s'accroissent, elles doivent assimiler. Dès lors, la substance vivante doit consister en un ensemble de petites individualités que M. Wiesner appelle *plasomes*.

La cellule est, par rapport au plasome, un véritable organisme.

L'union des plasomes s'effectue de telle sorte qu'ils soient en contact avec les liquides cellulaires ; ils se différencient plus ou moins pour s'adapter aux diverses manifestations de l'activité cellulaire.

Le plasome s'accroît par absorption de matières dissoutes qui pénètrent dans sa masse, conformément aux lois de la diffusion.

D'après Wiesner, de même que la molécule représente la plus petite quantité de matière qui puisse exister à l'état de liberté, et l'atome la plus petite quantité de matière qui puisse entrer en combinaison, le plasome

représente le plus petit corps de l'organisme qui soit apte à la division, à la croissance, à l'assimilation.

Cette théorie vitale, de même que la théorie physico-moléculaire de Nägeli, est encore trop hypothétique pour qu'on puisse la considérer comme définitive. L'existence du plasome échappe, en effet, à nos moyens d'observation.

**4. Théorie vacuolaire de Bütschli.** — Bütschli considère le protoplasma comme une substance complexe dont l'organisation est analogue à une émulsion. Aussi dirige-t-il ses efforts vers la réalisation d'un protoplasme artificiel. Sa théorie ne manque pas de hardiesse, surtout si on admet la conclusion que M. Pictet énonce <sup>1</sup> dans ses dernières expériences sur la vitalité : « Si l'on parvient à réaliser la structure moléculaire du protoplasma mort, les lois physiques suffiront à lui donner les propriétés dites vitales. »

**5. Propriétés du protoplasma.** — MM. de Bary, Cienkowsky, Van Tieghem, Velten, Wakker, Pfeffer, ont étudié le mécanisme de l'absorption et de l'expulsion des corps solides par le protoplasma.

M. Pfeffer a constaté que le plasmode absorbe avec la même facilité les corps les plus divers vivants (*Pleurococcus*) ou inertes, solubles (cristaux d'asparagine) ou insolubles (grains de quartz ou de carmin). Le plasmode serait donc dépourvu soit de sensibilité chimique, soit de sensibilité au contact ou au choc. Les corps étrangers pénétreraient mécaniquement dans le plasmode par leur propre poids ou à cause de la résistance qu'ils opposent à sa progression.

<sup>1</sup> ПИКЕТТ, *Revue scientifique*, 1893.

A l'aide de réactifs appropriés, M. Pfeffer a pu déterminer dans des cellules pourvues d'une membrane la précipitation de cristaux ou de granulations de nature diverse; il a vu ensuite ces corpuscules tantôt passer du suc cellulaire dans le plasma environnant, tantôt suivre la marche inverse. C'est ainsi que dans les poils radicaux du *Trianca Bogotensis* l'auteur a vu de petits cristaux d'oxalate de chaux passer d'une vacuole dans le protoplasma et retourner ensuite dans le suc cellulaire. Ces observations prouvent que la présence d'un corps figuré dans une certaine partie du contenu cellulaire ne prouve pas nécessairement qu'il s'y soit formé.

La formation des vacuoles au sein du protoplasma serait, d'après M. Pfeffer, un phénomène purement physique dû aux différences locales d'imbibition.

### § 3. — LES SUBSTANCES CHIMIQUES DÉRIVÉES DU PROTOPLASMA

1. **Plastides ou Leucites.** — Ils prennent naissance dans le protoplasma fondamental autour de certains centres par séparation et condensation d'une substance d'abord uniformément répandue dans la masse. Ils demeurent toujours plongés dans le protoplasma; on ne les voit jamais dans le suc cellulaire ni dans le noyau<sup>1</sup>. Ils peuvent d'ailleurs, à certaines époques, se redissoudre dans le protoplasma fondamental pour s'en séparer de nouveau plus tard.

L'accroissement de la cellule entraîne souvent la croissance des leucites, qui peuvent se multiplier par bipartition successive. Le rôle des plastides dans la cellule est

<sup>1</sup> VAN TIEGHEM, *Traité de botanique*.

variable suivant qu'ils se trouvent dans des cellules en voie de croissance (plastides ou leucites actifs), ou dans des cellules arrivées à l'état de vie latente (plastides ou leucites de réserve).

*Plastides actifs.* — Les uns sont incolores (*Phylodendron*). Souvent ils forment des grains d'amidon; d'autres sont colorés (chromoplastes), les plus importants d'entre eux sont les plastides chlorophylliens.

Les plastides colorés commencent par être incolores, mais ne tardent pas à prendre leur couleur définitive. Les xanthoplastes ou plastides jaunes sont très communs, ils sont colorés par la xanthophylle, substance définie par ses propriétés spectroscopiques, mais dont la nature chimique reste indéfinie. Elle varie du jaune clair au jaune orange.

Ce sont aussi des leucites jaunes qui colorent les pétales d'un grand nombre de fleurs (*Helianthus annuus*) ou les anthères (*Colchicum autumnale*).

Des plastides rouges jouent le même rôle dans les fruits du *Lycopersicum, esculentum* par exemple, et dans quelques fleurs. La couleur bleue des fleurs du *Delphinium elatum*, du *Begonia discolor*, des fruits de l'*Atropa belladonna*, du *Solanum guineense*, est due aussi à des chloroplastes.

Les leucites colorés sont susceptibles de changer de couleur suivant les transformations qui s'opèrent dans le sein du protoplasma, qui de basique peut devenir acide. C'est ainsi que les acides rougissent le principe bleu que les alcalis verdissent, de même que les acides rougissent les leucites violets (fruit du *Solanum melongena*, fleur de l'*Orchis morio*) que les alcalis bleuissent.

2. *Chlorophylle.* — Les leucites ou plastides verts, *chlo-*

*roleucites* ou chloroplastes, doivent spécialement attirer notre attention en raison des nombreux travaux qui les concernent.

Le grain vert de chlorophylle se compose d'un leucite primitif incolore, imprégné de deux principes colorants : la xanthophylle et la chlorophylle.

Ces deux matières colorantes peuvent être facilement isolées. L'alcool et l'éther les séparent du leucite. En ajoutant de la benzine, on voit se former deux couches de liquides superposées par ordre de densité. En haut, la chlorophylle se trouve dissoute dans la benzine; au dessous, l'alcool garde la xanthophylle en dissolution.

Si on agite avec du noir animal, celui-ci s'empare des deux principes colorants. Traité ensuite par l'alcool, le noir animal laisse partir la xanthophylle, qui par évaporation cristallise.

La chlorophylle qui reste est séparée du charbon par de l'éther de pétrole qui, en s'évaporant à l'obscurité, laisse des cristaux verts en aiguilles appartenant probablement au système du prisme rhomboïdal oblique.

La formule de la chlorophylle est encore controversée. Voici sa composition d'après deux analyses :

Composition	Chlorophylle extraite de l'épinard	Chlorophylle extraite des graminées
Carbone .....	73,97 pour 100	73,40 pour 100
Hydrogène .....	9,80 —	9,70 —
Oxygène .....	10,33 —	9,57 —
Azote .....	4,15 —	5,62 —
Cendres .....	1,75 —	1,71 —

Elle a les propriétés d'un acide faible ; elle forme avec

les alcalis des sels solubles, avec les autres bases des sels insolubles.

Ses propriétés chimiques la rapprochent de la *bilirubine*, matière colorante de la bile des animaux.

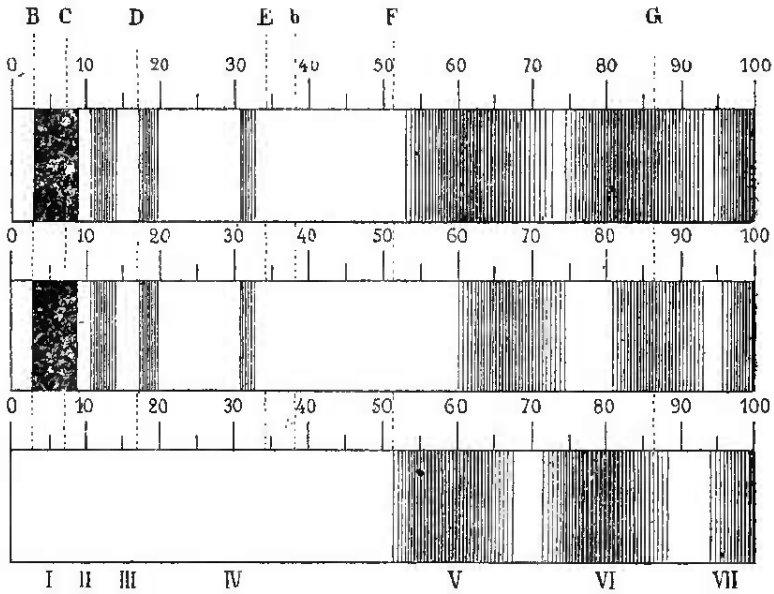


FIG. 44. — Spectres d'absorption de la chlorophylle, d'après M. KRAUS. Le spectre d'en haut est obtenu avec l'extrait alcoolique des feuilles; celui du milieu, avec la *chlorophylle* dissoute dans la benzine; celui d'en bas, avec la *xanthophylle*.

Les bandes d'absorption sont figurées, dans la partie la moins réfrangible B, E, telles que les donne une dissolution concentrée, et dans la plus réfrangible F, II, telles que les donne une dissolution faible. Les lettres AG indiquent la position des principales raies; les nombres I à VII désignent les bandes d'absorption de la chlorophylle en marchant du rouge au violet; enfin les traits 0-100 divisent la longueur du spectre en 100 parties égales (SACHS).

Son étude spectroscopique est classique: on observe dans le spectre de la chlorophylle une raie  $\lambda$  très accentuée. (Voyez *fig.* 44.)

Les radiations lumineuses, obscures et calorifiques prennent-elles part et dans quelles proportions à la formation de la chlorophylle?



M. Wiesner, qui a étudié la production de la chlorophylle, est arrivé aux conclusions suivantes :

Les radiations lumineuses sont actives au premier chef ; c'est sous leur influence que se forme presque exclusivement la matière verte des plantes.

On peut dégager également des recherches de Wiesner plusieurs autres conclusions :

1° La rapidité de la production de la chlorophylle s'accroît, toutes choses égales d'ailleurs, avec la température ;

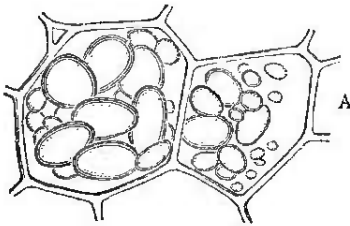


FIG. 45. — Cellules de pomme de terre pleines d'amidon.

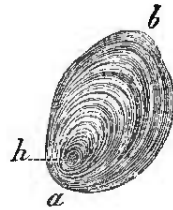


FIG. 46. — Grain d'amidon de pomme de terre : *h*, hile.

2° On peut considérer sous ce rapport : un zéro inférieur, température minimum à laquelle la chlorophylle ne se produit pas ; un optimum de température pour la production maximum de chlorophylle ; un zéro supérieur, température à laquelle la chlorophylle cesse de se constituer.

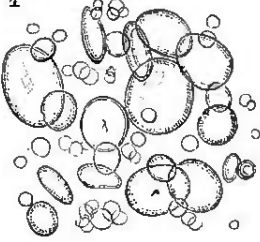
M. Hansen <sup>1</sup> est parvenu à obtenir la chlorophylle à l'état de pureté.

Elle est soluble dans 10 parties d'éther et 1 partie d'alcool absolu qui donnent une solution d'un beau vert, fluorescente et d'un bleu rouge à la lumière diffuse. A l'état sec, elle est d'un vert noir brillant, dure et cas-

<sup>1</sup> HANSEN, *Die Farbstoffe des Chlorophylls*, 1889.

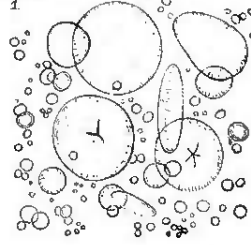
$\frac{250}{4}$

Blé.



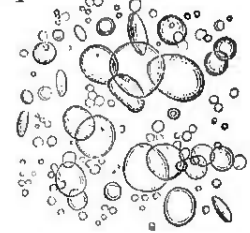
$\frac{250}{4}$

Seigle.



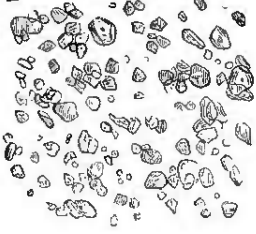
$\frac{250}{4}$

Orge.



$\frac{600}{4}$

Avoine.



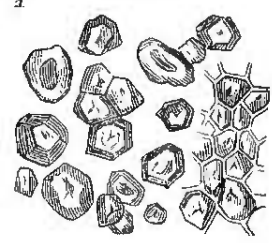
$\frac{600}{4}$

Riz.



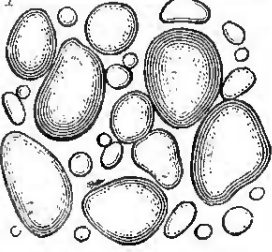
$\frac{260}{4}$

Maïs.



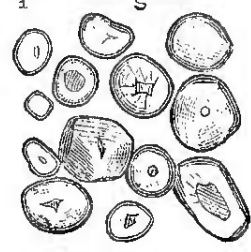
$\frac{110}{4}$

Pomme de terre



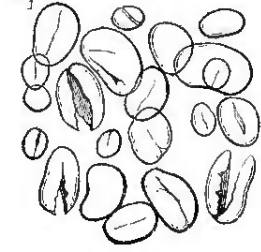
$\frac{400}{4}$

Sorgho.



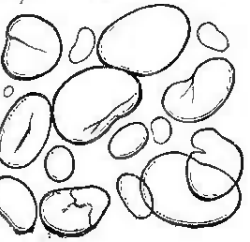
$\frac{300}{4}$

Pois



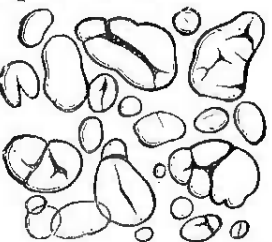
$\frac{270}{4}$

Haricot



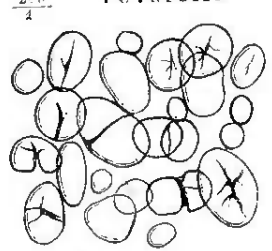
$\frac{300}{4}$

Fève



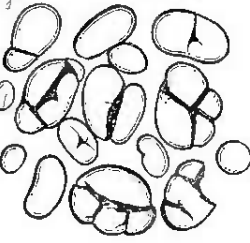
$\frac{300}{4}$

Fêverolle



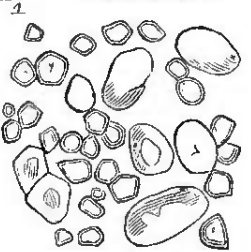
$\frac{370}{4}$

Lentille



$\frac{400}{4}$

Sarrasin.



$\frac{300}{4}$

Cosse cultivée

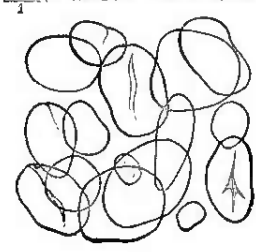


FIG. 47 à 61. — Formes des grains d'amidon d'un certain nombre de plantes agricoles.

sante. Elle est insoluble dans l'eau et le sulfure de carbone, très soluble dans l'alcool, peu dans l'éther pur.

Le résidu obtenu par évaporation de la solution alcoolique possède à la lumière réfléchie une couleur d'un vert jaune, et à la lumière directe deux couleurs : vert pur et rouge brun.

La *matière verte* a le caractère d'un acide et se combine avec les bases ; elle renferme de l'azote et du fer.

La *matière jaune* est soluble dans l'alcool, l'éther, le chloroforme, le sulfure de carbone. Elle ne renferme pas d'azote et n'est pas

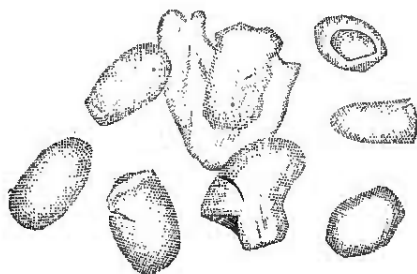


FIG. 62. — Granules de Sagou.

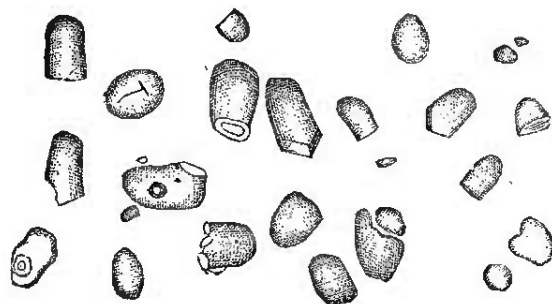


FIG. 63. — Sagou tapioca.

fluorescente ; ses solutions évaporées laissent des cristaux à base rhombe, d'un rouge orange. La lumière la transforme rapidement en une

substance incolore qui, dissoute dans le chloroforme, donne avec l'acide sulfurique concentré la coloration rouge de la cholestérine. Ses propriétés chimiques et spectrales permettent de l'identifier à l'étioline, à la carotène et à la matière colorante des fleurs jaunes.

La *carotène*<sup>1</sup> est une matière colorante commune chez

<sup>1</sup> ARNAUD, *Recherches sur la carotène.*

les végétaux supérieurs; c'est un carbure d'hydrogène qui accompagne la chlorophylle dans les feuilles. La quantité de carotène dans les plantes varie avec les espèces (1 à 2 pour 100 du poids sec de la feuille) et présente un maximum à la floraison.

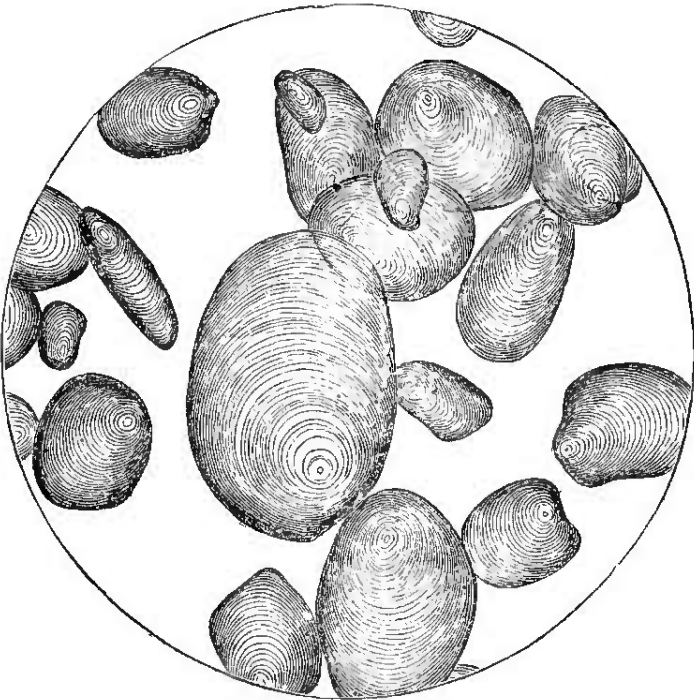


FIG. 64. — Arrow-root de Canna (féculé de Tolomane).

Comme la chlorophylle, elle tend à disparaître à l'obscurité. Ce carbure, à l'air, peut absorber 24 pour 100 de son poids d'oxygène, soit deux cents fois son volume; dans la feuille vivante il reste inoxydable. Son rôle est encore obscur.

Il peut arriver que les chromoleucites renferment plusieurs pigments. C'est ainsi que la chlorophylle chez les Algues se rencontre simultanément avec la phycoérythrine

(Floridées), la phycophéine (Fucacées), la phycocyanine (Oscillariées).

La chlorophylle est le principe immédiat le plus répandu dans tout le règne végétal. Elle existe soit sous la forme de leucites ou sous l'état amorphe. Très abondante dans les feuilles, elle peut aussi exister dans les



FIG. 65. — Amidon de Dioscorea, 300/1.

tiges (plantes herbacées, jeunes plantes vivaces), dans les racines, dans les fleurs (surtout dans le calice, et en général dans tous les organes floraux jeunes non épanouis), dans le fruit (avant la maturité surtout) et jusque dans l'embryon au sein de la graine.

**3. Produits chimiques créés par les plastides actifs.** — Les plastides actifs peuvent donner naissance à une foule de produits chimiques qui prennent forme dans leur masse ou y restent en dissolution.

Quelques composés peuvent s'y rencontrer, du reste, sous ces deux états.

Parmi les plus importantes de ces substances nous citerons :

- A. L'*amidon* ;
- B. Les *corps gras* ;
- C. Les *huiles essentielles* ;
- D. L'*aleurone*.

A. **Amidon.** — L'amidon se présente sous l'aspect de grains solides de forme et de dimension très variables suivant les espèces végétales.

C'est une substance ternaire formée de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. C'est la réserve par excellence ; nous verrons, en effet, qu'elle se produit facilement dans la plupart des végétaux et qu'elle peut se transformer et reprendre l'état soluble.

L'amidon s'accumule en grande abondance dans certaines parties des végétaux. Le tableau suivant explique son importance dans la composition centésimale de quelques plantes bien connues :

Jatropha manihot,	racine . . . . .	43,5	pour 100
Solanum tuberosum,	tubercule . .	25	—
Igname,	— . . .	26	—
Lentille,	graines . . . .	32	—
Pois,	— . . . .	50	—
Blé,	— . . . .	77	—
Avoine,	— . . . .	60	—
Maïs,	— . . . .	81	—
Seigle,	— . . .	58	—
Riz,	— . . . .	86	—

Dans la graine d'une céréale on rencontre des grains d'amidon à tous les stades de formation, mais pour chaque espèce végétale ils ne peuvent pas dépasser une dimension maximum.

Dans les graines ils sont, en général, petits ; ils sont plus gros dans les organes souterrains :

Espèces végétales		Dimensions des grains
Zea maïs,	graines ..	0 <sup>mm</sup> ,030
Triticum vulgare,	— ..	0 <sup>mm</sup> ,050
Pisum sativum,	— ..	0 <sup>mm</sup> ,065
Solanum tuberosum,	tubercule.	0 <sup>mm</sup> ,090 à 0 <sup>mm</sup> ,185
Canna lanuginosa,	rhizome ..	0 <sup>mm</sup> ,071

Les grains d'amidon ont une structure lamellaire, ce qui leur donne des propriétés optiques spéciales dues uniquement à leur structure physique.

Quand ils sont isolés, on les nomme des *grains simples*, par opposition aux *grains composés* qui sont formés de plusieurs grains qui se sont soudés pendant leur accroissement (*fig. 65 bis*).

Schimper a observé que les grains d'amidon pouvaient se former de deux façons.



FIG. 65 bis.—Amidon.  
Grain composé.

Tantôt ce sont des leucites incolores qui leur donnent naissance. S'ils se trouvent dans la masse du leucite, leur structure est concentrique; tantôt ils font saillie à la surface du leucite, auquel ils demeurent attachés.

Les grains d'amidon peuvent aussi prendre naissance dans les leucites chlorophylliens, c'est même pour ceux-ci une de leurs fonctions principales.

*Composition chimique du grain d'amidon.* — L'amidon pur est un hydrate de carbone, il se trouve allié dans le grain d'amidon à 2,6 pour 1,000 de substance minérale.

La substance amylicée peut être décomposée en deux substances :

L'une facilement dissoute, colorée en bleu par l'iode en présence de l'eau; c'est la *granulose*. L'autre conservant la forme du grain et que l'iode colore en jaune rougeâtre :

c'est l'*amylose*, qui représente  $\frac{1}{8}$  du poids total au maximum.

Sous l'influence de l'acide sulfurique concentré, l'amylose peut se transformer en granulose. Il s'ensuit que, sans changer de composition chimique élémentaire, la substance amyliacée peut se présenter sous divers états : granulose soluble, amylose, etc.

La matière amyliacée des végétaux désignée sous le nom d'amidon n'est donc pas une substance homogène.

Nägeli <sup>1</sup> a fait voir le premier qu'il existait des modifications de l'amidon qui sont représentées par deux termes extrêmes, colorés en bleu ou en jaune par l'iode et par de nombreux intermédiaires.

L'amidon attaqué par un acide étendu donne de la dextrose, ce qui permet de le doser.

L'amidon apparaît dans les cellules à chlorophylle éclairées ; on le prouve très facilement par la réaction de l'iode faite sur deux feuilles dont l'une a été maintenue à l'obscurité.

Il est à peu près admis que l'amidon dérive des sucres. M. Meyer, dans un travail important, affirme que la dextrose, comme la lévulose, comme la galactose, peuvent être transformées en amidon par les cellules parenchymateuses des végétaux supérieurs. Certaines plantes peuvent en fabriquer avec ces trois sucres, mais toutes ne sont pas dans ce cas.

Une solution de lévulose permet à la plupart des plantes de fabriquer de l'amidon. La dextrose et la galactose, au contraire, conviennent à un très petit nombre de plantes.

On a même reconnu, par exemple, que les Caryophyl-

<sup>1</sup> NÄGELI, *Ann. der Chem. u. Pharm.*, 1874, p. 218.



lées, qui renferment de la galactose, forment beaucoup d'amidon sur ce sucre.

Les Composées en forment beaucoup sur la lévulose et contiennent justement de l'inuline.

La mannite a donné de l'amidon chez les Oléacées.

L'origine de l'amidon, bien que très admissible avec cette interprétation laisse encore un problème bien important à résoudre.

Les divergences d'opinions sont très nombreuses, du reste, au sujet du mode de formation des grains d'amidon.

Pour W Schimper, les grains d'amidon naissent toujours dans des corpuscules albuminoïdes spéciaux différenciés du protoplasma plastides (ou leucites), et ils représentent les produits de l'activité de ces leucites, lesquels ne naissent pas du plasma, mais préexistent dans la plante, se multiplient par division et ont en quelque sorte une existence éternelle.

O. Eberdt admet bien, avec Schimper, que les grains d'amidon ont pour point de départ un corpuscule albuminoïde, leucite ou plastide, mais pour lui ce corpuscule ne préexiste pas et résulte simplement d'une différenciation du protoplasma. Tandis que pour M. Schimper ces corpuscules sont les agents actifs de la formation des grains d'amidon, pour M. Eberdt ils sont passifs et constituent simplement la substance fondamentale du grain d'amidon ; ils sont transformés peu à peu par le protoplasma ambiant en un noyau amylicé ; c'est encore le protoplasma qui déterminerait leur croissance lorsque cette transformation s'est opérée. A cet effet, une mince pellicule protoplasmique se différencierait autour du jeune grain d'amidon, et c'est elle qui, d'après l'auteur, mériterait le nom de générateur de l'amidon. Les grains d'ami-

don composés auraient pour point de départ des corpuscules pourvus d'une enveloppe génératrice commune.

D'après M. Eberdt, des corpuscules pourraient dans certains cas servir de point de départ à la formation des grains de chlorophylle, non qu'ils verdissent directement eux-mêmes, mais par verdissement de matières plasmiques qui viennent s'y adjoindre.

Pour M. Belzung, qui a étudié aussi la formation de l'amidon <sup>1</sup> le protoplasma des embryons en voie de formation présente l'aspect d'un réseau à mailles multiples qui à aucun moment ne renferme de formation comparable à celle définie par le mot leucite; les grains d'amidon naissent dans certaines mailles du réseau protoplasmique exactement comme des cristaux: ils sont simples. A la maturité, les mailles non amylières se cloisonnent en d'autres plus petites très rapprochées, et les grains composés se forment par la pression des grains simples les uns contre les autres.

Les grains d'amidon de germination et même l'amidon de réserve se métamorphoseraient en grains de chlorophylle avec le concours des principes azotés du suc cellulaire. Ainsi, d'après M. Belzung, l'amidon doit être envisagé comme source et non comme produit spécial de la chlorophylle. Une telle affirmation, si elle était confirmée, serait de la plus haute importance au point de vue des synthèses organiques.

**B. Corps gras.** — Après l'amidon les substances grasses sont les plus répandues dans les cellules. Elles peuvent s'accumuler en telle quantité qu'elles occupent les deux tiers de certaines cellules.

<sup>1</sup> BELZUNG, *Thèse de Doctorat*, 1889.

Les corps gras se présentent, en général, sous l'aspect de granulations réunies en masses amorphes (suif, beurre, cire) ou bien à l'état liquide (huiles grasses des graines).

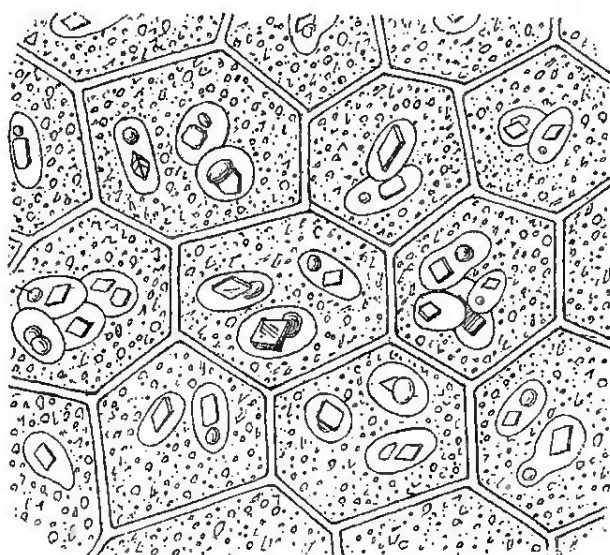


FIG. 66. — Coupe d'une graine de Ricin, gouttelettes d'huile et grains d'aleurone.

a) *Propriétés physiques.* — Les tableaux qui suivent donneront quelques renseignements sur leurs propriétés physiques.

TEMPÉRATURE DE FUSION DES BEURRES D'ORIGINE VÉGÉTALE

Corps gras	Plantes qui les fournissent	
Beurre de coco .....	<i>Cocos nucifera</i> .....	26 degrés
Beurre de cacao .....	<i>Theobroma cacao</i> .....	30 —
Beurre de muscade...	<i>Myristica fragrans</i> .....	46 —
Cire du Japon .....	<i>Rhus succedaneum</i> .....	52 —
	En moyenne.....	40 degrés

## TEMPÉRATURES DE SOLIDIFICATION DES HUILES VÉGÉTALES

Corps gras	Plantes qui les fournissent	
Huile d'olive.....	<i>Olea europea</i> .....	0 degré
Huile d'arachide.....	<i>Arachis hypogea</i> .....	— 3 —
Huile de colza.....	<i>Brassica c. oleifera</i> .....	— 6 —
Huile de lin.....	<i>Linum usitatissimum</i> ....	— 20 —
	En moyenne.....	— 5 degrés

## DENSITÉS EXTRÊMES DES CORPS GRAS

Beurres.....	Beurre de cacao.....	0,90
	Cire du Japon.....	0,97
Huiles.....	Huile de Colza.....	0,91
	Huile de Ricin.....	0,98

b) *Composition chimique.* — Les principes immédiats des corps gras neutres sont des éthers de la glycérine, c'est-à-dire des combinaisons d'un alcool triatomique, la glycérine avec un acide organique gras qui sature complètement ou incomplètement l'atomicité de la glycérine. Les plus répandus sont : la tripalmitine, la tristéarine, la trioléine, la triacétine, la trilaurine, la trimyristine, dont les acides gras sont les acides palmitique, stéarique, etc...

Vers 220 degrés, sous l'influence de l'eau ou bien à 100 degrés en présence des oxydes métalliques, des acides ou des alcalis, les corps gras neutres se dédoublent en glycérine et acide gras avec fixation d'au

tant de fois deux équivalents d'eau qu'ils contenaient d'équivalents d'acides. La glycérine et l'acide gras ne préexistaient pas dans le principe immédiat, mais ces deux substances n'avaient besoin pour se régénérer que de fixer les éléments de l'eau.

c) *Rôle des matières grasses.* — Elles sont soit des substances de réserve, soit des substances éliminées de l'organisme et sans utilité. Si les matières grasses apparaissent dans les organes de végétation active comme l'albumen ou les cotylédons, spores, tubercules, bulbes, c'est alors une réserve transitoire qui subira des métamorphoses ; si, au contraire, elles se forment dans l'épicarpe des fruits, dans le tégument des graines, dans les feuilles, les tiges, etc., c'est alors un excréta.

La cellule vivante peut cependant remanier les corps gras qui existent dans son protoplasma. C'est, nous l'avons vu, l'effet de la *saponase*, ferment spécial qui joue un rôle saponifiant comme les alcalis et les oxydes métalliques.

Les tableaux suivants donnent les principales plantes oléifères :

SUBSTANCES GRASSES D'ÉLIMINATION

Corps gras	Espèces végétales	Familles
Suif de Chine, graines.	<i>Stillingia sebifera.</i>	Euphorbiacées.
Beurre, fruits ..	<i>Peckea butyrosa.</i>	
Cire du Japon, — ..	<i>Rhus succedaneum.</i>	Anacardiées.
Suif, — ..	<i>Cylicodaphne sebifera.</i>	Laurinées.
Huile d'avocatier, — ..	<i>Persea gratissima.</i>	Laurinées.
Huile de palme, — ..	<i>Eleis guineensis.</i>	Palmiers.
Huile d'olive, — ..	<i>Olea europea.</i>	Oléacées.

## SUBSTANCES GRASSES DE RÉSERVE

Corps gras	Espèces végétales	Substances grasses composantes
Beurre de muscade.....	<i>Myristica fragrans.</i>	Trimyristine.. 90 pour 100, oléine, butyrine.
— d'illipe.....	<i>Bassia longifolia.</i>	Tristéarine, oléine.
— de cacao.....	<i>Theobroma cacao.</i>	Cacaostéarine. 56 pour 100 de la graine.
— de coco.. ..	<i>Cocos nucifera.</i>	Trilaurine, trimyristine, trimargarine.
Huile d'œilletes .....	<i>Papaver somniferum.</i>	Linoléine..... 50 pour 100 des graines.
— de lin.....	<i>Linum usitatissimum.</i>	Linoléine..... 20-30 p. 100 —
— de chènevis .....	<i>Cannabis sativa.</i>	Linoléine..... 25 pour 100 —
— de noix .....	<i>Juglans regia.</i>	Linoléine..... 50 —
— de faines.....	<i>Fagus sylvatica.</i>	Linoléine..... 25 —
— de ricin .....	<i>Ricinus communis.</i>	Ricinoléine .., 40 —
— de colza.....	<i>Brassica c. oleifera.</i>	Oléine....., 66 —
— d'amandes douces .....	<i>Amygdalus communis</i>	Oléine....., 50 —
— de sésame .....	<i>Sesamum indicum.</i>	Oléine....., 56 —
— de noisettes.....	<i>Corylus avellana.</i>	Oléine....., 50 —
— d'arachide .....	<i>Arachis hypogea.</i>	Oléine, palmitine, triarachine, trihypogéine.

La localisation des huiles grasses peut être très facilement étudiée par la réaction microchimique des vapeurs d'acide chlorhydrique qui colorent les gouttelettes d'huile en jaune orange <sup>1</sup>.

On peut ainsi en suivre la migration dans les phénomènes de germination ou d'emmagasinement des réserves.

Les tissus oléifères font généralement partie des graines ou des fruits.

Le mésocarpe est formé de cellules huileuses dans l'Olivier, le Cornouiller sanguin et les Lauriers. Les fleurs de la Camomille et du Bouillon blanc, les tiges de plusieurs Labiées, l'écorce de Quinquina, les tubercules de Colchiques, les racines de Souchet comestible, de Rhubarbe et de Carotte renferment également des matières grasses.

L'albumen, qui est souvent farineux amylicé comme dans les Céréales, est oléagineux dans un grand nombre de graines. Il est composé de cellules renfermant des gouttelettes huileuses avec des grains de fécule et des substances protéiques parmi lesquelles figure l'aleurone.

L'albumine, qui dans les graines accompagne ordinairement l'huile tient cette dernière en suspension lorsqu'on la broie avec de l'eau et rend le liquide lactescent.

D'après beaucoup d'auteurs et notamment M. Müntz <sup>2</sup>, la matière grasse des graines de *Pavot*, de *Colza*, de *Radis*, pendant la germination, se dédouble progressive-

<sup>1</sup> Voyez les travaux de M. MESNARD, *Bull. Soc. bot. fr.*, 1893; *Comptes rendus de l'Acad. sc.*, Paris, 1892-93; et Thèse de doctorat, avril 1894.

<sup>2</sup> MÜNTZ, *Sur la germination des graines oléagineuses*, (*An. de chim. et phys.*, 4<sup>e</sup> série, t. XXII, p. 480, 1871.)

ment en glycérine et en acides gras ; la glycérine disparaît à son tour à mesure qu'elle est mise en liberté. A une certaine époque, la jeune plantule ne contient plus que des acides gras libres qui, pendant l'accroissement de l'embryon, subissent une absorption lente et progressive d'oxygène.

**C. Huiles essentielles.** — Les essences ou huiles volatiles n'ont aucune analogie chimique avec les corps gras. Ce sont des principes immédiats qui dans les plantes sont ordinairement mélangés aux résines et aux baumes.

Elles sont liquides à la température ordinaire, à l'exception du camphre qui est solide.

Les unes sont incolores (essences de Rose, de Romarin, de Térébenthine), d'autres sont jaunes (essences de Citron, de Thym, de Menthe) ; enfin, il en est qui sont rougeâtres (essences de Camelle, essences de Girofle), etc.

Elles se volatilisent à 100 degrés. Si on les chauffe avec l'eau, elles entrent en ébullition entre 100 et 150 degrés.

Dans la plante c'est ordinairement la rangée de cellules sous-épidermiques qui les sécrètent. Elles s'accumulent ensuite très souvent dans des réservoirs spéciaux.

Au point de vue chimique, les essences peuvent appartenir à trois groupes principaux :

1° *Hydrocarbures* : essences des Conifères, Aurantiacées, Myrtacées ; essence de Cumin, essence de Rose, de Térébenthine, de Genièvre, de Citron, d'Orange ;

2° *Essences oxygénées* : Camphre de Bornéo, essence d'Anis, essence de Girofle, de Rue, de Menthe ;

3° *Essences sulfurées* : essence d'Ail, de Moutarde, essence d'Oignon, de Cresson..



Les essences oxygénées et sulfurées dérivent des essences carburées, par hydratation, oxydation ou substitution.

Certaines huiles essentielles renferment du soufre; on s'en rend compte en chauffant une portion de l'huile avec une lessive de potasse et de l'eau. Il se produit du sulfure de potassium, qui donne, au contact du nitroprussiate de soude, une coloration bleue plus ou moins violacée.

Quelques huiles étherées constituent des nitriles d'acides (essence de Capucine, de Cresson de fontaine ..) et par suite renferment de l'azote.

Dans les plantes, les essences parfumées sont le plus souvent constituées par des mélanges dont on peut faire l'analyse qualitative par des distillations fractionnées.

Les principes normaux de ces corps sont constitués principalement par des térébènes  $C^{10}H^{32}$ , bouillant entre 155 et 157 degrés, et leurs polymères  $C^{15}H^{48}$  et  $C^{10}H^{32}$ , dont les points d'ébullition sont compris entre 190 et 250 degrés, puis des composés oxydés renfermant :  $C^{10}H^{40}O$ ,  $C^{10}H^{36}O$ ,  $C^{10}H^{32}O$ ,  $C^{10}H^{28}O$ ,  $C^{10}H^{24}O$ ,  $C^{10}H^{24}O_2$ .

Quelquefois ce sont des hydrocarbures de la série  $C^{10}H^{28}$  ou  $C^nH^{2n}$

Indépendamment de ces principes constitutifs, les huiles essentielles peuvent renfermer des composés à fonctions chimiques très variées (aldéhyde, alcool, éther).

Leur examen optique à la lumière polarisée a été fait par Buignet <sup>1</sup>

Elles possèdent presque toutes le pouvoir rotatoire, mais avec beaucoup de variété (de + 105°,2 à - 43°,5).

<sup>1</sup> BUIGNET, *Journ. pharm. et chimie*, 3<sup>e</sup> série, t. XL, p. 252.

Les essences des *Aurantiacées* et des *Ombellifères* sont toutes dextrogyres et à un haut degré.

L'huile de Nérolî (essence de fleur d'Oranger) a un pouvoir rotatoire de  $+ 40^{\circ},25$ .

Les essences de *Labiées* sont lévogyres à peu près toutes. Il en est de même des essences de Genièvre et de Térébenthine.

On caractérise un certain nombre d'huiles essentielles par des réactifs qui font naître des colorations spéciales à chacune d'elles <sup>1</sup>.

Les principaux sont: le brome en solution chloroformique, le chloral, l'acide chlorhydrique alcoolisé, l'acide sulfurique concentré, etc...

On conçoit que par la combinaison de ces divers réactifs on puisse déterminer la nature d'une essence.

Les carbures d'hydrogène se présentent quelquefois à l'état solide et en cristaux à la température ordinaire (pétales de Rose), mais en général ils sont en petites gouttes très réfringentes, volatiles et odorantes. Ce sont ces essences qui donnent aux plantes leur parfum.

A mesure qu'ils se produisent, les carbures fixent plus ou moins rapidement de l'oxygène ou de l'eau et donnent naissance à un composé analogue, mais plus fixe.

Le camphre et l'essence de Citron sont des exemples d'essences simples, mais la plupart résultent d'un mélange en proportion variable de deux huiles essentielles dont l'une est cristallisable (stéaroptène), et l'autre liquide (oléoptène).

Les essences s'accablent rarement en grande quantité (fruits d'Anis, 25-70 pour 100 du poids ; fruits de

<sup>1</sup> *Pharm. Journ and. Trans.*, t. VI.

Cumin, 9 pour 100 ; fruits de Fenouil, 3 pour 100) ; mais beaucoup de familles végétales produisent des essences parfumées en quantité plus ou moins considérable (Labiées, Rosacées, Umbellifères, Laurinées).

Les principales de ces essences sont :

Térébenthine.	Cubébe.	Laurier cerise.
Pin.	Fenouil.	Camphre.
Genièvre.	Anis.	Cèdre.
Sabine.	Anis étoilé.	Gingembre.
Citron.	Roses.	Valériane.
Bergamotte.	Mélisse.	Amomum.
Orange.	Coriandre.	Cascarille.
Cumin.	Cardamome.	Sedum.
Menthe poivrée.	Œillet.	Capsicum.
Menthe crépue.	Muscade.	Serpollet.
Lavande.	Arum.	Piment.
Romarin.	Thym.	Pulegium.
Marjolaine.	Myrrhe.	Gaultheria.
Cajeput.	Persil.	Eucalyptus.
Sauje.	Macis.	Arnica.
Girolée.	Copahu.	Pastinaca sativa.
Cannelle.	Santal.	Heracleum.

**D. Aleurone.** — Depuis quelques années, les grains d'Aleurone ont été l'objet de nombreux travaux peu concordants <sup>1</sup>.

Pour MM. Wakker et Werminski, les grains d'aleurone sont des vacuoles desséchées. M. Van Tieghem les considère comme des hydroleucites desséchés ayant préalablement élaboré des substances albuminoïdes dans leur cavité ; pour MM. Rendle et Ludtke, ils naissent directement dans le protoplasma. M. Belzung a étudié la formation des grains d'aleurone dans plusieurs Légumineuses. Dans les graines de ces plantes (*Pisum*, *Faba*, *Phaseolus*, *Lupinus*, *Cytisus*) les grains d'Aleurone naissent à la périphérie des cellules sous la forme de

<sup>1</sup> Voyez *Revue générale de botanique*, 1889-92.

petits grains pleins et homogènes ; ils résultent, d'après l'auteur, de la précipitation de la légumine, en dissolution dans le suc cellulaire par les acides libres du suc, de plus en plus concentrés par suite de la dessiccation progressive de la graine. Ils prennent en grandissant une structure vacuolaire.

Lorsque la graine est desséchée et mûre, des matières diverses, albuminoïdes, galactane, acides organiques, etc., se concrètent dans les vacuoles des grains d'aleurone et les remplissent plus ou moins complètement. En présence de l'eau, les grains reprennent leur aspect vacuolaire.

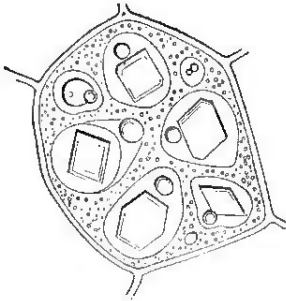


FIG. 67. — Aleurone.

Aucune graine n'est dépourvue de grains d'aleurone, mais c'est surtout dans les graines oléagineuses qu'ils abondent (Ricin, Ombellifères, etc.) (*fig. 67*).

Ils sont arrondis ou polyédriques et leur diamètre varie de  $1\ \mu$  à  $55\ \mu$ . Leur taille moyenne est de  $3-12\ \mu$ . Souvent une matière

colorante les imprègne et les colore en bleu (Knautia, Panax, Cheiranthus), en rouge (Laurus, Trachis, Theobroma), en jaune (Lupinus, Ailantus) ou en vert (Pistacia).

Les grains d'aleurone sont insolubles dans l'alcool, l'éther et les corps gras. A l'état naturel ils peuvent présenter des enclaves (globoïde, cristalloïdes, cristaux), qui se sont trouvés entourées au moment de la condensation des grains d'aleurone autour de ces corps étrangers comme centre. Les cristalloïdes ainsi inclus sont ordinairement des matières albuminoïdes cristallisées et les cristaux sont souvent de l'oxalate de chaux.

#### § 4. — LES SUBSTANCES ORGANIQUES DISSOUTES DANS LES SUCS CELLULAIRES

Les sucres végétaux en général (sucres cellulaires, latex, sève) renferment une grande quantité de principes chimiques en dissolution.

Nous allons étudier ces derniers en les rangeant dans trois groupes<sup>1</sup> :

1° Des hydrates de carbone : inuline ; amidon soluble ; dextrines ; sucres et polyglucose ; gommes ;

2° Des substances diverses, de composition chimique complexe et variée : résines ; sucres épaissis ; oléo-résines ; principes amers ; tannins ; baumes ; acides organiques ; matières colorantes.

3° Des matières azotées : alcaloïdes ; amides ; albuminoïdes.

##### I. — HYDRATES DE CARBONE

Le tableau suivant, que nous empruntons à la *Chimie agricole* de M. Dehérain, donne une vue d'ensemble des principaux principes immédiats de ce groupe (p. 290.)

1. **Inuline.** — En dehors des différentes formes d'amidon soluble, nous avons à nous occuper d'une substance très voisine de l'amidon, c'est l'inuline qui existe en compagnie de l'inuléine, son isomère.

C'est, comme l'amidon, une substance ternaire, mais lévogyre ; son pouvoir rotatoire varie de — 26 degrés à — 36 degrés (Dahlia, Topinambour).

On la rencontre souvent avec du sucre, mais jamais en

<sup>1</sup> Ce groupement n'a pas la valeur d'une classification chimique. Le deuxième groupe est, en effet, hétérogène, puisque les corps qui y sont rangés sont souvent des produits complexes dont les composants sont mal connus.

## CLASSIFICATION DES HYDRATES DE CARBONE

	1 <sup>er</sup> groupe Aldéhydes	2 <sup>e</sup> groupe Alcools	3 <sup>e</sup> groupe : Polyglucoses		
3(CH <sup>2</sup> O)	C <sup>3</sup> H <sup>6</sup> O <sup>3</sup> Aldéhyde gly- cérique.	C <sup>3</sup> H <sup>8</sup> O <sup>3</sup> . Glycérine.			
4(CH <sup>2</sup> O)	C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O <sup>4</sup> Arabinose. Xylose.	C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O <sup>4</sup> . Erythrite.			n (C <sup>5</sup> H <sup>10</sup> O <sup>5</sup> ). Gomme. Gomme de paille.
5(CH <sup>2</sup> O)	C <sup>5</sup> H <sup>12</sup> O <sup>5</sup> Arabinose. Xylose.	C <sup>5</sup> H <sup>12</sup> O <sup>5</sup> . Arabite. Xylite.	C <sup>10</sup> H <sup>18</sup> O <sup>9</sup> . Arabinobiose.		n (C <sup>6</sup> H <sup>10</sup> O <sup>5</sup> ). Dextrines. Amidon. Inuline. Cellulose.
6(CH <sup>2</sup> O)	C <sup>6</sup> H <sup>12</sup> O <sup>6</sup> Glycose. Lévulose. Galactose. Mannose. Sorbine. Isodulcité. Inosite. Quercite.	C <sup>6</sup> H <sup>14</sup> O <sup>6</sup> Mannite. Sorbite. Dulcité.	C <sup>12</sup> H <sup>22</sup> O <sup>11</sup> Saccharose. Lactose. Maltose. Tréhalose.	C <sup>18</sup> H <sup>32</sup> O <sup>16</sup> Mélésitose. Raffinose.	
7(CH <sup>2</sup> O)		C <sup>7</sup> H <sup>16</sup> O <sup>7</sup> . Perséite.	Bioses.	Trioses.	S. amylicées.

compagnie de l'amidon. Elle en joue le rôle de réserve.

Elle est précipitée des solutions aqueuses par trois parties d'alcool absolu, et les organes plongés dans l'alcool la laissent déposer en sphéro-cristaux qui peuvent atteindre 1 millimètre de diamètre (*fig. 40*).

Ces cristaux sont peu solubles dans l'eau froide, mais entièrement solubles dans l'eau à 60 degrés. Les acides transforment l'inuline en lévulose.

Les familles végétales qui renferment de l'inuline sont :

FAMILLES. — Composées : Aunée, Dahlia, Topinambour ; Campanulacées ; Lobéliacées ; Goodéniacées ; Stylidiées ; Ombellifères ; Datiscées ; Colchicacées ; Algues (*Acetabularia*) ; Lichens (*Ramalina*).

2. **Dextrines.** — On trouve dans les plantes quelques hydrates de carbone solubles : ce sont les dextrines, la lévuline, la sinistrine, la triticine, qui sont susceptibles, comme l'inuline et l'amidon, de donner du sucre par l'action des acides étendus.

La triticine et la sinistrine sont lévogyres.

La lévuline est sans action sur la lumière polarisée.

Ces trois substances donnent du sucre de fruits par l'action des acides et sont précipitées par la baryte caustique de leurs solutions alcooliques à 40 pour 100.

Les dextrines sont des substances incristallisables exerçant, comme leur nom l'indique, un pouvoir rotatoire dextrogyre.

Certaines dextrines peuvent prendre aisément naissance par l'action des acides ou des ferments solubles sur l'amidon.

Les acides les transforment en dextrose (sucre réducteur droit).

La synanthrose, observée dans les composés, et retrouvée par M. Muntz dans le seigle, appartient à ce groupe, tout en se différenciant des dextrines en donnant de la lévulose.

On peut dire que les dextrines constituent la forme de transport d'une grande partie des réserves; l'étude de leurs localisations donnerait certainement des renseignements précieux.

3. **Substances sucrées**<sup>1</sup>. — Nous avons étudié précédemment avec soin tout ce qui concerne la classification et la synthèse des substances sucrées; il nous reste peu de chose à dire.

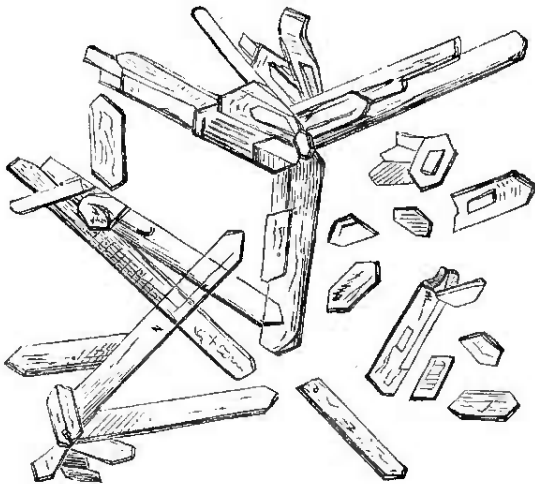


FIG. 68. — Cristaux de glucose.

Les sucres les plus répandus dans les plantes sont la *glucose*, ou sucre de raisin, ou dextrose (*fig. 68*), et la *lévulose* si commune dans les fruits mûrs et acides.

Les *saccharoses* sont très répandues dans les organes de réserve, comme les racines de Betterave et de Carotte, les tiges de Maïs, de Canne à sucre et d'Érable, les

<sup>1</sup> Les *sucres* donnent avec la phénylhydrazine des sels appelés osazones et hydrazones qui permettent de déterminer la nature de la substance sucrée. Voyez à ce sujet E. GAHN et P. JACQUARD : *Synthèses organiques*, Bull. Sc. Nat., 1892-93.



graines de Châtaignier ou de Fève, les Nectaires, etc., dans les grains de Blé, Avoine, Orge, Maïs.

Les *arabinoses* donnent différents sucres par leur saccharification.

La *synanthrose* se rencontre en compagnie de l'inuline chez les Composées et dans la graine de Seigle.

La *mélitose* se trouve dans les Eucalyptus.

La *tréhalose*<sup>1</sup> ou mycose est commune dans les Échinops et dans beaucoup de Champignons (*Agaricus sulfureus*, *Lactarius viridis*, *Mucor mucedo*...) et quelquefois en compagnie de la *mannite* (*Agaricus fusipes*, *Lycoperdon pusillum*).

La *mélézitose* se trouve dans le Méléze, la mannitose dans le Frêne, la *lactose* dans l'*Achras sapota*.

Le pouvoir rotatoire des substances sucrées est très variable; en voici quelques exemples :

Glucose .....	$\alpha = +57^{\circ},6$
Lévilose .....	$\alpha = -106^{\circ},0$
Saccharose .....	$\alpha = +73^{\circ},8$
Mélézitose d'Australie .....	$\alpha = +102^{\circ},0$
Mélézitose de Briançon .....	$\alpha = +94^{\circ},1$
Tréhalose .....	$\alpha = +200^{\circ}$

Les *mannites*<sup>2</sup> se rencontrent en abondance dans l'Érable, le Frêne, l'Olivier, le Tamarix, le Céleri, le Chiendent, dans beaucoup d'Algues (*Laminaria*) et de Champignons (*Agaricus campestris*, *albus*, *Cantharellus cibarius*, *Penicillium glaucum*).

La *dulcite* existe en abondance dans le Fusain (*Evo-nymus europæus*) et le Mélampire (*M. nemorosum*).

<sup>1</sup> Étudiée par M. BOURQUELOT (1890-94).

<sup>2</sup> Découvertes par PROUT, 1806.

L'*isodulcité* se trouve dans un grand nombre de plantes (*Quercus tinctoria*, *Aesculus hippocastanum*, *Sophora japonica*, *Capparis spinosa*, *Ruta graveolens*, etc.).

La *quercite*<sup>1</sup> est un principe sucré qu'on rencontre dans le gland du chêne.

L'*érythrite* est un corps cristallisable en prismes à base carrée et fond à 120 degrés.

Découverte par Stenhouse, en 1849, elle a été étudiée par M. de Luynes qui a reconnu sa composition (alcool tétratmique), puis par M. Lamy et par M. Berthelot.

La miellée ou « miellat », production accidentelle des feuilles de certaines plantes (Érable, Frêne, Mélèze, etc.), n'est autre chose qu'un sirop sucré qui, dans quelques cas, est exsudé par les stomates, le matin (vraie miellée), ou parfois est pompé par des pucerons qui l'absorbent et le rejettent ensuite (faux miellat) La vraie miellée est très riche en saccharose et contient différents sucres (sorbine, mannite, mélézitoze), tandis que la « fausse miellée » des pucerons est riche en gommés, tannins, etc.<sup>2</sup>

4. **Gommés.** — Elles sont très répandues dans le règne végétal. C'est surtout dans le suc cellulaire qu'on les rencontre sous forme de dissolution plus ou moins épaisse et mucilagineuse, mais elles peuvent aussi résulter de la gélification de la membrane. (Voir page 297.)

Elles peuvent se déverser au dehors dans des espaces intercellulaires, comme dans les canaux gommifères des Cycadées (tiges et feuilles); mais parfois elles prennent

<sup>1</sup> Étudiée par M. BERTHELOT et M. PRUNIER.

<sup>2</sup> Voyez GASTON BONNIER, *Sur le miellat et son origine* (Bull. Soc. bot. fr., nov. 1893.)

naissance dans la membrane même par transformation de la cellulose.

Ces gommes ont leur composition chimique identique à l'inuline et à la dextrine. L'arabine est lévogyre.

On peut rapprocher des gommes la *viscine*, substance gluante des fruits du Gui, des racines de Viorne et de l'écorce de Houx.

On peut aussi en rapprocher les matières pectiques si abondantes dans les pommes et les poires et qui donnent aussi de l'acide mucique, sous l'influence de l'acide nitrique.

Les matières gommeuses, les principes muqueux et pectiques constituent des substances très voisines jouant le rôle d'acides faibles.

Les principes muqueux sont l'arabine, l'acide arabique et l'acide gummique. Ils sont solubles dans l'eau froide, sont précipités par l'alcool et peuvent se transformer en glucose sous l'influence des acides faibles bouillants.

L'acide arabique, suivant sa provenance, peut du reste donner des glucoses très différents.

Ainsi l'arabine des betteraves donne de l'arabinose dextrogyre et cristallisable, et certaines gommes arabiques, au contraire, donnent des sucres lévogyres et non cristallisables.

L'acide arabique présente la plus grande analogie avec l'acide métapectique, et peut même être identifié avec l'acide pectique.

Comme les principes pectiques peuvent se gonfler avec l'eau, Dragendorff et Reichardt<sup>1</sup> pensent qu'ils dérivent des corps muqueux.

<sup>1</sup> DRAGENDORFF ET REICHARDT, *Arch. f. Ph.*, 1877.

Les principaux végétaux qui fournissent des gommés appartiennent aux familles des Légumineuses, des Rosacées, des Hespéridées.

D'après Guérin-Varry, les gommés seraient formées par trois principes immédiats : l'*arabine*, soluble dans l'eau ; la *cérasine*, insoluble ; et la *bassorine*, insoluble mais gonflable par l'eau.

Les travaux de M. Frémy ont démontré que l'arabine n'est autre chose qu'une combinaison d'un acide, l'acide gummique, avec la chaux et la potasse ; et que la cérasine est formée de gummates solubles et de métagummates insolubles. D'autre part, l'adragantine, de la gomme adragante est probablement un composé pectique.

D'après M. Trécul, voici le mode de formation de la gomme des Cerisiers et Pruniers :

« A la suite d'un apport trop considérable de sève et d'une nutrition exagérée des tissus en formation dans la zone génératrice de la tige, il se fait une résorption d'éléments anatomiques et des lacunes se trouvent produites où la gomme vient ensuite se déposer. »

D'après M. Prillieux, ce serait, chez le Cerisier, dans les cellules de la moelle et dans celles qui bordent les lacunes des rayons médullaires que se formeraient les gommés, aux dépens des substances nutritives des rayons médullaires et des cellules.

Les végétaux qui produisent des gommés en grande abondance sont :

1° GOMME ARABIQUE. — *Acacia vera* (Willd), famille des Légumineuses ; *A. neboued* (Guill.), *id.* ; *A. vereh* (Guill.), *id.* ; *A. Adansonii* (Guill.), *id.* ; *A. Ehrenbergii* (H.), *id.* ; *A. albida* (Delile), *id.* ; *A. tortilis*, *id.* ; *A. gummifera* (Willd), *id.* ; *A. arabica* (W.), *id.* ; *A. decur-*

*rens* (W.), *id.*; *A. leucophlea* (R.), *id.*; *A. capensis*, *id.*; *Ferronia elephantum*, famille des Hespéridées.

2° GOMME ADRAGANTE. — *Astragalus verus* (Ol.), Légumineuses; *A. creticus* (Lam.), *id.*; *A. gummifer* (Labill.), *id.*; *Sterculia tragacantha* (Lind.), Sterculiacées.

3° GOMME DU PAYS. — *Prunus cerasus* (Cerisier), Rosacées; *P. avium* (Merisier), *id.*; *P. domestica* (Prunier), *id.*; *Armeniaca vulgaris* (Abricotier), *id.*

4° GOMMES DIVERSES. — *Cassuvium pomiferum* (Lamk.), Anacardiées; *Anacardium orientale* (Lin.), *id.*; *Mangifera indica* (Lin.), *id.*; *Spondias mangifera* (Lin.), Térébinthacées; *Spondias cytherea* (Lin.), *id.*; *Aleurites triloba* (Lin.), Euphorbiacées; *Cocos nucifera* (Lin.), Palmiers.

## II. — SUBSTANCES DIVERSES

1. GOMMES-RÉSINES. — Les gommés-résines sont des sucs opaques contenus dans les vaisseaux laticifères des plantes herbacées.

Les principales familles qui les fournissent sont :

Les Ombellifères (*Assa foetida*, *Sagapenum*, *Galbanum*, Opoponax, Gomme ammoniaque);

Les Térébinthacées (Oliban, Myrrhe, Bdellium);

Les Convolvulacées (Scammonée);

Les Guttifères (Gomme-gutte);

Les Euphorbiacées (Gomme d'Euphorbe);

Les Araliacées (Gomme de Lierre) <sup>1</sup>.

La composition chimique de ces gommés-résines est très variée.

On peut en extraire des huiles essentielles, des résines,

<sup>1</sup> On trouvera des détails sur tous ces produits dans le livre de M. PENNETIER, *Matières premières organiques*.

des gommes solubles ou insolubles, de l'eau et des matières minérales : malates alcalins, oxyde de fer, etc.

**2. Résines. Oléo-résines.** — Les résines, les oléo-résines et les baumes découlent naturellement ou par incision de l'écorce et des fruits d'un grand nombre de plantes. Ces substances sont très voisines au point de vue chimique.

Les résines sont tenues en dissolution dans le végétal par les essences. Une oléo-résine exposée à l'air devient une résine par suite de la volatilisation d'une partie de l'huile essentielle qu'elle contient et de l'oxygénation de l'autre <sup>1</sup>

Les baumes eux-mêmes ne sont que des oléo-résines additionnées d'acides benzoïque ou cinnamique.

*Résines.* — Les résines sont insolubles dans l'eau, ordinairement solubles dans l'alcool chaud, l'éther, les huiles fixes et volatiles.

Dans les Térébinthacées elles se trouvent dans les zones libériennes du bois. Chez les Conifères les canaux résineux sont généralement indépendants les uns des autres dans les racines, les tiges et les feuilles.

Chez les *Pinus* et *Laryx*, les glandes résinifères occupent le bois des faisceaux et le parenchyme cortical de la racine. Chez les *Abies* elles siègent au centre de la racine et dans la tige.

Les résines renferment souvent des acides organiques. C'est ainsi que dans la résine du Pin on trouve de l'acide abiétique (anciennement acide pinique), de l'acide pimarique.

Parmi les autres nous citerons pour mémoire l'acide podocarpique, l'acide phyllique, l'acide mongunique,

<sup>1</sup> PENNETIER, *Matières premières organiques.*

l'acide résineux de la Pivoine qui a été isolé par Dragen-dorff.

L'analyse des résines et des gommes-résines, au point de vue de leur richesse en huiles essentielles, en acides résineux, en matières pectiques ou gommeuses a été faite par Hirschsohn dans un travail important<sup>1</sup>.

A la suite des gommes et des résines, citons comme analogues certains produits que renferment quelques suc épais. Au point de vue des éléments anatomiques producteurs, ils forment le passage entre les gommes-résines et les suc propres. Les principaux sont : le *caoutchouc* et la *gutta-percha*, l'*opium*, etc.

*Caoutchouc*. — C'est un produit complexe qui se rapproche des résines et des essences. On y trouve : des matières grasses, des matières azotées, une essence, des substances salines, de l'eau et deux principes dont la formule chimique est  $C^8H^7$ , mais dont l'un est ductile, adhésif et soluble dans les réactifs, tandis que l'autre est plus dense, élastique et peu soluble<sup>2</sup>

Ce produit est tenu en suspension sous forme de petites gouttelettes microscopiques dans le suc laiteux d'un grand nombre de plantes de l'Amérique du Sud, de l'Afrique et de l'Inde.

Voici les principaux végétaux exploités pour leur caoutchouc :

*Siphonia elastica*, encore appelé *Hevea guyanensis*, *Jatropha elastica* (famille des Euphorbiacées). Amérique, Réunion. — *Siphonia brasiliensis*. Brésil. — *Ficus elastica* (famille des Morées). Inde, Java, Gabon. — *Arto-*

<sup>1</sup> Ce travail est résumé en français dans l'*Encyclopédie chimique* (tome X).

<sup>2</sup> PENNETIER, *loc. cit.*

*-carpus integrifolia* (famille des Artocarpées). Antilles, Mexique. — *Castilloa elastica* (*id.*). Antilles, Équateur. — *Hancornia speciosa* (famille des Apocynées). Brésil. — *Vahea gummifera* (*id.*). Madagascar, Réunion. — *Landolphia sp.* (*id.*). Gabon. — *Urceola elastica* (*id.*). Archipel indien. — *Periploca græca* (famille des Asclepiadées). Réunion.

*Gutta-percha.* — D'après Payen, cette substance renferme trois principes immédiats, savoir : de la *gutta* pure qui en forme les trois quarts et qui est insoluble dans l'alcool et dans l'éther ; de la *fluavile*, résine jaunâtre insoluble dans l'alcool à froid, soluble dans l'éther et qui s'y trouve dans la proportion de 4 à 6 pour 100 ; de l'*albane*, résine blanche, cristallisable, très soluble dans l'alcool absolu et dont la proportion est de 14 à 16 pour 100.

La gutta-percha est extraite du suc desséché de l'*Isonandra gutta*, arbre de la famille des Sapotacées, indigène à Sumatra.

*Opium.* — C'est le suc desséché de la capsule de *Papaver somniferum*, variété *album*.

Il renferme :

1° Des alcaloïdes (voyez *Morphine*, page 325) unis à des acides organiques et minéraux ;

2° Des matières résineuses, gommés, caoutchouc ;

3° Des sels divers (8 pour 100).

3. **Dérivés divers.** — Si on traite les plantes par l'éther, on entraîne souvent différents principes qui, en solution, traités par des lessives alcalines, donnent une teinte rouge. Ces substances sont rarement à l'état libre dans les végétaux ; elles entrent souvent dans la composition des plantes sous la forme de glucosides, peu solubles



dans l'éther et qui sont ternaires ou quaternaires <sup>1</sup>

Les principaux de ces dérivés sont :

L'*acide chrysophanique*, qu'on rencontre dans les feuilles de Rhubarbe et de Sené ; l'*émodyne* ; l'*érythrorétine* et la *phéorétine*, qui se trouvent aussi dans la Rhubarbe et constituent des produits de dédoublement de l'*acide chrysophanique* ; la *chrysarobine* ; l'*acide frangulique* ; l'*alizarine* et la *purpurine* de la racine de garance ; l'*érythrosclérotine* du seigle ergoté ; l'*acide rubérythrique* ; la *rammine* ; la *xanthorhammine* ; la *rhinacanthine*, extraite de l'écorce du *Rhinacanthus communis* ; l'*alkanine* ; la *bixine* ; la *curcumine* ; l'*hématoxyline* ; la *brésiline* ; la *santaline*, etc...

Ces corps sont pour la plupart des principes colorants importants. A la suite de ces corps nous pouvons citer : l'*acide gallique*, la *catéchine* et la *pyrocatéchine*, le *quercitrin* et la *quercitrine* d'où on rapproche généralement la *rutine*, la *robinine*, la *sophorine*, la *violaquercitrine*, la *queroëscitrine* et trois produits qu'on extrait du rhizome du *Podophyllum peltatum* : la *podophyllotoxine*, le *picro-podophyllin*, l'*acide podophyllique*.

4. **Glucosides.** — Parmi les glucosides ou corps analogues nous devons citer :

Le jalapinol dans la résine de Scammonée ; la jalapine, dans la résine de Jalap ; la tampicine, du Jalap de Tampico ; la convolvuline, du Jalap ; la turpéthine ; la santonine, des graines d'*Artemisia contra* ; la picrotoxine ; la digitaline de la digitale ; la digitoxine, qui par les acides donne la toxirésine ; la digitaléine, la digitonine, la digitine, trois substances qu'on rencontre aussi dans la

<sup>1</sup> *Arch. f. Pharm.*, 3<sup>e</sup> série, t. IX, p. 426.

digitale ; la cyclopine, qu'on peut extraire du Thé du Cap ; la rhinanthine contenue dans les semences du *Rhinanthus alectorolopus* et chez quelques Méléampyres ; la coriamyrtine, des baies et feuilles du *Coriara myrtifolia* ; l'éricoline et la pinipicrine ; la vanilline, principe aromatique de la Vanille ; l'osthrutine ; la peucedanine ; la cubébine ; la bétuline, etc. etc.

Les glucosides sont azotés ou non azotés ; traités par les acides ou soumis à l'action des ferments, ils donnent des produits de dédoublements qui sont soit volatils et odorants, soit solides et inodores.

**GLUCOSIDES DONNANT DES PRODUITS DE DÉDOUBLEMENT GAZEUX.** — 1. *Glucosides azotés.* — Nous pouvons ranger dans cette catégorie :

L'amygdaline et la laurocératine des Rosacées ; la sinalbine des graines de Moutarde blanche.

2. *Glucosides non azotés.* — Citons :

L'éricoline, la ményanthine et la pinipicrine.

**GLUCOSIDES DONNANT DES PRODUITS DE DÉDOUBLEMENT INODORES.** — Nous mentionnerons :

La confiférine (Mélèze, Sapin), l'arbutine (Arctostaphylos), la daphnine (écorce du Mezereum), la salicine (saule), la populine (Peuplier), la benzohélicine (écorce de Saule), l'esculine, la fraxine (Frêne), la syringine (Syringa), la colocynthine (Colocynthe), la bryonine (Bryone), la physaline (Physalis), la dulcamarine (Douce amère), l'hespéridine (Oranger), la convallarine (Convallaria), l'helléborine (Hellébore), la saponine (Saponaire), etc. etc.

Parmi les *principes amers* qui sont aussi si variés et qui ont donné lieu à tant de travaux, nous nommons :

L'absinthine, l'adansonine, l'antirine, l'aristolochine

l'arnicine, l'aselépiadine, l'acide bébérique, la caryophylline, l'élatérine, l'érythrocentaurine, l'eupatorine, la guacine, l'amer du Houblon, la junipérine, la lycopine, la marrubiné, la méconine.

Chez les Cryptogames on rencontre une série de composés chimiques qui sont en général acides et solubles dans l'éther. Citons :

L'acide rocellique, l'acide orsellique, l'acide gyrophorique, la picrolichnine, la variolinine, l'acide cétrarastéarique, l'acide lobarique, etc..., qui peuvent donner de l'*orcine* par décomposition.

5. **Tannins.** — Enfin, une place spéciale doit être faite aux acides tanniques ou tannins. Ce sont des acides faibles qui jouissent de propriétés très spéciales.

1° Ils précipitent les solutions de gélatine et de matières albuminoïdes ;

2° Ils sont absorbés par un morceau de peau fraîche et forment avec elle une combinaison rigide et imputrescible ;

3° Ils communiquent aux sels ferriques une coloration noirâtre, bleue ou verte.

Le tannin ordinaire est le plus souvent en dissolution dans le suc cellulaire<sup>1</sup>, mais il peut se présenter en gouttelettes molles comme dans les écorces de Chêne, de Peuplier, de Bouleau, de Mimosa, d'Oxalis...

Les jeunes tissus renferment quelquefois de grandes quantités de tannins. Certaines écorces de Quercus en contiennent 46 pour 100 à l'état jeune ; les galles du Chêne en renferment jusqu'à 26 pour 100.

On les rencontre dans les parties les plus diverses :

<sup>1</sup> Voyez DANIEL, Thèse de doctorat, 1890.

Feuilles et fleurs : *Thea*, *Vaccinium*, *Erica*, *Arbutus*, *Pyrola*, etc. ;

Fruits : *Acacia*, *Juglans*, etc.

Racines : *Aspidium filix mas*, etc.

Dans le protoplasma cellulaire, si riche en matières albuminoïdes, le tannin ne précipite pas ces substances.

Ajoutons qu'on a rangé sous le nom de tannins beaucoup de principes analogues, mais distincts.

On appelle aussi souvent tannin l'ensemble de plusieurs acides tanniques.

Ainsi la noix de galles a la composition suivante :

Acide quercitanannique, colorant en bleu les persels de fer.	65
Acide gallique.....	2
Acide ellagique.....	} 2
Acide lutéo-gallique (principe colorant jaune).....	
Acide pectique.....	traces
Chlorophylle.....	0,7
Matière extractive.....	2,5
Gomme.....	2,5
Amidon.....	2
Ligneux.....	40,5
Sucres liquide, albumine, sulfates, chlorures, gallates ...	4,3
Oxalates, phosphates.....	41,5
Total.....	100

## FAMILLES VÉGÉTALES D'OU L'ON RETIRE LES RÉSINES

### LES OLÉO-RÉSINES ET LES BAUMES

1° *Résines*. — Térébinthacées (résine mastic); Zygophyllées (résine de gaïac); Légumineuses (résines copals); Conifères (dammar, sandaraque); Cistinées (ladanum); Convolvulacées (résine de jalap);

2° *Oléo-résines*. — Térébinthacées (éléinis, tacamaques, baume de la Mecque, térébenthine de Chio); Burséracées (résines de gommart); Légumineuses (baume de copahu); Conifères (térébenthine, poix, galipot);

3° *Baumes*. — Styračinées (benjoin, storax); Styraçifluées (styrax,

liquidambar); Légumineuses (baume de Tolu et du Pérou); Palmiers (sang-dragon).

Les produits utilisés que nous venons d'énumérer sont de composition très variée et très complexe; ce sont des produits impurs pour la plupart, mais qui donnent une idée des produits résineux végétaux.

RÉSINES. — *Résine de gaiac*. — Elle découle de l'écorce du *Gua-jacum officinale*. A l'analyse, on trouve :

Acide gaïarétique.....	10,5
Acide gaïaconique.....	70,35
Acide gaïacique.....	2,33
Résine.....	9,76
- Gomme.....	3,70
Ligneux.....	2,57
Substances diverses.....	0,79

*Résine mastic*. — Elle est fournie par le genre *Pistacia*. Ce produit renferme deux résines, dont l'une acide et soluble dans l'alcool représente les 90 pour 100, et dont l'autre est neutre et insoluble dans l'alcool.

*Résines copals* — Produit fourni par les genres *Hymenocœa*, *Guibourtia*, *Trachylobium*. Ils renferment cinq résines solubles respectivement dans cinq réactifs différents (alcool à 67 degrés, alcool absolu, solution de potasse caustique, ammoniaque, éther).

*Dammar*. — Résine de plusieurs Conifères du genre *Dammara*, de deux Diptérocarpées (*Shorea robusta* et *Vateria indica*) et d'une Burséracée (*Canarium strictum*).

*Sandaraque*. — Elle découle du *Callitris quadrivalvis*. Elle est soluble dans l'alcool.

*Ladanium*. — Résine des feuilles des *Cistus ladanifer*, *Cistus creticus*, *Cistus cypricus*.

Cette résine a donné à l'analyse qui a été faite par Guibourt :

Résine et huile essentielle.....	86
Cire.....	7
Divers.....	6
Eau.....	1

*Résine de jalap*. — Elle s'extrait des racines de deux Convolvulacées (*Convolvulus off.* et *Convolvulus orizabensis*).

On y trouve deux principes résineux : la *convolvuline*, insoluble dans l'éther, et la *jalapine*, soluble dans l'éther.

OLÉO-RÉSINES. — *Résine élémi.* — Elle est produite par les genres *Icica*, *Elaphrium-Canarium* (Térébinthacées).

L'élémi donne à l'analyse : résine, 60 ; élémine, 24 ; essence, 12,5 ; extrait amer et divers, 3,5.

*Térébenthine de la Mecque* (Baume de la Mecque, baume de Judée, baume oriental). — Cette oléo-résine découle du *Balsamodendrum opobalsamum*. Elle renferme une huile essentielle, 10 pour 100 ; deux résines, 70 pour 100 et 12 pour 100, et diverses substances.

*Térébenthine de Chio.* — Elle est fournie par l'écorce du Térébinthe (*Pistacia terebinthus*).

*Térébenthine de copahu.* — Elle est sécrétée par plusieurs *Copaïfera*, *C. off* *C. coriacea*, *C. Langsdorfi*. On y trouve de l'huile volatile, 50 pour 100 ; de l'acide copahivique, 38 pour 100 ; résine, 12 pour 100.

*Térébenthine de Venise.* — On la récolte sur le Méléze (*Pinus larix*).

*Térébenthine de Strasbourg.* — Elle est produite par l'*Abies pectinata* et renferme 30 pour 100 d'une essence spéciale.

*Poix de Bourgogne.* — Elle se récolte sur l'*Epicea* ou Sapin noir.

*Térébenthine du Canada.* — Cette oléo-résine est récoltée sur l'*Abies balsamea* ; on peut la dissoudre totalement dans le chloroforme. Sa composition est la suivante : essence, 24 ; deux résines, 59 pour 100 et 16 pour 100.

*Térébenthine commune.* — Elle s'extrait du Pin maritime, *Pinus maritima* ou *P. pinaster*, et des *Pinus austriaca*, *P. sylvestris*, *P. tuda*, *P. australis*.

Différentes résines, très diverses de composition, sont encore fournies par les arbres suivants :

Espèces végétales	Familles.
<i>Icica heptaphylla</i> .....	Térébinthacées.
— <i>guyanensis</i> .....	—
<i>Elaphrium tomentosum</i> .....	—
<i>Calophyllum calaba</i> .....	Guttifères.
— <i>marixæ</i> .....	—
— <i>tacahamaca</i> .....	—
— <i>inophyllum</i> .....	—
<i>Bursera gummiifera</i> .....	Clusiacées.
<i>Symphonia globulifera</i> .....	—
Etc. etc...	

BAUMES. — *Sang-dragon.* — Baume des fruits du *Calamus draco* (Palmier), du *Pterocarpus draco* (Légumineuse), *P. indicus*, *P. santalinus*, et *Dracæna draco* (Liliacée).

Il renferme : Résine acide ou *draconine*, 90 pour 100 ; de l'acide benzoïque, 2 pour 100, et des substances diverses, 8 pour 100.

*Benjoin*. — Il découle du styrax benjoin ou *S. off.* et contient cinq résines diverses, une huile essentielle de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique.

*Storax*. — Le baume du *styrax officinal* contient une résine et de l'acide benzoïque ou cinnamique.

*Liquidambar*. — Ce baume est produit par le *Liquidambar styraciflua*. Il renferme un corps spécial, la styracine, 20 pour 100; une résine, 49 pour 100, et des principes divers.

*Baume de tolu*. — Il provient du *Tolufera balsamum* (Baillon), (Légumineuse). Sa composition chimique est la suivante : une essence (tolène), des acides benzoïque et cinnamique et deux résines.

*Baume du Pérou*. — Il est sécrété par le *Myroxylon peruiferum* (Légumineuse). On y rencontre une résine, une huile volatile, de l'acide cinnamique, etc.

**6. Acides végétaux.** — On peut les ranger en acides fixes et acides volatils.

Les premiers sont de beaucoup les plus importants.

Les acides fixes polybasiques surtout sont très communs dans les fruits; toutefois on en rencontre dans les racines et dans les tiges et les feuilles : tels sont, par exemple, l'acide valérique des racines et les acides oxalique, malique, tartrique, dont quelques-uns sont si répandus dans les plantes à tissu parenchymateux très développé (plantes grasses). En raison de leur importance dans la vie de ces plantes, nous allons donner sur leur rôle quelques détails.

On sait depuis longtemps (Mayer) que les plantes grasses possèdent une réaction acide, surtout à l'obscurité.

L'acide isomalique se trouve chez toutes les Crassulacées avec des traces d'acide tartrique et parfois du tannin.

Chez les Mésembryanthémées, l'acide oxalique remplace l'acide malique. Les Cactées présentent, outre

l'acide malique des gommes mi-partie insolubles et se gonflant dans l'eau (Trécul).

M. Aubert <sup>1</sup>, dans son Mémoire sur les acides organiques, est arrivé aux résultats suivants :

Les plantes grasses fabriquent des acides organiques pendant la nuit. Or, contrairement à l'opinion de M. de Vries la formation des acides organiques à l'obscurité est une conséquence de l'assimilation du carbone par ces végétaux exposés préalablement à l'action de la lumière.

Les principes carbonés, assimilés par la plante à la lumière, sont élaborés pendant la nuit et prennent transitoirement la forme d'acides organiques de réserve. Dès le retour de la lumière, le végétal utilisera ces acides, en faisant participer leurs éléments à des combinaisons plus complexes provoquées par les radiations nouvelles. Aussi sous l'influence de la lumière la plante accuse-t-elle une plus faible acidité.

Si l'on prolonge la durée de l'obscurité à laquelle la plante grasse a été soumise, la proportion des acides organiques diminue au bout d'un temps variable, d'autant plus rapidement que la plante est plus charnue.

Le végétal utilise alors ses réserves acides plus lentement et d'une manière imparfaite (organes nouveaux sans chlorophylle).

Ainsi les deux phénomènes de l'assimilation chlorophyllienne et de la formation des acides organiques sont étroitement liés : l'expérience montre que la répartition de ces acides chez les plantes grasses est en accord avec le développement de la chlorophylle.

En effet, la richesse en acide malique d'une tige et des

<sup>1</sup> E. AUBERT, Thèse de doctorat, 1891.



feuilles qu'elle porte croît à partir du bourgeon terminal jusqu'à un certain point de la tige dont les feuilles très vertes ont atteint leur développement maximum; puis, elle décroît chez les feuilles inférieures qui commencent à subir une altération.

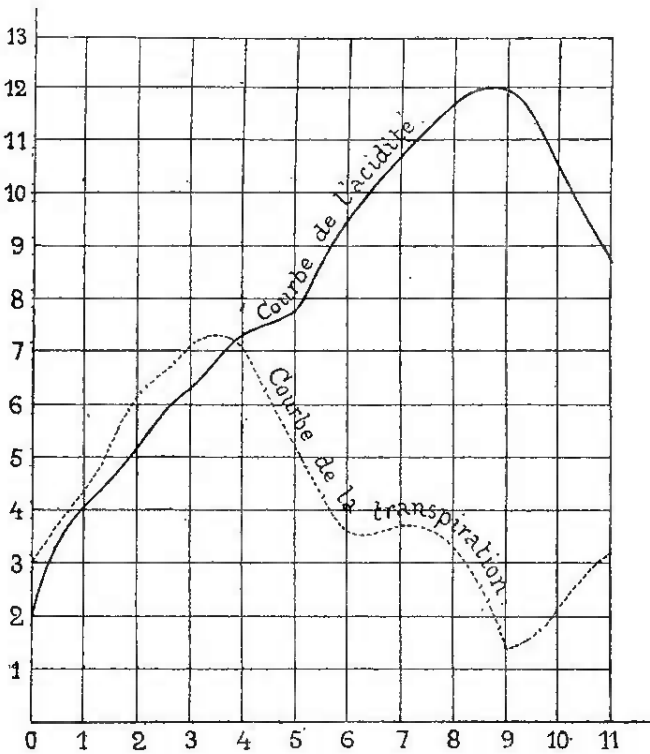


FIG. 69. — La répartition des acides et la transpiration.

Les acides organiques, les glucoses, les gommés en dissolution dans l'eau ralentissent l'évaporation; or, les végétaux charnus renferment de 90 à 97 pour 100 d'eau.

Il s'ensuit que les acides organiques chez les Crassulacées, les acides et les gommés chez les Cactées retardent la transpiration de ces plantes. L'étude expérimentale a prouvé en effet que la courbe de l'eau transpirée par les diverses régions d'une plante grasse pré-

sente un minimum correspondant au maximum de la courbe de l'acide malique contenu dans les mêmes régions (*fig.* 69).

Warburg, de son côté, a essayé d'interpréter l'intervention de la lumière dans la formation des acides et celle de l'obscurité dans leur destruction.

Il conclut que les acides se forment en quantité d'autant plus grande que l'élaboration des principes chlorophylliens a été plus abondante, et en outre que l'accès de l'oxygène dans les tissus a été plus difficile.

Dans les plantes grasses, en effet, où les acides sont abondants, la circulation des gaz est moins facile et moins rapide que dans une feuille à parenchyme mince : l'oxygène y produit ces actions ménagées qu'on observe quand on attaque des hydrates de carbone par de l'acide azotique dilué. L'oxydation dans ce cas ne réduit pas les hydrates de carbone en acide carbonique et en eau, mais donne des produits intermédiaires : l'acide tartrique, oxalique, etc.; si cependant cette oxydation se continue, on arrive jusqu'aux produits saturés d'oxygène : acide carbonique et eau. C'est ce qui a lieu pendant le jour, où l'action se complète : les matières neutres déjà oxydées, mais restées à l'état d'acides, se brûlent complètement et disparaissent sous forme d'eau et d'acide carbonique.

Pendant la première partie de l'opération, la quantité d'acide carbonique formée pendant la respiration est inférieure à la quantité d'oxygène absorbée, puisqu'une partie de cet oxygène reste fixée sur la matière organi-

que. On trouve  $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}} < 1$ ; c'est ce qu'ont observé MM. Déhérain, Maquenne et Moissan.

Ces savants ont trouvé que  $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$  croît avec la température; aussi peut-on concevoir que, pendant une nuit fraîche, l'oxygène ne brûle qu'incomplètement les hydrates de carbone accumulés pendant le jour par l'activité chlorophyllienne et que des acides apparaissent.

A. ACIDES FIXES. — Nous avons vu, à propos de la synthèse des acides, qu'on pouvait les ranger en deux groupes.

Nous n'insisterons pas sur les acides gras, qui sont avec la glycérine la base des corps gras.

Parmi les acides, nous avons à citer comme répandus chez beaucoup de plantes :

1° *L'acide oxalique*  $\text{C}^2\text{H}^2\text{O}^4$  — (Voir son étude page 178.)

2° *L'acide malique*  $\text{C}^4\text{H}^6\text{O}^3$ . — Il existe dans les végétaux, soit à l'état libre, soit en combinaison avec les bases alcalines. On a constaté sa présence dans les pommes vertes acides, dans les baies de l'épine-vinette, du sorbier, du sureau, dans les groseilles à maquereau, les cerises, les fraises, les framboises, les coings, dans les racines de guimauve, d'angélique, de bryone, de réglisse, de garance, dans les carottes et les pommes de terre, dans les feuilles et les tiges d'aconit, de belladone, de chanvre, de grande chélidoine, de laitue, de tabac, de pavot, de valériane, de mélilot; dans les fleurs de camomille, de sureau, de bouillon blanc; dans l'ananas et le raisin, dans les graines de cumin, de persil, d'anis, de lin, de poivre, etc.

L'acide malique des végétaux est lévogyre.

3° *Les acides tartriques*  $\text{C}^4\text{H}^6\text{O}^6$ .

L'acide tartrique dextrogyre est très répandu dans

le règne végétal ; sa présence à l'état libre ou de combinaison avec la chaux ou la potasse a été constatée dans la sève de la vigne au printemps, dans les raisins, les tamarins, les pélargoniums, les baies de sorbier, les graines d'evonymus, les feuilles de chélidoine, les pommes de terre, les topinambours, etc...

4° *L'acide citrique*, qu'on trouve dans le jus de citron et dans la plupart des fruits acides (groseilles, framboises, fraises, tomates).

**B. ACIDES VOLATILS.** — Ils sont plus rares que les premiers dans les végétaux. Ce sont :

1° *L'acide cyanhydrique*  $C^2AzH$ . — Très vénéneux et qui est caractéristique dans la famille des Rosacées où il est très répandu dans les feuilles et les fruits.

2° *L'acide formique*  $CH^2O^2$ . — Il a été constaté dans les tamarins, la saponaire, etc.

3° *L'acide acétique*  $C^2H^4O^2$

4° *L'acide butyrique*  $C^4H^8O^2$ . — Il a été trouvé dans les fruits du Ginko biloba.

5° *L'acide valérique*  $C^5H^{10}O^2$ . — Il peut s'extraire de la racine d'angélique, de la valériane et des fruits de la vioerne, etc.

**7. Matières colorantes.** — Les matières colorantes végétales peuvent être rangées sous les deux noms de pigments et de matières colorables.

Les fleurs, fruits, graines, tiges, racines, peuvent renfermer ces substances.

L'étude chimique des matières colorantes est encore très imparfaite, et l'on peut y relever bien des faits controversés. Dans tous les cas, on peut admettre une grande parenté entre les pigments colorés des fleurs, qui cependant sont si variés de teintes et de nuances.

Les matières colorantes se présentent sous deux aspects bien différents :

1° Les chromoleucites ou substances colorantes, insolubles, qui proviennent toujours d'un leucite primitivement incolore ; on trouve des chromoleucites violets, aunes, rouges, bleus et verts (chloroleucites) ;

2° Les substances colorantes solubles toujours dissoutes dans le suc cellulaire. La couleur des pétales est ordinairement produite par ces substances dissoutes qui, en raison de leur variété, sont peu connues au point de vue chimique.

Notons cependant que quelques-unes de ces couleurs peuvent changer brusquement de teinte par suite d'une modification graduelle dans l'alcalinité ou l'acidité du suc cellulaire. Exemple : les fleurs de *Myosotis*, de *Consoude*..., qui passent facilement du bleu au rouge.

Dans les organes souterrains c'est presque toujours une substance colorante soluble<sup>1</sup>, et la production de ce pigment paraît liée intimement à l'accumulation des réserves, et par suite à toutes les conditions du milieu qui peuvent faire varier la composition chimique du végétal.

Les chromoleucites ont fait l'objet d'études nombreuses.

On peut dire qu'il existe une relation générale entre la couleur d'un pigment et la forme qu'il revêt ; mais cette forme est en réalité sous la dépendance directe de la nature de ce pigment, de l'état cristallin ou amorphe dans lequel il se trouve, enfin de l'absence ou de la présence de cristaux protéiques dans le chromoleucite.

On peut admettre les principes généraux suivants :

1° Les pigments *violets*, *roses* ou *bleus* sont toujours en

<sup>1</sup> EDMOND GAIN, *Sur la matière colorante des organes souterrains*.  
GAIN. — *Chimie agricole*.

solution dans le suc cellulaire. Le pigment bleu se présente parfois à l'état de cristaux, mais ces derniers sont sans relation avec les leucites ;

2° La teinte *rouge* est déterminée le plus souvent par un suc, assez fréquemment aussi par des chromoleucites ou par des cristaux formés dans des chromoleucites ;

3° Les teintes *jaune orangé* et *rouge orangé* sont dues le plus souvent à des chromoleucites ou à des cristaux qui en dérivent, plus rarement à des sucs colorés. Les pigments orangés et les pigments rouges sont tous deux différents, suivant qu'ils se présentent en solution ou sous un aspect figuré ;

4° La teinte *jaune* est produite tantôt par des chromoleucites, tantôt par des pigments dissous.

Les chromoleucites sont toujours formés d'un substratum ou stroma protéique, auquel sont unis un ou plusieurs pigments. Le pigment et la matière protéique peuvent s'y trouver isolément ou simultanément, à l'état amorphe ou à l'état cristallin.

Les cristaux et cristalloïdes de pigment pur existent aussi dans les fruits et les graines (Tomate...) et parfois dans certaines fleurs.

M. Courchet <sup>1</sup> est arrivé à des conclusions très générales relatives aux pigments. Il distingue :

1° Les pigments jaunes toujours amorphes, beaucoup plus solubles dans l'alcool que dans le chloroforme et l'éther, bleuisant par l'acide sulfurique concentré en prenant d'abord une teinte verte intermédiaire.

2° Les pigments orangés plus solubles dans l'éther et le chloroforme que dans l'alcool, naturellement cristal-

<sup>1</sup> COURCHET, Thèse de doctorat, 1888.

lisés ou amorphes, le plus souvent susceptibles de fournir artificiellement des cristaux ou des cristallites, bleuissant par l'acide sulfurique concentré en prenant une teinte rouge violacé ou violette intermédiaire.

Chez les végétaux inférieurs, Algues et Lichéns, on est parvenu à isoler différentes matières colorantes : *phycoérythrine* ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) des Floridées, *phycocyanine* des Cyanophycées, etc.

Enfin, chez les végétaux supérieurs, M. Molisch a fait une étude spéciale de l'*anthocyane*, qui se rencontre dans les feuilles des *Amaranthus*, *Perilla*, *Coleus*, dans les fleurs du *Viola tricolor*, etc.

L'anthocyane, d'un violet pourpre, bleuit sous l'influence d'un alcali; si cette quantité augmente, elle devient verte, puis jaune et finalement incolore.

A l'état normal, le suc cellulaire est en général acide ou neutre, le protoplasma seul est alcalin. Tant que vit la cellule, l'anthocyane contenue dans le suc cellulaire ne peut pénétrer dans le protoplasma, qui est imperméable.

A la mort de la plante, au contraire, le protoplasma se mélange au suc cellulaire, ce qui amène les changements de teintes de l'anthocyane.

Les matières colorantes qui ont donné lieu à des travaux analytiques sont celles des plantes que l'industrie exploite.

Voici au sujet surtout de quelques-unes d'entre elles des données plus ou moins définitives :

TABLEAU DES PRINCIPALES MATIÈRES COLORANTES VÉGÉTALES

Plantes	Localisations	Matières colorantes
<i>Bixa orellana</i> (Rocou)	Graine	Principe color. jaune : orelline ; pr. col. rouge (bixine) (Chevreul).
<i>Rhamnus</i> (Graines jaunes)	Fruits	Rhaunine et rhamnigine (isomères) (Lefort)
<i>Carthamus tinctorius</i> (Carthame)	Fleurs	Pr. rouge : carthamine ou acide carthamique ; pr. jaunes : 2 matières colorantes.
<i>Crocus sativus</i> (Safran)	Stigmates	Pr. jaune : safranine ou crocine.
<i>Reseda luteola</i> (Gaude)	Inflorescence	Pr. jaune : lutéoline (Chevreul).
<i>Quercus tinctorius</i> (Quercitron)	Écorce	3 mat. col. : rouge, brune, jaune ; pr. jaune actif : acide quercitrrique
<i>Hematoxylon campechianum</i> (Bois de Campêche)	Bois	Pr. colorable : hématoxiline.
<i>Corsalpinia</i> (Bois rouges du Brésil)	Bois	Pr. colorable : glycoside : brésiline (Schützenberger, Chevreul).
<i>Pterocarpus</i> (Bois de Santal)	Bois	Pr. rouge : santaline (Pelletier).
<i>Morus tinctoria</i> (Bois jaune)	Bois	2 pr. actifs isomères. Principe colorable : morin blanc (Chevreul) ou acide morique (Wagner) ; pr. colorant : morin jaune (Chevreul) ou ac. morintannique ou maclurine.
<i>Rhus cotinus</i> (Bois de Sumac)	Bois	1 pr. col. : rouge, brun, jaune (fustine).
<i>Holchus saccharatus</i> (Sorgho)	Fruits	2 pr. rouge : sorghotine et sorghiline.
id.	Tiges	Xantholéine.
<i>Rhus et Coriaria</i> (Sumac)	Feuilles	Pr. jaune, acide gallique, tannin.
<i>Indigofera</i> (Indigo)	Feuilles	Mat. colorable en bleu : indigotine ; Pr. brun, rouge.
<i>Isatis tinctoria</i> (Pastel)	Feuilles	Indicane (glycoside).
<i>Rubia tinctoria</i> (Garance)	Racines	Glycosides colorables : alizarine, pseudo-purpurine.
<i>Anchusa tinctoria</i> (Buglosse)	Racines	Pr. rouge : anchusine ou acide anchusique (Pelletier).
<i>Berberis vulgaris</i> (Epine-Vinette)	Racines	Pr. jaune : herbérine.
<i>Rocella tinctoria</i> (Lichens)		Acides colorables : acide rocélique, acide lecanorique, transformables en orcine.



## III. — SUBSTANCES AZOTÉES

1° **Alcaloïdes.** — Les alcaloïdes naturels se trouvent combinés aux acides organiques dans diverses plantes dont ils constituent le principe actif.

Les uns sont liquides et, quand ils sont volatils, ils ne contiennent pas d'oxygène : telle est la nicotine. Les autres sont solides et fixes et renferment les quatre éléments, C, H, O, Az.

Ils sont peu solubles dans l'eau ; leur principal dissolvant est l'alcool. Les alcalis minéraux les précipitent de leurs dissolutions en s'emparant de l'acide. On se fonde sur cette réaction pour les extraire.

Les alcaloïdes volatils sont comparables, pour la composition, aux anines ou ammoniaques composées. Les autres ont une structure chimique moins bien connue. On les rapporte ordinairement au type des bases ammoniacales.

Les végétaux renferment une grande quantité d'alcaloïdes, quelques-uns sont bien caractéristiques de certaines espèces, mais pour la plupart ils existent à l'état de mélanges dans plusieurs espèces voisines appartenant à une même famille végétale.

Quelques-unes en renferment en grand nombre, telles sont les familles des Solanées, les Ombellifères, les Papavéracées, des Rubiacées, etc.

Quel est le rôle des alcaloïdes dans la plante ? Sont-ils des résidus, autrement dit des produits d'excrétions inutiles ? Ou bien peuvent-ils être considérés comme des matériaux de réserve utilisés à un certain moment de l'évolution des organes ?

TABLEAU DES PRINCIPAUX ALCALOÏDES VÉGÉTAUX

Formules	Alcaloïdes	Plantes	Familles
$C^{30}H^{17}AzO^7$	Aconitine.	<i>Aconitum napellus</i> .	Renonculacées.
»	Amanitine.	<i>Amanita</i> .	Champignons.
$C^{17}H^{23}AzO^3$	Atropine.	<i>Atropa</i> .	Solanées.
»	Berberine.	<i>Berberis</i> .	Berberidées.
$C^{23}H^{26}Az^2O^4 + 4 aq.$	Brucine.	<i>Strychnos n. vomica</i> .	Strychnées.
$C^8H^{10}Az^1O^2$	Caféine.	<i>Coffea</i> .	Rubiacées.
»	Chélidonine.	<i>Chelidonium</i>	Papavéracées.
$C^{20}H^{24}Az^2O$	Cinchonine.	<i>Cinchona</i> .	Rubiacées.
»	Colchicine.	<i>Colchicum</i> .	Colchicacées.
$C^{18}H^{21}AzO^3 + aq.$	Codéine.	<i>Papaver</i> .	Papavéracées.
$C^8H^{15}Az$	Conicine.	<i>Conium</i> .	Ombellifères.
»	Curarine.	<i>Cocculus toxiciferus</i> .	Ménispermées.
$C^{22}H^{25}Az^3O^6$	Delphinine.	<i>Delphinium</i> .	Renonculacées.
$C^{42}H^{68}Az^3O^7$	Delphinoidine.	id.	Id.
$nC^5H^8O^3$	Digitaline.	<i>Digitalis</i> .	Scrofulariées.
$C^{20}H^{30}Az^2O^5$	Emétine.	<i>Ipeca</i> .	Rubiacées.

$C^{15}H^{12}Az^3O^2$	Esérine.	<i>Physostigma.</i>	Phaséolées.
»	Hyoscyanine.	<i>Hyoscyamus.</i>	Solanées.
$C^{17}H^{19}AzO^3 + aq.$	Morphine.	<i>Papaver</i>	Papavéracées.
»	Muscarine.	<i>Muscari.</i>	Liliacées.
$C^{23}H^{29}AzO^9$	Narcéine.	<i>Papaver.</i>	Papavéracées.
$C^{22}H^{23}AzO^7$	Narcotine.	<i>Papaver.</i>	Papavéracées.
$C^{10}H^{14}Az^2$	Nicotine.	<i>Nicotiana.</i>	Solanées.
$C^{20}H^{21}AzO^4$	Papavérine.	<i>Papaver.</i>	Papavéracées.
»	Pilocarpine.	<i>Piper reticulatum.</i>	Pipéracées.
$C^{17}H^{19}AzO^3$	Pipérine.	<i>Piper nigrum.</i>	Pipéracées.
$C^{20}H^{24}Az^2O^2 + 2 aq.$	Quinidine.	<i>Cinchona.</i>	Rubiacées.
$C^{20}H^{24}Az^2O^2 + 3 aq.$	Quinine.	<i>Cinchona.</i>	Rubiacées.
$C^{43}H^{69}AzO^{16}$	Solanine.	<i>Solanum.</i>	Solanées.
$C^{21}H^{20}Az^2O^2$	Strychnine.	<i>Strychnos nux vomica.</i>	Strychnées.
$C^{22}H^{33}Az^3O^3$	Staphysagrine.	<i>Delphinium staphysagria.</i>	Renouculacées.
»	Taxine.	<i>Taxus baccata.</i>	Conifères.
$C^{19}H^{21}AzO^3$	Thébaïne.	<i>Papaver.</i>	Papavéracées.
$C^7H^8Az^4O^2$	Théobromine.	<i>Theobroma cacao.</i>	Malvacées.
$C^{32}H^{52}Az^2O^8$	Vératrine.	<i>Veratrum.</i>	Colchicacées.

D'après Heckel <sup>1</sup>, c'est cette dernière hypothèse qui est vraie. Opérant sur des graines de *Sterculia acuminata*, il a observé que la caféine de ces graines disparaît lentement pendant la germination. Dans le *Strychnos nuxvomica* on voit aussi les alcaloïdes de l'endosperme disparaître avec le développement de l'embryon.

Il faut admettre en tout cas que les alcaloïdes libres dans l'organisme sont rares et en petite quantité, car l'arrosage des plantes avec les solutions de leurs propres alcaloïdes les fait mourir (Réveil, 1865). Dans la plante les alcaloïdes se trouvent en général combinés aux acides organiques ou minéraux.

Nous donnons, dans le tableau des pages 318 et 319, les principaux alcaloïdes naturels végétaux avec le nom de la plante qui les contient.

Bien des plantes possèdent plusieurs alcaloïdes en dissolution de leur suc cellulaire, citons les exemples classiques suivants :

De l'écorce des Quinquinas on peut en extraire quatorze dont les plus importants sont : quinine, cinchonine, conchinine, cinchonidine, etc. ;

Du suc de Pavot (*Papaver somniferum*) on en extrait une dizaine : l'opium renferme la morphine, la narcotine, la codéine, etc. ;

La noix vomique contient de la strychnine et de la brucine ;

Enfin, dans beaucoup d'espèces d'où on avait extrait un alcaloïde, comme par exemple la delphinine, on a pu isoler un alcaloïde très voisin, la delphinoïdine.

Ajoutons que, depuis quelques années, le nombre des

<sup>1</sup> HECKEL, *Comptes rendus*, t. CX, p. 88.

alcaloïdes naturels découverts dans les végétaux s'est considérablement augmenté. Citons :

L'ergotinine, du seigle ergoté<sup>1</sup>; la picrosclérotine, (*id.*); la cocaïne et l'hygrine; la corydaline, du Corydalis; la cytisine, du Cytise; la québrachine, etc., de l'écorce de Quebracho; la gelsémine, de la racine du *Gelsemium sempervirens*, ou *Bignonia sempervirens*; l'hydrastine, du rhizome de l'*Hydrastis canadensis*; la lycopodine, du *Lycopodium complanatum*, seul alcaloïde extrait des Cryptogames vasculaires; la rotoïne et la scopoléine, extraits du *Scopolia japonica*; Belladone du Japon; la spigéline, qu'on retire du *Spigelia marilandica*; la pelletierine, renfermée dans la tige, la racine, l'écorce du Grenadier; la taxine, du *Taxus baccata*: If.

Nous donnons ci-dessous quelques renseignements sur les alcaloïdes les mieux connus :

On peut reconnaître la présence des alcaloïdes végétaux à l'aide d'un certain nombre de réactions parmi lesquelles nous citerons :

1° Le réactif d'Erdmann préparé avec 200 parties d'acide sulfurique concentré et une partie d'acide azotique ;

2° Le réactif de Frohde obtenu en ajoutant à de l'acide sulfurique 0 gr. 01 de molybdate de sodium par centimètre cube d'acide ;

3° Le mélange d'acide sulfurique et de sucre ;

4° Le mélange d'acide sulfurique et de bichromate de potasse ;

5° L'acide azotique à 1,3 de densité ;

<sup>1</sup> VOIR TANRET, *Arch. ph.*, t. XII; — BLUMENBERG, Dorpat, 1878; — NIEMANN, LOSSEN, *An. Ch. Ph.*, t. CXXI; — BORDECKER et WICKE, *ibid.*, t. XXI; — MARME, *Jahr f. Ph.*, t. XXXI.

6° L'acide chlorhydrique; ;

7° Le chlorure ferrique.

On verse une ou deux gouttes de ces divers liquides sur le produit d'évaporation de la solution alcoolique, étherée ou chloroformique de l'alcaloïde. Il se produit instantanément une coloration particulière caractéristique de tel ou tel alcaloïde <sup>1</sup>

*Nicotine.* — La nicotine est un alcaloïde huileux et incristallisable, incolore à l'état de pureté, mais brunissant et se résinifiant à l'air, d'une odeur âcre caractéristique et d'une saveur brûlante. Sa densité à 15 degrés est de 1,027. Elle bout à 250 degrés en dégageant une vapeur qui brûle avec flamme blanche. La nicotine est très hygrométrique, très soluble dans l'eau, l'alcool, l'éther, les huiles et peu soluble dans l'essence de térébenthine. Sa dissolution a une réaction alcaline très marquée. Elle forme des sels déliquescents, solubles dans l'alcool.

Les feuilles de tabac contiennent un taux de nicotine très varié suivant la variété cultivée et le climat.

D'après M. Schlœsing, voici quelques exemples de ces variations :

Tabac du Lot. . . . .	7,96	pour 100
— de Virginie . . . . .	6,87	—
— du Nord. . . . .	6,58	—
— du Pas-de-Calais. . . . .	4,94	—
— d'Alsace. . . . .	3,21	—
— du Maryland . . . . .	2,20	—
— de la Havane . . . . .	1,90	

C'est le genre *Nicotiana* de la famille des Solanées qui comprend les plantes à nicotine.

L'espèce type, *N. tabacum* (L.) ou *N. havanensis*, a donné par la

<sup>1</sup> Voyez le tableau de ces réactions dans l'*Encyclopédie chimique*. DRAGENDORFF, *Analyse chimique des végétaux*.

culture les variétés suivantes : *N. tabacum attenuatum* (Schrank), *N. T. macrophyllum* (Sch.), *N. T. pallescens* (Sch.), *N. T. alipes* (Sch.), *N. T. serotinum* (Sch.), *N. T. gracilipes* (Sch.), *N. T. verdon* (Sch.), *N. T. lingua* (Sch.).

Les espèces *N. rustica*, *N. auriculata*, *N. paniculata*, *N. persica*, *N. repanda*, *N. multivalvis*, *N. suaveolens*, *N. glauca*, sont aussi exploitées pour leur teneur en nicotine.

La nicotine dans la plante est unie à un acide végétal.

Lorsqu'on distille avec de l'eau des feuilles de tabac fraîches ou sèches, on obtient un produit trouble qui laisse cristalliser en aiguilles une substance encore mal définie, appelée *nicotianine*.

*Quinine, cinchonine, etc.* — Les racines et les écorces de plusieurs Rubiacées du genre *Cinchona* renferment deux alcaloïdes principaux, la quinine et la cinchonine, et deux alcaloïdes isomères des précédents, la quinidine et la cinchonidine. L'analyse de ces plantes révèle aussi l'existence de l'*aricine*, isomère de la brucine.

Les feuilles de ces plantes ne renferment aucun de ces alcaloïdes. La richesse des écorces en alcaloïdes est fort variable. Leur rendement est subordonné non seulement à l'espèce végétale qui les produit, mais aussi à la nature du sol, à la latitude, à l'exposition. On a constaté, en outre, que l'obscurité augmente la proportion d'alcaloïde; de là, le procédé du moussage des écorces.

Les principales espèces botaniques et variétés qui sont bien connues et bien utilisées pour leur teneur en quinine, cinchonine, etc., sont :

*Cinchona officinalis*, var. *Eritusinga*, *Bonplandiana*, *Condaminea*, *Crispa*, — *Cinchona peruviana*, *C. nitida*, *C. micrantha*, *C. calisaya*, *C. pubescens*, *C. humboldtiana*, *C. purpurea*, *C. scrobiculata*, *C. lancifolia*, *C. pitayensis*, *C. cordifolia*, *C. succirubra*.

Le dosage de ces alcaloïdes à l'état de sulfate cristal-

lisé donne par kilogramme d'écorce un poids de sulfate de quinine qui varie de 6 grammes à 40 grammes ; et de sulfate de cinchonine qui varie de 3 à 12 grammes.

Les espèces très riches en quinine renferment ordinairement peu de cinchonine et inversement les espèces pauvres en quinine contiennent généralement le maximum de cinchonine.

*Caféine.* — Cet alcaloïde existe dans la graine et dans les feuilles des plantes du genre *Coffea* (Caféier) de la famille des Rubiacées. Ce principe est identique à la théine du Thé, à la théobromine du Cacao, à la guaranine du Guarana. Aussi toutes ces plantes sont-elles rangées souvent sous le nom de Caféiques (Bouchardat), et plusieurs auteurs donnent à tous ces alcaloïdes le nom général de caféine.

Les feuilles du Caféier en renferment 1,7 à 2 pour 100. Dans la graine la proportion est très variable, ainsi qu'il résulte de nombreuses analyses. MM. Robiquet et Boutron ont trouvé dans 500 grammes de graines :

	gr.
Café Martinique .....	1,79
— de Java .....	1,26
— de Moka .....	1,06
— St-Domingue .....	0,89

La caféine cristallise en filaments soyeux, blancs, inodores, amers et volatils. En torréfiant le grain, une partie de la caféine se trouve décomposée et donne de la méthylamine.

Les diverses espèces de caféier cultivées pour leur caféine sont : *Coffea arabica* L., qui donne la majeure partie des sortes commerciales ; *C. mauritania* Lamk, *C. laurina*, *C. amarello*, *C. macrocarpa*.



La caféine du Thé ou théine est produite par des espèces du genre *Thea* de la famille des Théacées, Camelliacées ou Ternstroëmiacées (*Thea chinensis* Sims, *T. viridis* L., *T. bohea* L., *T. stricta* Haine. Les feuilles de Thé renferment 2,79 à 2,93 pour 100 de caféine ou théine.

La graine des Cacaoyers, plantes du genre *Theobroma* de la famille de Buttnériacées, renferme de 1,2 à 4 pour 100 d'un alcaloïde appelé théobromine, assez analogue à la caféine (*Theobroma cacao* L., *T. minor* Gaertn, *T. sylvestris* Aub., *T. guianensis* Aub., *T. bicolor* H. B., sont les espèces d'où cet alcaloïde a été extrait par Lampadius, Boussingault, Payen, Mitseherlich.

*Cocaïne.* — L'*Erythroxylon coca*, famille des Érythroxyloées, renferme un alcaloïde spécial auquel M. Niemann, qui l'a extrait en 1850, a donné le nom de cocaïne. Il en a obtenu 1 gramme pour 500 grammes de feuilles cristallisé en prismes soyeux, blanc jaunâtre, insolubles dans l'eau, mais très solubles dans l'alcool et l'éther.

*Morphine*, etc. — On l'extrait de l'opium, qui est fourni par le *Papaver somniferum* L. var. *album* et *P. Rheas*, famille des Papavéracées.

De l'opium on a isolé les alcaloïdes suivants qui s'y trouvent combinés avec les acides méconique, lactique et sulfurique : morphine, 3 à 21 pour 100 ; narcotine, 1 à 10 ; eodéine, 0,25 à 0,85 ; narcéine, 0,02 ; et des quantités plus faibles de papavérine, eryptopine, laudanine, laudanosine, codamine, pseudomorphine, lanthopine, méconidine, thébaïne ou paramorphine, protopine, hydrocotarnine.

Tous ces alcaloïdes se trouvent dissous dans le latex des capsules de Pavot.

*Strychnine, brucine, curarine.* — Les graines du Vomiquier (Noix vomique, *Strychnos nux vomica* L., arbre de la famille des Loganiacées ou Strychnées), celles aussi de l'*Ignatia amara* L. ou *Strychnos Ignatii* Berg., contiennent trois alcaloïdes toxiques : la strychnine, la brucine, l'igasurine. L'écorce du Vomiquier renferme beaucoup de brucine. L'écorce de la racine du *Strychnos Tiente* Lesch. est très riche en strychnine. *Strychnos, guianensis* Mart. *Strychnos toxifera* Schomb., *Strychnos castelnoëana*, *Cocculus toxiferus* Wedd (Ménispermées), contiennent de la strychnine qui, chez les deux dernières espèces citées, se trouve accompagnée de curarine.

*Conicine ou cicutine.* — Un grand nombre d'Ombellifères sont toxiques, par suite de la présence d'un principe narcotique et de plusieurs alcaloïdes.

La grande Ciguë (*Conium maculatum* L.) renferme dans les feuilles et les graines de la cicutine ou conicine ; *Aetusa cynapium* (petite Ciguë), *Cicuta virosa* (Ciguë vireuse) en renferment aussi.

*Aconitine, delphinine, etc.* — La famille des Renouculacées renferme des plantes pourvues d'un sucre âcre et vénéneux, qui doivent, pour la plupart, leur toxicité à la présence d'alcaloïdes divers.

Les graines du Staphisaire, *Delphinium staphisagria*, en contiennent trois : la delphinine, la staphisagrine, la staphisine.

Les racines, les tiges fleuries et les feuilles des Aconits (*Aconitum napellus*) renferment l'aconitine, la napelline, l'aconelline.

*Vératrine. Colchicine.* — Le *Veratrum officinale* Sch. ou *Sabadilla officinarum* Brandt, de la famille des Colchicacées, contient de la vératrine.

Il en est de même de *Veratrum album L.* et *V. nigrum L.*

La colchicine existe dans les semences et les bulbes du *Colchicum autumnale L.*

2. **Corps amidés.** — Parmi les substances azotées, indépendamment des alcaloïdes, de l'ammoniaque et des nitrates (ceux-ci quelquefois assez abondants dans les végétaux), l'analyse a décelé la présence, dans beaucoup de plantes, d'amides et de corps amidés (asparagine, leucine, tyrosine, signalés par Gorup Bosanez, Witt et Cossa dans les graines de vesces en germination).

Les amides et autres composés azotés (glucosides azotés, composés sulfocyanés), distincts des matières protéiques, présentent un grand intérêt au point de vue de l'analyse chimique.

Quelques chiffres empruntés au travail de O. Kellner<sup>1</sup> en indiquent la quantité :

Plantes	Azote total p. 100	Azote autre que celui des mat. protéiques		Azote à l'état de corps amidés p. 100
		pour 100	en centièmes de l'azote total	
Luzerne { 1 <sup>re</sup> coupe . . . . .	6,92	2,13	30,5	»
Luzerne { 2 <sup>e</sup> coupe . . . . .	3,37	1,18	33 »	1,02
Trèfle incarnat (en fleur)	2,24	»	16,5	0,37
— (en mars).	3,20	1,96	37,7	1,25
Seigle en vert . . . . .	4,43	1,70	38,5	»
Avoine (à l'épiage) . . . . .	4,66	1,46	31,3	»
Herbe de prairie . . . . .	2,82	0,98	34,8	0,89
Foin de prairie . . . . .	1,74	0,22	12,6	0,17

<sup>1</sup> *Untersuchungen über den Gehalt der grünen Pflanzen an Eiweissstoffen und Amiden und über die Umwandlungen der Salpetersäure und des Ammoniaks in den Pflanzen* (Landw. Jahrbücher, t. VIII, suppl. 1879).

Les principales des substances amidées qu'on rencontre dans les végétaux sont : l'asparagine, l'amanitine, la choline, la leucine, la tyrosine.

*A. Asparagine.* — Elle est insoluble dans l'alcool, de sorte que sous le microscope on peut la déceler par l'alcool absolu, sous forme d'aiguilles très ténues.

Elle est fréquente chez les végétaux, d'où on peut l'extraire par quatre parties d'eau chaude et 40 parties d'eau froide.

*B. Amanitine.* — C'est un corps analogue à la muscarine, dont on peut la différencier par son sel d'or.

Elle est isomère de la choline et peut se dédoubler, comme elle, en butylamine et oxynévrine.

*C. Glutamine.* — C'est une base amidée qu'on trouve dans le suc des Navets et dans d'autres sucs divers.

On l'obtient en précipitant le liquide extrait par expression, par l'acétate de plomb, on filtre et l'on fait bouillir la solution filtrée pendant deux heures avec de l'acide chlorhydrique au 1/40.

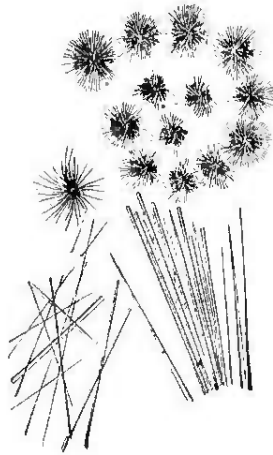


FIG. 70.  
Cristaux de leucine.

La glutamine se dédouble en acide glutamique et en ammoniaque. L'acide glutamique peut s'obtenir cristallisé par une manipulation spéciale.

*D. Leucine.* — On la sépare aisément par la dialyse des composés albuminoïdes qui l'accompagnent.

Elle se présente sous forme de cristaux aiguillés, sphéroédriques (*fig. 70*), et donne de l'acide leucique par l'action de l'acide nitrique.

*E. Tyrosine.* — Elle se rencontre dans l'embryon des plantes en voie de germination (*fig. 71*).

*F. Ratanhine.* — Se rapproche par ses propriétés des deux corps précédents.

**3. Matières albuminoïdes.** — Enfin, il nous reste à dire quelques mots des matières albuminoïdes que nous avons déjà étudiées à propos des synthèses organiques. Ce sont les plus complexes des principes immédiats. Le protoplasma lui-même est très riche en matières albuminoïdes dont on peut déceler la présence par des réactifs spéciaux et dont l'étude est encore presque explorée.

Les plus importantes qui doivent attirer notre attention sont : l'albumine végétale, les caséines, le gluten.

Pour la nature et les propriétés des matières albuminoïdes voyez plus haut (*Synthèses organiques*, page 188). Ces substances sont importantes au point de vue agricole, car elles constituent l'élément nutritif azoté de la plupart des graines utilisées dans l'alimentation.

Les principes azotés organiques peuvent être séparés par l'analyse en trois groupes :

1° Principes protéiques (albuminoïdes, nucléine);

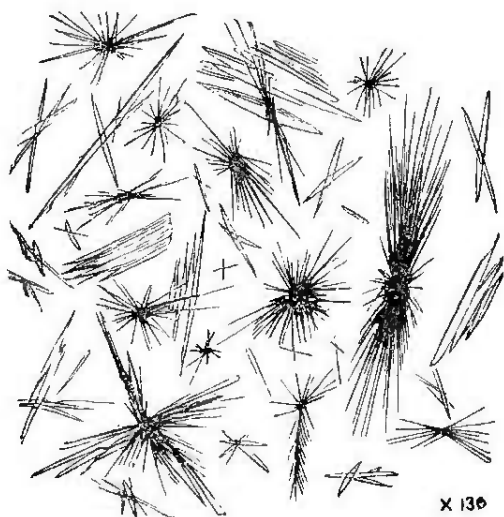


FIG. 71. — Cristaux de tyrosine.

2° Principes azotés non protéiques (peptones, alcaloïdes) précipitables par l'acide phosphotungstique ou phosphomolybdique ;

3° Principes protéiques non précipitables par ces réactifs. Ce sont : les composés amidés et amides (tyrosine, asparagine, glutamine, leucine).

Les analyses suivantes dues à Schulze donnent les proportions relatives de ces substances :

	Azote total pour 100	1 <sup>er</sup> groupe — Azote des substances protéiques pour 100	2 <sup>e</sup> groupe — Azote des principes non protéiques pour 100	3 <sup>e</sup> groupe — Azote des principes non précipités pour 100
Graines de Lupin ...	8,63	8,17	0,24	0,22
Fèves de Soja .....	6,73	6,32	0,13	0,28
Feuilles de Bouleau.	4,32	3,11	0,15	1,06
Herbe de prairie....	2,22	1,55	0,21	0,46

*A. Albumine végétale.* — On réunit sous ce nom les substances azotées qui sont coagulables par la chaleur seule et non précipitables par les acides étendus. On les rencontre dans les sucs et extraits végétaux et surtout dans les graines d'un grand nombre de plantes, particulièrement celles de la famille des Légumineuses et dans des plantes oléagineuses.

Voici la composition élémentaire<sup>1</sup>, d'après Ritthausen, de l'albumine de quelques graines :

<sup>1</sup> Voir *Dictionnaire* de WURTZ.

	Blé	Lupin	Fève
Carbone .....	53,12	52,63	54,33
Hydrogène .....	7,18	7,46	7,19
Azote .....	17,60	17,24	16,37
Soufre .....	1,55	0,76	0,89
Oxygène .....	20,55	21,91	21,22

On trouve 2, à 4,6 pour 100 de cendres.

Dans la farine on a trouvé 0,26 à 0,30 d'albumine coagulable par la chaleur contre 1,55 à 1,90 pour 100 de matière albumine non coagulable.

*B. Caséines végétales.* — Ces matières sont caractérisées au point de vue chimique par leur faible solubilité dans l'eau pure, leur grande solubilité dans les lessives alcalines et les solutions de phosphates alcalins basiques. Elles en sont précipitées par les acides et par la présure.

*C. Légumine.* — La légumine est une caséine végétale soluble dans l'eau, qui peut être reconnue en la précipitant par l'acide acétique. L'acide carbonique produit un dépôt de globuline s'il y en a dans l'extrait aqueux.

Les substances albuminoïdes insolubles dans l'eau mère sont la caséine, la gluten-caséine, la cong lutine et la fibrine, qui sont solubles dans les solutions de potasse et de soude caustiques.

*D. Globulines.* — Les globulines isolées par l'acide carbonique comprennent la vitelline, la myosine. La noix de Para renferme de grandes quantités de vitelline (aleurone) et peut servir à l'étude de ce composé.

On peut différencier la vitelline de la myosine par le caractère suivant : dans une solution de chlorure de sodium à 10 pour 100, la première se coagule à 75 degrés, et la seconde entre 55 et 60 degrés.

Les pommes de terre renferment de la myosine.

*E. Peptones.* — Les ferments solubles étudiés plus haut (page 199) sont de nature albuminoïde. Les peptones qui résultent de leur action se trouvent très fréquemment dans les extraits végétaux et existent certainement dans les tissus.

Elles sont solubles dans l'eau et précipitables par l'alcool, mais ne se coagulent pas par la chaleur.

*F. Matières albuminoïdes insolubles dans l'eau.* — Elles sont solubles dans l'alcool. Les principales sont : la gluten-fibrine, la gliadine (gélatine végétale, glutine), la mucédine.

C'est dans les graines seulement qu'on les a trouvées jusqu'ici : ce sont les éléments constitutifs du gluten.

*G. Gluten.* — La farine malaxée avec l'eau laisse une substance molle et élastique qui, traitée par l'alcool, permet d'obtenir :

1° Une substance insoluble : fibrine-caséine ;

2° Trois substances solubles : gluten-fibrine, gliadine, mucédine.

Le gluten-fibrine du Blé a la composition élémentaire suivante :

Carbone.....	54,31
Hydrogène.....	7,18
Azote.....	16,89
Soufre.....	1,01
Oxygène.....	20,60

La formule chimique des substances albuminoïdes a été établie, nous l'avons dit, par M. P. Schützenberger ; il en résulte que ces substances, étant des amides, sont dédoublables par conséquent en ammoniacque et en produits acides.



## § 5. — LA MEMBRANE ET SES TRANSFORMATIONS.

La membrane de la cellule vivante provient de l'activité du protoplasma qui forme par synthèse des substances ternaires dont nous allons expliquer la composition. Dans les cellules molles et dans les cellules allongées en fibres (bois), ce sont ces substances qui forment la partie principale de la membrane (*fig.* 72, 73, 74, 75).

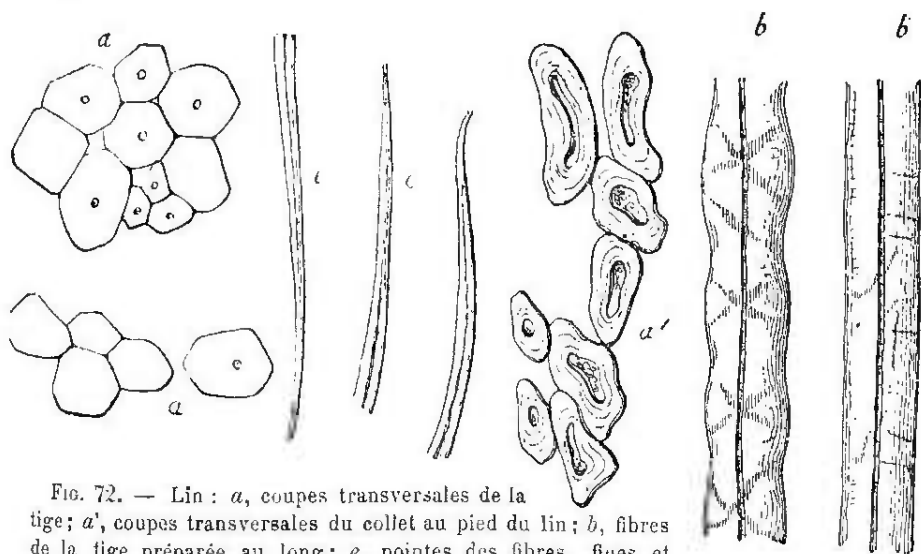


FIG. 72. — Lin : *a*, coupes transversales de la tige ; *a'*, coupes transversales du collet au pied du lin ; *b*, fibres de la tige préparée au long ; *c*, pointes des fibres, fines et allongées comme des aiguilles. Grossissement : 300/1. (VETILLART.)

### Matière cellulosique et substances congénères. —

M. Frémy envisageait autrefois le ligneux comme composé de trois substances différentes : cellulose, matière incrustante, substance cuticulaire.

D'après les recherches récentes, le tissu cellulaire des végétaux renfermerait les principes suivants :

La cellulose, soluble dans le réactif de Schweizer ;

La paracellulose, qui ne devient soluble qu'après l'action des acides ;

La métacellulose, insoluble ;

La vasculose, qui est surtout abondante dans les bois durs et donne une série d'acides sous l'action prolongée des alcalis ;

La cutose, soluble dans les alcalis et insoluble dans l'acide sulfurique concentré ;

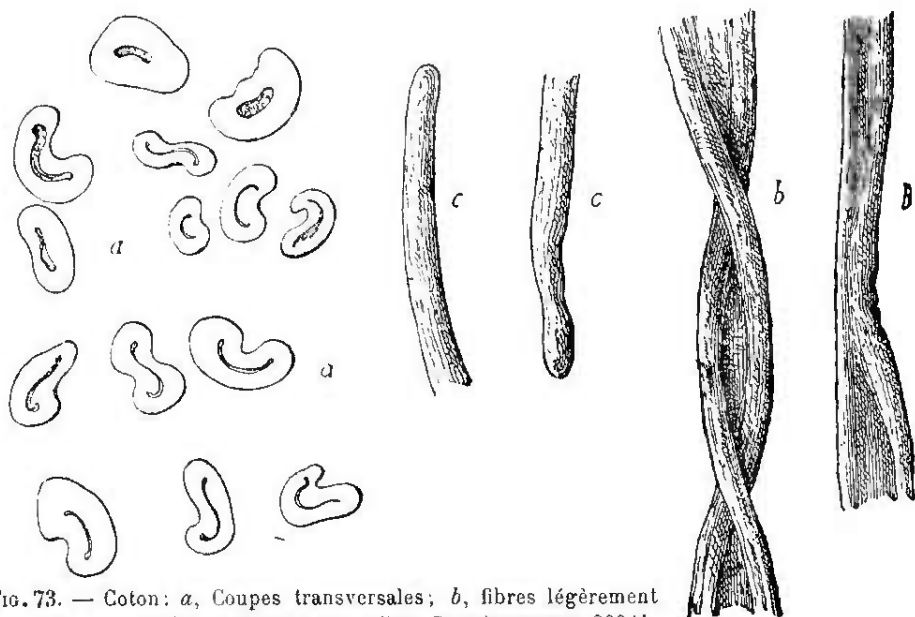
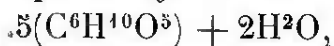


FIG. 73. — Coton : *a*, Coupes transversales ; *b*, fibres légèrement roulées en spirale ; *c*, pointes arrondies. Grossissement : 300/1. (VETILLART.)

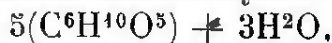
La pectose, qui est caractérisée par sa transformation en pectine sous l'influence des acides étendus, et fixe les colorants basiques.

La cellulose ne présente pas toujours la même composition  $C^6H^{10}O^5$ . Ainsi celle des Conifères a pour formule  $5(C^6H^{10}O^5) + H^2O$

Celle des tissus parenchymateux serait :



et celle de la cellulose des Dicotylédones :



Le ligneux est très mal défini; isolé, il contient encore de la matière gommeuse du liber, de la lignine, de la subérine et quelques hydrocelluloses.

M. L. Mangin a entrepris depuis plusieurs années des recherches sur la constitution chimique de la membrane dans les tissus jeunes de la plupart des végétaux

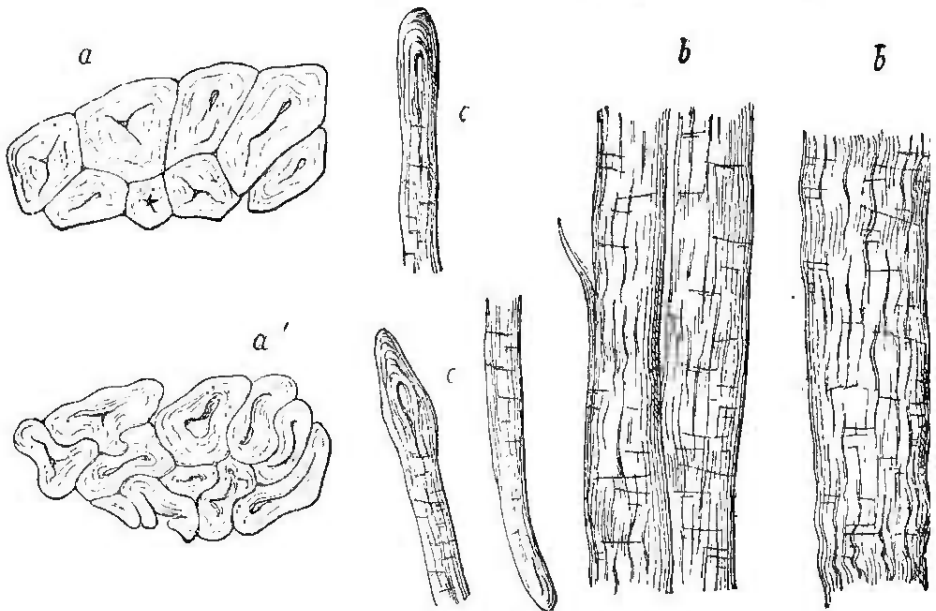


Fig. 74. — Chanvre : coupes transversales; *b*, fibres préparées en largeur; *c*, pointes des fibres généralement aplaties. Grossissement: 300/1. (VETILLART.)

et dans les tissus adultes dont les cloisons n'ont pas été modifiées par incrustation.

D'après cet auteur, la membrane est toujours formée par le mélange intime de la cellulose et d'un groupe de composés pectiques ou gélatineux <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Bull. Soc. bot. de France*, fév. 1894. — *Comptes rendus*, 1889-90-92. — *Journal de bot.*, 1891-92-93. — *Congresso botanico internazionale*, 1892. — On trouvera dans ces travaux les réactions microchimiques des divers composés de la membrane.

Ces composés pectiques forment deux séries : l'une neutre, comprenant la pectine, la pectose, etc. ; l'autre, acide pectique, acide métapectique.

La pectose existe dans les membranes propres à chaque cellule (lamelles secondaires et lamelle interne), elle fait défaut dans la lamelle moyenne, ainsi que dans les bâtonnets-mamelons, dont ceux-ci sont parfois couverts.

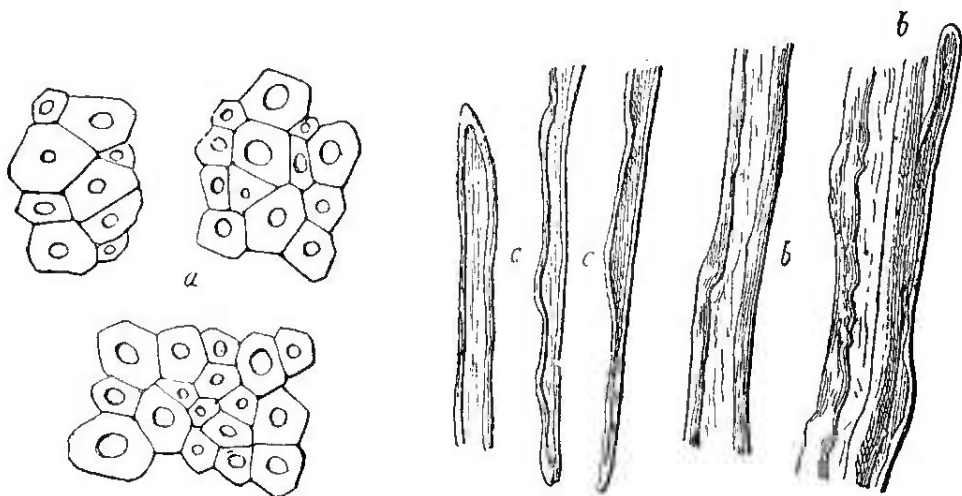


Fig. 75. — Jute: *a*, coupes transversales, montrant la cavité intérieure des fibres, grande et à contour arrondi; *b*, fibres préparées en long, canal intérieur très apparent; *c*, pointes à extrémités irrégulières. Grossissement : 300/1. (VETILLART.)

M. Mangin a généralisé un fait que Payen avait signalé pour l'*Aloe* et l'*Apios tuberosa*, à savoir, que, le ciment unissant les cellules (substance intercellulaire, lamelle moyenne), les ornements qui limitent les surfaces d'adhérence, sont formés par de l'acide pectique à l'état de pectates insolubles, sans trace de cellulose ou de produits d'incrustation dans les tissus mous. « Dans l'état le plus simple, c'est le pectate de chaux qui forme toute la surface d'union des cellules et présente sur les bords un liseré d'épaisseur variable, limitant, comme

les bords d'un cadre, la surface d'attache de deux cellules voisines. »

Dans la plupart des Champignons, du reste, la cellulose n'existe pas, c'est la callose qui constitue la majeure partie de la membrane.

La substance cellulosique (cellulose, paracellulose, métacellulose, vasculose, cutose) subit des changements en vieillissant ; les uns peuvent modifier sa nature chimique, les autres au contraire ne consistent qu'en substances juxtaposées ou incrustées entre ses molécules.

*A. Cutine ou cutose.* — Les cellules périphériques transforment très souvent leurs couches externes en *cutine*, substance différente de la cellulose pure.

La transformation est du reste graduelle, et il existe des couches cuticulaires de passage. Elle fixe les couleurs d'aniline et se colore en jaune par l'iode et le chlorure de zinc iodé. Elle reste insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther et dans l'acide sulfurique concentré.

La cutose recouvre et protège les organes aériens des végétaux ; mais on la trouve aussi dans les parties fibreuses des plantes. Elle se rapproche beaucoup des corps gras par ses propriétés et sa composition. L'acide nitrique fournit avec la cutose des composés résineux, puis de l'acide subérique. Les bases forment avec elle deux acides nouveaux : l'acide stéarocutique et l'acide oléocutique, le dernier présentant les réactions des acides gras et liquides. Ces deux acides dérivés de la cutose peuvent subir des changements isomériques sous l'influence de la chaleur ou de la lumière, ce qui tend à prouver que la cutose résulte de la réunion des formes isomères que peuvent prendre ces deux acides.

*B. Lignine.* — La lignine renferme, toujours mélangée

avec elle, une certaine proportion de matière gommeuse (ligni-gomme), principe nouveau qui a été étudié par Stackmann.

Schuppe a trouvé, dans les diverses espèces de bois, la ligni-gomme dans les proportions suivantes :

Peuplier .....	3,25 pour 100
Acajou.....	3,27 —
Noyer d'Amérique.....	4,56 —
Noyer européen.....	6,32 —
Chêne.....	6,03 —
Aulne.....	7,09 —

En tenant compte de ces résultats, la vraie lignine représente une moyenne de 17 pour 100 (aulne) à 20 pour 100 (acajou).

La composition élémentaire de la lignine paraît être :

C .....	60,56
H.....	4,66
O.....	34,80

nombres qui sont voisins de ceux de la catéchine et de quelques principes tanniques.

On peut, du reste, considérer la lignine comme un corps variable, car la lignine des Conifères, par exemple, présente une composition très différente de celle qui est indiquée plus haut.

Les analyses de Koroll faites sur des sclérenchymes donnent :

	Noisette	Orme et peuplier
C	51,5 à 54,2 pour 100	53,6 à 54,9 pour 100
H	4,8 à 5,7 —	4,9 à 6,0 —
O	40,1 à 44,7 —	40,1 à 40,4 —

ce qui confirme encore la grande variété de composition chimique de ces composés.

*C. Liège ou suber* — C'est encore de la cellulose modifiée. Le suber est coloré en jaune par l'iode et le chlorure de zinc iodé ; il est insoluble dans l'acide sulfurique et soluble à chaud dans la potasse concentrée. L'acide azotique le transforme à chaud en acide subérique.

*D. Gélification*. — Dans quelques cas, la membrane se transforme en une substance isomère de consistance cornée qui, sous l'influence de l'eau, se gonfle et forme une sorte de mucilage. La gélification se produit souvent au voisinage de couches cutinisées. La masse gommeuse des cellules à mucilage des Malvacées provient sans doute d'une gélification. La cérasine et la bassorine (gommes) sont formées probablement par gélification de toute la membrane des cellules de l'écorce ou de la moelle de certains arbres.

Parmi les modifications par juxtaposition citons :

1° La *lignification*, dans laquelle la membrane s'imprègne de vasculose ou lignine ;

2° La *cérification*, produite par l'exsudation d'une matière cireuse insoluble à froid dans l'alcool. La cire se trouve sous forme de granules, de bâtonnets ou de croûte à structure cristalline et biréfringente, ou en vernis amorphe ;

3° La *minéralisation*, qui est due à la présence de corps minéraux (voyez page 248) ;

4° La *coloration*, due à la présence de phlobaphènes dont nous avons déjà dit quelques mots à propos des glucosides ou des matières colorantes (bois de Brésil, etc).

## TROISIÈME PARTIE

### LA FERTILISATION DU SOL

---

L'analyse chimique d'un sol nous renseigne sur la présence ou l'absence dans le sol des principes minéraux reconnus indispensables au développement normal des plantes.

Elle peut aussi, dans certains cas, nous indiquer la présence d'un sel nuisible, qui peut être la cause de la stérilité du terrain.

Il faut cependant établir une restriction importante. Certains sols peuvent, d'après l'analyse chimique, contenir toutes les substances minérales reconnues indispensables à l'alimentation de la plante et ne pas renfermer de substances toxiques, sans pour cela être *fertiles*. Cela tient à ce que la fertilité dépend moins des quantités d'éléments fertilisants ( $K^2O$ ,  $P^2O^5$ , Az, Cao) que de l'état sous lequel ils préexistent dans le sol<sup>1</sup>. Nous établissons, en effet, à propos de ces éléments, qu'il existe des formes très différemment assimilables. La détermination des combinaisons minérales vraiment nutritives est donc de toute importance. Comme cette détermination est parfois difficile, le plus simple est de s'adresser directement à l'expérience et d'interroger le sol en faisant des essais comparatifs ; c'est là l'intérêt des champs d'expériences et de recherches.

<sup>1</sup> GRANDEAU, *L'épuisement du sol et les récoltes*.



## CHAPITRE I

### INFLUENCE DU MILIEU

Le milieu retentit profondément sur les formes et la topographie des différents appareils du végétal ; il est donc à supposer que la cellule vivante elle-même et que la charpente des organes doivent varier dans leur composition chimique suivant les diverses conditions biologiques.

C'est ainsi que depuis longtemps Boussingault a constaté des différences chimiques dans la composition des plantes poussées sur un sol plâtré ou non plâtré. M. Dehérain a trouvé dans des expériences analogues des chiffres identiques.

Dans 400 grammes de cendres provenant de tiges et de racines de Trèfle poussé sur sol plâtré on trouve :

	Tiges	Racines
Chaux.....	20,68	16,40
Potasse .....	8,90	3,90
Acide sulfurique.....	5,76	10,01

chiffres bien supérieurs à la moyenne ordinaire <sup>1</sup>.

L'analyse chimique révèle donc des différences des plus intéressantes. Peu de travaux sont venus les enregistrer ; mais, en attendant des publications que cette question ne saurait tarder à faire naître, il nous reste la comparaison des faits qui résultent des observations météorologiques et agronomiques combinées, et les enseignements que peuvent nous donner les statistiques analytiques faites sur nos principales plantes de grande culture.

<sup>1</sup> Voyez page suivante.

Les exemples pourraient être multipliés. Nous en citerons un seulement. Nous empruntons au *Bulletin de la Société des Agriculteurs de France* (15 mars, supplément 1894) un tableau où sont relatées les compositions centésimales des racines du Trèfle incarnat.

Sur treize analyses de Trèfle ayant végété dans des sols différents, on trouve des chiffres très variables compris entre les extrêmes suivants :

Résultats	Composition centésimale						
	Azote	Matières minérales	Silice	Acide phosphorique	Chaux	Magnésie	Potasse
Maxima . . . .	1,86	7,81	4,10	0,411	1,823	0,44	1,856
Minima . . . .	0,93	3,37	0,20	0,157	1,053	0,08	0,493

Résultats	Éléments fertilisants pour un hectare								
	Matières fixes	Matières minérales	Matières organiques	Silice	Acide phosphorique	Chaux	Magnésie	Potasse	Azote
Maxima . . . .	3,125	185,5	2,940	93,7	7,5	32,0	7,8	28,8	45,0
Minima . . . .	0,437	13,5	423	0,8	1,0	5,2	0,6	4,7	4,8

Le rapport de M. Émile Aubin, annexé à ce tableau et résultant d'une enquête sur la végétation du Trèfle, ajoute : « On voit combien cette plante subit des variations considérables dans le taux pour cent des substances nutritives qu'elle renferme. Sa richesse dépend donc des

conditions climatologiques dans lesquelles elle s'est développée ; la sécheresse est une des causes de cet enrichissement. »

C'était, du reste, le résultat auquel nous étions arrivé antérieurement dans nos recherches personnelles sur l'influence de la sécheresse <sup>1</sup>

Il y a là, d'après nous, un fait des plus importants, capable d'influer sur la valeur marchande de beaucoup de produits agricoles utilisés dans l'alimentation rationnelle du bétail, ou qui donnent un rendement industriel.

Les céréales ont donné lieu à bien des analyses. Or, les années se sont parfois succédé dans des conditions climatologiques très diverses. L'agronomie les a mises à profit pour étudier l'influence du milieu.

M. Delhérain a obtenu, pour deux analyses de l'Avoine faites sur des récoltes, d'un même terrain, de l'année 1879 très sèche, et de l'année 1878 très pluvieuse, les résultats suivants :

	Cendres		Silice	Azote des épillets	Récolte en paille à l'hectare
	Chaumes	Épillets			
1879 Année sèche	5,27	5,98	37,19	12,37	5,885 kilog.
1878 Année pluvieuse	7,50	6,90	54,48	6,50	6,056 kilog.

Ces chiffres montrent la plasticité de la plante au point de vue chimique. Elle est le jouet du milieu pour ce qui concerne son alimentation, d'une part, et l'élaboration de ses produits, d'autre part.

<sup>1</sup> Voyez *Bull. Soc. bot. fr.*, 1893.

Dans des recherches expérimentales sur cette question, nous avons pu obtenir une vérification de l'action directe du milieu sur les phénomènes chimiques de la végétation<sup>1</sup>

Des tubercules qui se sont développés dans deux sols identiques, mais variables par leur humidité (4 pour 100 et 12 pour 100), ont présenté des quantités de matières colorantes, différant du simple au double, des quantités les uns d'inuline, d'autres d'amidon, et tous d'éléments minéraux en proportions très différentes. Ces exemples pourraient être multipliés.

La comparaison de deux récoltes d'un même fourrage, faites dans des régions très dissemblables par le climat, accuse également, pour une même année, des différences importantes dans la valeur nutritive, ainsi que le démontre le tableau précédent.

Enfin, toute la théorie des engrais montre combien les conditions extérieures modifient la nutrition et l'accroissement des plantes cultivées.

Parmi les dix éléments minéraux nécessaires aux plantes, il en est au moins sept dont les sols les plus pauvres sont surabondamment pourvus et qui, par conséquent, ne font jamais défaut aux plantes.

Si l'on considère, en outre, que le carbone est fourni surtout par l'acide carbonique de l'air qui en contient des réserves immenses, et que l'hydrogène et l'oxygène ont l'eau pour principal véhicule, on arrive à cette conclusion que l'azote, l'acide phosphorique, la potasse et la chaux sont les facteurs essentiels du rendement; on peut les appeler « éléments fertilisants » ou,

<sup>1</sup> Sur les matières colorantes des tubercules (*Soc. bot. fr.*, mars 1893).

comme M. G. Ville, « éléments assimilables actifs ».

Leur réunion dans un mélange constitue un *engrais complet*.

Quelles que soient les substances employées pour constituer ce mélange, les proportions d'éléments ferti-

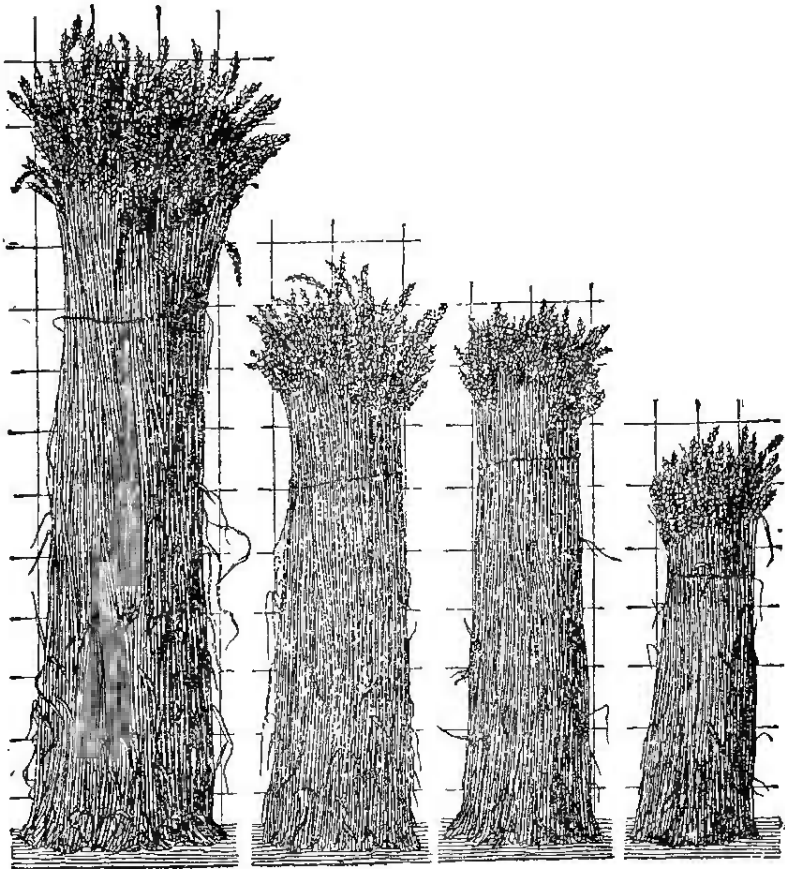


FIG. 76.  
Engrais complet.

FIG. 77.  
Matière azotée.  
(G. VILLE, 1863.)

FIG. 78.  
Minéraux.

FIG. 79.  
Sans aucun engrais.

lisants sont les bases qui permettent d'apprécier la valeur de l'engrais complet.

L'idée de l'*équivalence* des engrais ne doit cependant pas être exagérée, car le mode suivant lequel l'azote, la

potasse, l'acide phosphorique ou la chaux sont offerts au sol, influe sur son utilisation éventuelle plus ou moins complète, plus ou moins rapide, par la plante.

**Dominantes.** -- L'acide phosphorique, la potasse, la chaux et l'azote sont donc les éléments dominateurs de

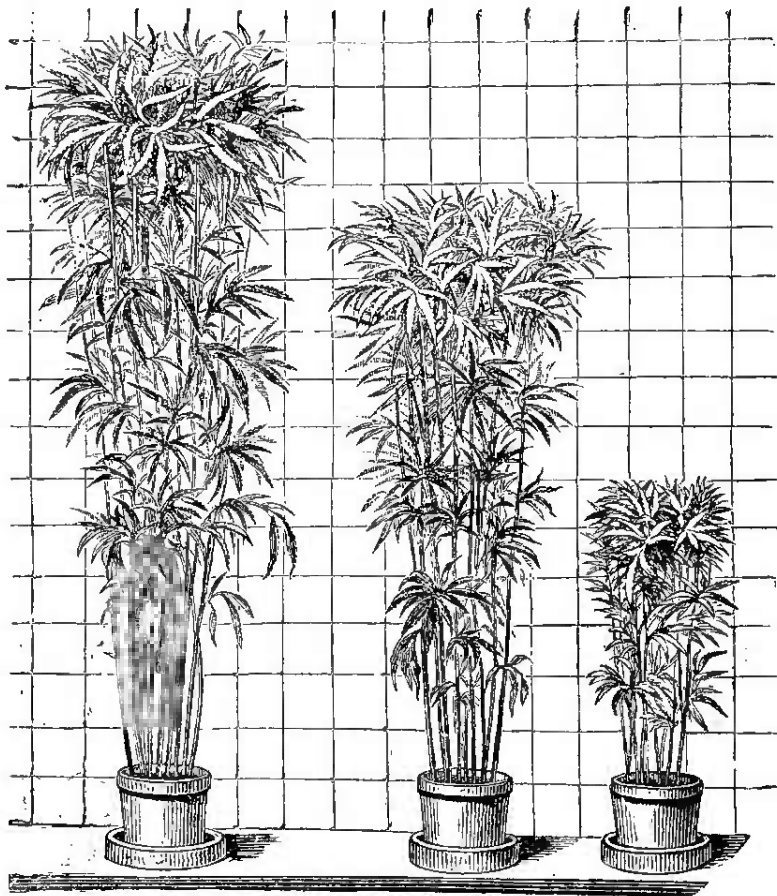


FIG. 80.  
Engrais intensif,  
100 kil. d'azote.

FIG. 81.  
Engrais complet,  
75 kil. d'azote.

FIG. 82.  
Sans azote.

(G. VILLE, 1863.)

la production organique. De la répartition de ces éléments dépendent beaucoup les différentes synthèses organiques. (Voyez fig. 76 à 86.) L'expérience a même permis

d'établir que l'un de ces quatre éléments peut, suivant l'espèce végétale, être particulièrement plus important. Pour une plante donnée, cet élément indispensable a reçu le nom de *dominante* (fig. 87 à 89). Les quatre termes sont

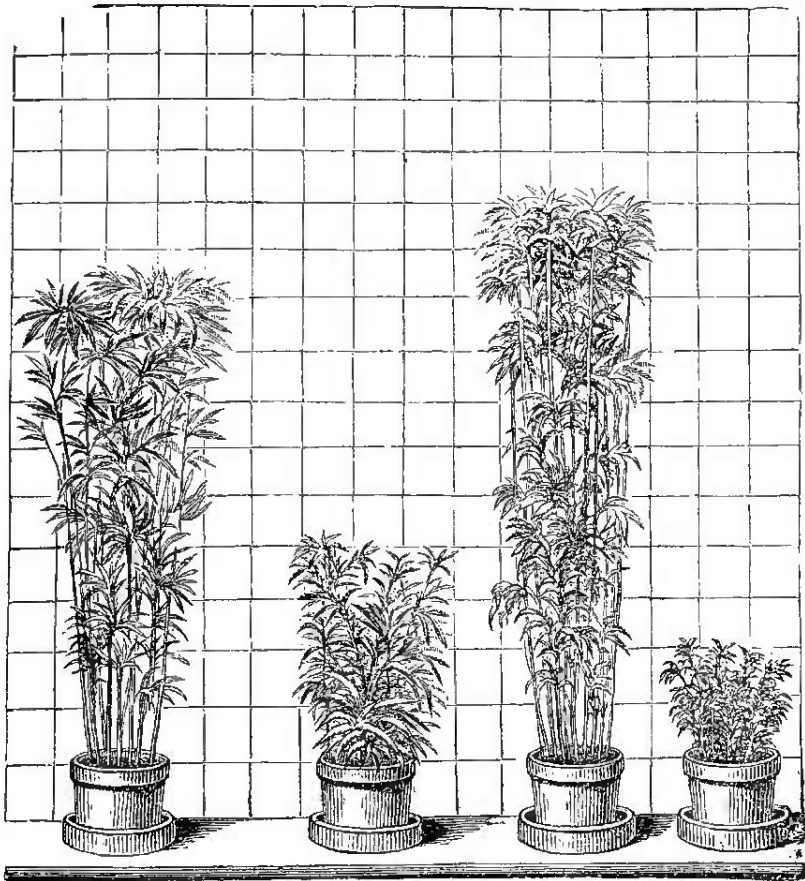


FIG. 83.  
Engrais sans  
phosphate.

FIG. 84.  
Engrais sans  
potasse.  
(G. VILLE, 1863.)

FIG. 85.  
Engrais sans  
chaux.

FIG. 86.  
Terre sans  
aucun engrais.

nécessaires à toutes les plantes, mais la suppression de l'un d'eux possède le pouvoir de porter atteinte à l'action de tous les autres.

Cette considération qu'il existe une sorte d'*élection*

DOMINANTE : CULTURE DE LA POMME DE TERRE (d'après GEORGE VILLE.)

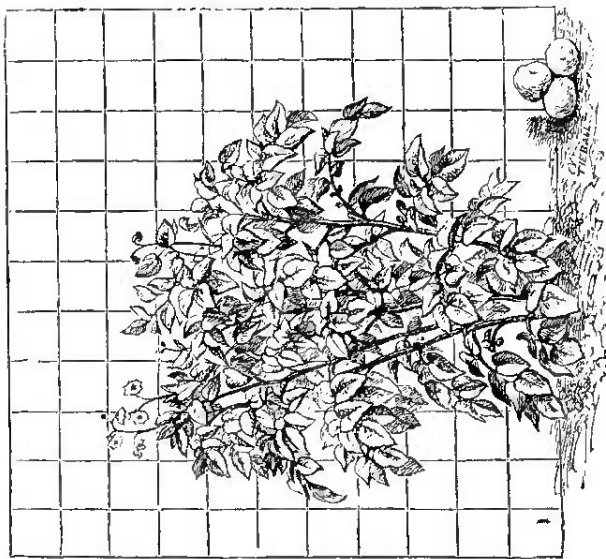


FIG. 87. — Engrais complet.

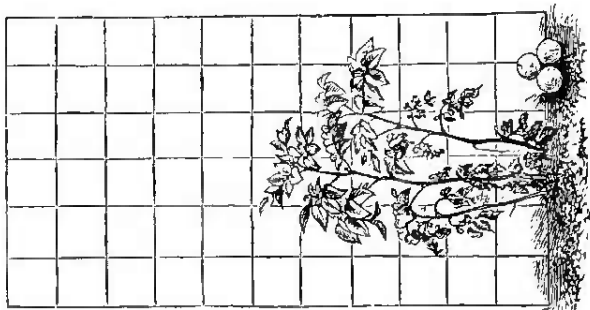


FIG. 88. — Engrais sans potasse.

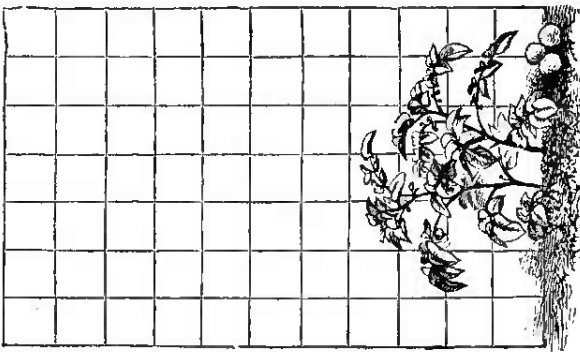


FIG. 89. — Sans aucun engrais.



de la plante pour un principe chimique déterminé n'est démontrée que pour les plantes dont l'homme a étudié la culture; mais il est probable que pour les plantes spontanées aussi il existe des « dominantes » qui sont très variables suivant l'espèce. Ainsi s'expliqueraient les préférences des plantes calcicoles ou des plantes calcifuges, indépendamment de la lutte pour l'existence. Nous donnons dans le tableau suivant les *dominantes* de quelques plantes cultivées :

DOMINANTES DES PLANTES DE GRANDE CULTURE

Plantes	Dominante	Sel chimique correspondant
Betterave. Prairies naturelles Colza. Froment. Orge. Avoine. Seigle. Chanvre.	Azote.	Nitrate de potasse. Nitrate de soude. Sulfate d'ammoniaque.
Maïs. Sarrasin. Turneps. Rutabagas. Sorgho. Navets. Topinambours.	Acide phosphorique.	Superphosphate de chaux. Phosphate précipité. Phosphate naturel.
Luzerne. Trèfles. Féveroles. Haricots. Pois. Sainfoin. Vesces. Lin. Pommes de terre.	Potasse	Chlorure de potassium. Carbonate de potassium. Sulfate de potassium. Nitrate de potasse.

L'existence d'une « dominante » pour une espèce donnée n'est, du reste, qu'une des formes nombreuses des *exigences spécifiques* (fig. 87, 88, 89) qui se traduisent dans tous les phénomènes physiologiques par des *optima*. L'adaptation au milieu et la sélection naturelle, qui accomplissent lentement leur œuvre de progrès, ont ainsi donné aux plantes des exigences qui se sont fixées par hérédité.

C'est ainsi que M. Géncau de Lamarlière a pu trouver, dans ses recherches relatives aux Ombellifères, qu'il existe une *physiologie spécifique* qui se traduit par des degrés différents dans l'intensité des principales fonctions (transpiration, respiration et assimilation) <sup>1</sup>

Dans la pratique agricole il sera donc possible de tenir compte des exigences spécifiques pour obtenir un rendement maximum en réalisant autant que possible l'optimum relatif à la production de l'organe végétatif qu'on veut récolter.

Nous allons, dans les deux chapitres suivants, étudier les moyens dont dispose l'agriculteur pour modifier à son profit l'alimentation de la plante par l'usage des amendements et des engrais qui ont pour but de fournir aux plantes les éléments fertilisants : chaux, azote, acide phosphorique, potasse.

Ces éléments, avons-nous dit, commandent le rendement ; on en peut juger par le tableau suivant, page 351, et les cultures comparées <sup>2</sup>, représentées par nos dessins (fig. 76 à 80).

**Champs d'expériences.** — Rechercher l'action comparée des différentes substances ajoutées au sol, déterminer

<sup>1</sup> GENEAU DE LAMARLIÈRE, Thèse de doctorat, 1893.

<sup>2</sup> Dessins et expériences de M. G. VILLE.

ACTION COMPARÉE DES ÉLÉMENTS DE FERTILITÉ SUR LES PRINCIPALES CULTURES  
D'APRÈS M. GEORGES VILLE

Engrais	Récolte à l'hectare							Pois kilog.
	Froment kilog.	Chauvre kilog.	Betterave kilog.	Colza kilog.	Pomme de terre kilog.	Vigne (Raisin) kilog.	Trèfle 2 coupes seches kilog.	
Engrais complet .....	9,570	11,450	50,000	10,000	27,950	12,000	8,469	6,890
Engrais sans azote .....	4,317	4,740	36,000	6,000	20,850	6,200	10,220	6,335
Engrais sans phosphate .....	7,533	8,220	42,000	7,250	16,000	7,300	8,229	5,360
Engrais sans potasse .....	7,524	5,220	37,000	5,550	10,500	»	635	4,760
Engrais sans chaux .....	8,200	10,470	47,000	8,200	20,500	7,800	9,071	6,520
Terre sans engrais .....	3,542	2,175	23,000	1,240	7,500	»	873	2,920

les doses optima des principes utiles, établir l'action spéciale des différents agents physiques sur la végétation, enfin pénétrer plus avant dans la connaissance intime de la nutrition des plantes, tel est le rôle des champs d'expériences, stations agronomiques et forestières.

Les différents problèmes soulevés par l'application à l'agriculture des données scientifiques de la physiologie végétale sont si nombreux et si importants que nous croyons devoir dire quelques mots des principaux essais qui ont été tentés jusqu'ici et qui ont donné des résultats pratiques.

En première ligne, nous signalerons tout d'abord la *station de recherches de Rothamsted*, dont la réputation est universelle et où se poursuivent, grâce à une installation généreusement dotée, les belles expériences de MM. Lawes et Gilbert.

Au cours de l'étude des produits agricoles (page 408), nous aurons à signaler la quantité de principes fertilisants enlevés par les récoltes. Beaucoup de ces chiffres sont dus aux recherches poursuivies sous la direction de ces deux savants.

A Rothamsted, on effectue également des recherches à longue échéance relatives à l'épuisement progressif du sol et à son enrichissement lent par les engrais.

Les différents engrais sont expérimentés en grande culture et tous les chiffres des rendements annuels sont enregistrés avec soin pour la comparaison.

En Allemagne et surtout en Saxe, il existe des stations de recherches analogues à Rothamsted.

En France, nous n'avons rien à envier à l'Angleterre, et depuis quelques années de nombreuses stations agronomiques ont été installées et rendent, chaque jour, des

services par les expériences locales qu'elles entreprennent, et par les travaux scientifiques des directeurs des stations<sup>1</sup> qui souvent ont une portée plus générale et contribuent à éclairer quelques points théoriques.

Enfin, à Paris, six stations opèrent aussi dans le domaine de la pratique et de la théorie.

Les quatre premières ont surtout pour but, comme à Rothamsted, d'éclairer la pratique courante des engrais et ce qui concerne les rendements agricoles. Elles sont

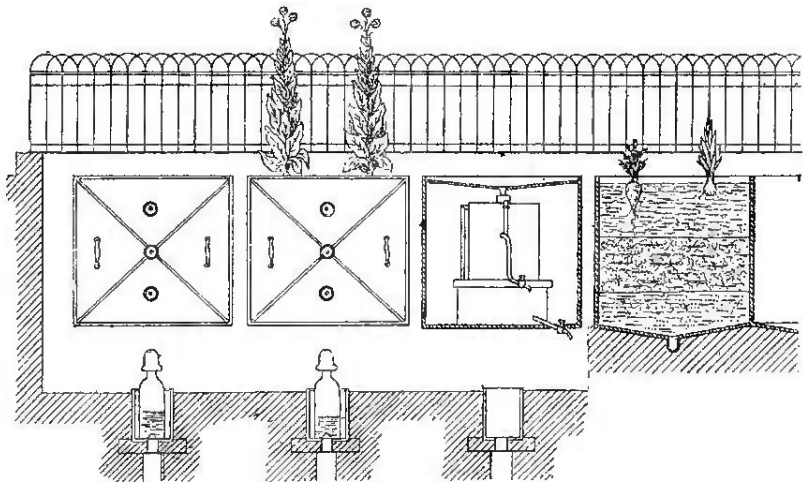


Fig. 90. — Cases de végétation de la Station agronomique de l'Est  
Coupe longitudinale (GRANDEAU).

installées: l'une, comme dépendance du Muséum d'histoire naturelle (champs d'expériences de Vincennes); l'autre est rattachée aux services de l'Institut agronomique, notre établissement d'enseignement supérieur agricole; la troisième, à l'École d'agriculture de Grignon; enfin, la quatrième, à Boulogne-sur-Seine, comme dépendance de la station agronomique de l'Est.

<sup>1</sup> Voyez à ce sujet. — *Annales de la station agronomique de l'Est*; — *Annales de la science agronomique française et étrangère*; — *Annales agronomiques*.

Les deux autres sont : la *station de chimie végétale de Meudon*, dirigée par M. Berthelot, et le *laboratoire de biologie végétale de la Faculté des sciences de Paris* (à Fontainebleau), dirigé par M. Gaston Bonnier.

A Meudon comme à Fontainebleau les recherches de chimie agricole revêtent un caractère plus théorique.

Toutes les branches de la biologie végétale sont, du reste, susceptibles d'applications à la science agricole.

La création des stations scientifiques expérimentales s'imposait d'autant plus que ces recherches exigent

souvent une installation spéciale très importante.

Les stations de recherches agricoles comprennent généralement un terrain découvert et une partie forestière.

Les essais relatifs aux engrais et récoltes, aux semis et aux germinations, se font dans des carrés comparables ou dans des caisses de végé-

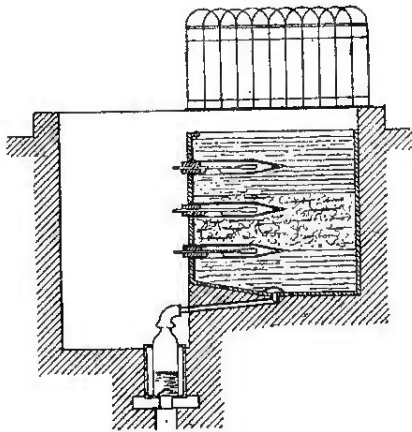


FIG. 91. — Case de végétation.  
Coupe transversale.

tation. (Voir *fig. 90 et 91.*) Il est toujours indispensable de créer des sols artificiels pour les essais sur la nature chimique du sol. Des abris permettent de vérifier sur des cultures en pots. Enfin, au laboratoire qui doit être sur les lieux, on peut effectuer la méthode des solutions nutritives et pratiquer les analyses chimiques. Une installation météorologique avec appareils enregistreurs est ordinairement annexée aux stations.

C'est en se basant sur les données expérimentales des

savants et l'observation des praticiens qu'on est arrivé à donner la théorie générale de la nutrition, et les moyens de fertilisation du sol par les différents amendements et engrais que nous allons étudier.

---

## CHAPITRE II

### AMENDEMENTS ET ENGRAIS

La loi de restitution nous oblige à rendre au sol ce qu'il perd par les récoltes, et de plus nous venons de voir qu'il était possible d'agir sensiblement sur la nutrition de la plante en intervenant pour modifier le milieu dans lequel elle vit.

On y arrive par les opérations agricoles qui sont connues sous le nom d'*amendements* et d'*engrais*.

Dans son sens le plus large, le mot *amendement* s'applique à toute opération qui a pour objet d'améliorer la terre arable, c'est-à-dire de la rendre plus apte à la production des plantes cultivées. Dans l'application usuelle du mot, l'amendement est une substance qu'on ajoute au sol principalement pour en modifier la nature physique. Cette définition est incomplète; aussi est-il préférable d'indiquer le rôle des amendements comme nous le faisons dans l'énoncé suivant: Certains principes contenus dans la terre arable sont inutilisés dans les conditions ordinaires; en ajoutant à la terre certaines substances ou en modifiant sa texture physique, on peut rendre ces substances assimilables par les végétaux. Ces pratiques agricoles portent le nom d'*amendements*.

Au contraire, nous appellerons « engrais » les substances utiles à la plante et qui manquent au sol.

La distinction entre les engrais et les amendements est, du reste, assez peu précise, car bon nombre d'engrais, comme par exemple le fumier, agissent à la fois comme engrais et comme amendement.

De même, dans un sol très siliceux et privé de calcaire, la chaux pourra intervenir dans la nutrition végétale à la fois en modifiant la texture du sol et en s'introduisant dans l'alimentation directe de la plante.

Les amendements au point de vue théorique peuvent toujours être appliqués aux sols cultivés, car il est rare que certains éléments ne soient pas prédominants.

Mais, au point de vue pratique, l'agriculteur, plutôt que de transformer ses terres arables incomplètes en terres complètes, adapte ses cultures spéciales à ses différents sols en tenant compte des exigences variées des plantes qu'il cultive.

Les amendements au point de vue pratique sont donc surtout des correctifs faciles et de détails, dont l'application cependant est un des puissants facteurs du rendement.

Nous diviserons les différents amendements couramment employés en trois sections :

- 1° Les amendements à base de chaux ;
- 2° Les amendements siliceux ;
- 3° Les amendements mécaniques.

#### § 1<sup>er</sup>. — AMENDEMENTS A BASE DE CHAUX

Les principaux sont : les chaulages, les marnages, les plâtrages. Nous allons les étudier successivement, mais surtout au point de vue de leur action sur la biologie des végétaux cultivés. On les emploie surtout lorsque



les sols manquent de l'élément calcaïque. Leur action fertilisante est alors très importante.

1. **Chaulages.** — On obtient la chaux en soumettant à l'action de la chaleur, dans des fours, appelés fours à chaux, des pierres dites calcaires, c'est-à-dire du carbonate de chaux. L'acide carbonique se dégage, et il reste de la chaux vive qui se trouve en même temps déshydratée par la cuisson.

La teneur des roches calcaires en carbonate de chaux est variable suivant leur origine, et il en résulte, suivant les matières étrangères qui entrent dans leur composition, des qualités fort diverses au point de vue agronomique.

*Sortes de chaux.* — Au point de vue agricole, on distingue :

1° La *chaux grasse* ou *chaux pure* provenant de la calcination des calcaires, ne renfermant que peu d'impuretés. Elle est blanche, se délite facilement dans l'eau et foisonne beaucoup par l'extinction ;

2° La *chaux maigre* ou *siliceuse*, qui est beaucoup moins active ;

3° La *chaux hydraulique* ou *argileuse*, qui, colorée en jaune par l'argile, se délite difficilement et augmente peu de volume par l'extinction ;

4° La *chaux magnésienne*, provenant de la calcination des dolomies. Elle est très active.

*Pratique du chaulage.* — On dépose ordinairement la chaux en tas espacés et recouverts de terre. Lorsque la chaux a absorbé une certaine quantité d'humidité, elle fuse et se dilate. On la mélange alors à la terre qui la recouvre. On répète ce brassage plusieurs fois, à dix jours d'intervalle, et par un labour léger on incorpore

le mélange à la couche superficielle de la terre arable.

*Quantité de chaux à employer.* — Elle varie suivant la composition chimique du sol, suivant la culture qu'on prépare et aussi suivant la fréquence du chaulage.

Dans les sols argileux, il vaut mieux chauler à haute dose et plus rarement. Dans les sols légers, au contraire, où la chaux s'incorpore plus facilement, on peut renouveler plus souvent l'opération, mais en diminuant la quantité à employer. L'époque la plus favorable est l'automne.

*Actions diverses de la chaux.* — Sous l'action de la chaux, les substances organiques sont rendues assimilables. On constate en effet, ainsi que l'a démontré Davy, que par une humidité convenable la chaux fait passer à l'état d'ammoniaque l'azote contenu dans les matières organiques. La réussite des chaulages est donc assurée dans les cas de terres défrichées nouvellement, toujours riches en humus.

Deux inconvénients par contre doivent être évités :

1° Ne pas chauler au moment des semailles, afin de ne pas désorganiser les jeunes racelles ;

2° Ne pas chauler à trop haute dose, ce qui entraînerait la production d'une trop grande quantité de produits organiques solubles, dont l'excédent inutilisé pourrait appauvrir le sol par une transformation rapide en produits gazeux.

Introduite dans le sol, la chaux est transformée en carbonate par l'action de l'acide carbonique. On calcule que 97 kilogrammes de chaux grasse donnent 173 kilogrammes de carbonate pulvérulent.

Le carbonate ainsi formé est partiellement transformé en bicarbonate soluble, qui peut pénétrer dans les plantes

à l'état dissous. L'autre partie neutralise souvent l'acidité trop prononcée des terres et, de plus, agit chimiquement en présence des matières organiques azotées en facilitant la production des nitrates (Boussingault).

2. **Marnage.** — La marne est un calcaire argileux qui a la propriété de se déliter dans l'eau et de se réduire en poudre par l'effet de la gelée. Les marnes sont toujours plus ou moins impures et sont colorées quelquefois par des oxydes ferrugineux. Onctueuse au toucher, elles doivent à la présence de l'argile la propriété de happer à la langue; à cause du calcaire qu'elles renferment, elles font effervescence sous l'action des acides.

Nous empruntons à M. Larbalétrier <sup>1</sup> un tableau de M. Pouriau, qui résume brièvement les caractères physiques et chimiques des différentes marnes. (V p. 360.)

On calcule facilement la richesse en carbonate de chaux d'une quelconque de ces marnes.

On prend un poids  $p$  de marne, qu'on additionne d'un poids égal d'eau distillée, on ajoute de l'acide chlorhydrique. Il se produit une effervescence due à un dégagement d'acide carbonique, et tout le carbonate de chaux est transformé en chlorure de calcium. Par filtration, le chlorure de calcium formé et dissous se trouve entraîné; le poids  $p'$  du résidu solide recueilli sur le filtre ne renfermant plus de calcaire, on en déduit :

$$p - p' = \text{calcaire.}$$

*Emploi et effet des marnes.* — On laisse généralement les marnes en tas pendant l'hiver. Elles se délitent et tombent en poussière; on les répand ensuite uniformément et on les mélange au sol par un labour. Leur

<sup>1</sup> LARBALÉTRIER, *Les Engrais*. Bib. des Conn. utiles. Paris, 1891, page 79.

## CARACTÈRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES MARNES

Variétés	Composition	Caractères physiques et chimiques
Marnes calcaires.....	50 pour 100 de carbonate de chaux au minimum.	Blanches, vive effervescence avec les acides, adhèrent légèrement à la langue. Avec l'eau, pâte courte qui tombe en poussière en se desséchant.
Marnes argileuses .....	50 pour 100 d'argile au minimum.	Effervescence moins vive, happent à la langue. Avec l'eau, pâte liante et dure après dessiccation.
Marnes siliceuses .....	30 à 70 pour 100 de sable.	Friables, donnent avec l'eau une pâte dépourvue de liant et s'écrasant sous la plus faible pression après dessiccation.
Marnes magnésiennes ...	Beaucoup de carbonate de magnésie.	Propriétés analogues à celles des marnes calcaires.
Marnes gypseuses .....	Notable proportion de sulfate de chaux.	Assez répandues dans l'étage géologique du Gypse tertiaire éocène.
Marnes phosphatées .....	1 à 2 pour 100 de phosphate de chaux tribasique.	Assez rares.
Marnes humifères.....	Renfermant des matières organiques en décomposition.	Existent dans les terrains modernes.

action est analogue à celle de la chaux, mais moins énergique. Leur emploi permet, en outre, d'ajouter au sol un élément qui lui manque en combinant l'apport des marnes argileuses sur des sols trop siliceux, et inversement de marnes siliceuses sur des sols trop argileux.

Dans l'emploi des marnes, il ne faut pas perdre de vue qu'en rendant les engrais assimilables, en complétant le sol et en l'améliorant au point de vue physique on produit, par suite, des rendements élevés. Il faut donc ensuite satisfaire à la loi de restitution et augmenter les fumures ou les engrais chimiques après les marnages.

**3. Plâtrages.** — Le gypse pulvérisé extrait des carrières constitue le plâtre cru, qui souvent est soumis à une cuisson à 115 degrés dans des fours où il perd la moitié de son eau de cristallisation. Le plâtre renferme, en plus du sulfate de chaux hydraté, de 3 à 15 pour 100 de matières étrangères.

*Emploi et effets du plâtre.* — Liebig, Davy, Kuhlman, Boussingault ont proposé différentes explications sur l'effet utile du plâtre. D'après M. P. Delhérain, le plâtre agit surtout en mobilisant les alcalis et en leur permettant de s'enfoncer dans les profondeurs de la couche arable au lieu de rester dans les parties superficielles. Ceci explique l'action du plâtre sur les plantes à racines profondes, comme la Luzerne.

La formule suivante exprime, du reste, la réaction: les sulfates sont réduits dans la terre arable, et les bases alcalines amenées à l'état de carbonates.

Cet amendement doit être employé pendant la végétation des plantes, au printemps.

Les plâtras ou débris de démolition sont souvent employés comme succédanés des plâtres naturels.

En résumé, les amendements calcaires modifient la végétation dans des proportions considérables. Les résultats suivants obtenus par M. Smith et M. de Villèle en donnent un exemple frappant :

CULTURE DE TRÈFLE BLANC (SMITH)

		Fanes par hectare	Grain par hectare	Poids de la récolte totale
		Kilog.	Kilog.	Kilog.
1 <sup>re</sup> expérience.	{ Sol plâtré . . . . .	2,429	347	2,776
	{ Sol non plâtré ..	915	61	976
2 <sup>e</sup> expérience.	{ Sol plâtré . . . . .	2,476	190	2,686
	{ Sol non plâtré ..	1,525	67	1,522

CULTURES DE SAINFOIN ET DE TRÈFLE (DE VILLÈLE)

		Récolte totale par hectare
Sainfoin ..	{ Sol plâtré (300 kilogr. à l'hectare) .	4,000 kilogr.
	{ Sol non plâtré . . . . .	2,000 —
Trèfle ....	{ Sol plâtré (300 kilogr. à l'hectare) .	5,000 kilogr.
	{ Sol non plâtré . . . . .	2,500 —

## § 2. — AMENDEMENTS SILICEUX

Nous mentionnerons l'écobuage et le colmatage.

1. **Écobuage.** — Il consiste à brûler la couche superficielle du sol et les débris végétaux qu'elle supporte. Sous l'action de cette combustion, les végétaux brûlés ne laissent que leurs cendres et l'argile du sol se métamorphose en brique dont les effets physiques et mécaniques sont comparables à ceux de la silice. L'opération exige

préalablement que le sol superficiel soit découpé en plaquettes, qui sont groupées en tas ou fourneaux ; on répand ensuite les résidus de l'incinération.

Par l'écobuage, les terres trop argileuses sont considérablement améliorées, puisqu'elles acquièrent ainsi des propriétés nouvelles qui atténuent les propriétés trop exclusives d'un sol argileux.

2. Colmatage. — On pratique cet amendement en apportant sur les terres les limons charriés par les fleuves et les rivières. A cause des diverses couches géologiques qui se succèdent d'amont en aval dans le lit d'un cours d'eau, on trouve souvent dans les limons des produits très variés. L'épandage se produit naturellement par submersion et écoulement après dépôt.

Les terres où l'on répand ces limons s'enrichissent par addition de ces produits.

### § 3. — AMÈNDEMENTS MÉCANIQUES

On pourrait y ranger la *jachère* qui assure l'ameublissement de la couche arable et provoque la formation dans le sol de certains composés qui l'enrichissent. M. Berthelot a, en effet, démontré que les terres nues peuvent fixer des quantités assez importantes d'azote libre. D'après M. Sehlœsing, la terre exposée sans végétation pourrait aussi gagner de petites quantités d'ammoniaque ou d'acide azotique amenées par les eaux météoriques.

1. Labourage et drainage. — Ils peuvent agir sur la nitrification en aérant la couche arable. Le drainage produit, en outre, une élévation de température qui profite grandement au système radiculaire des plantes et, par suite, agit sur leur nutrition.

2. **Irrigation.** — Mais le plus important des amendements mécaniques est dans certains cas (sécheresses) la pratique de l'*irrigation*. On a obtenu ainsi des augmentations très importantes dans le rendement de l'olivier, des vignes et d'un grand nombre de cultures méridionales. Quand l'eau manque au sol, la végétation est considérablement ralentie. Un sol irrigué, au contraire, active la végétation, augmente la ramification et, par suite, intervient dans le rendement en poids.

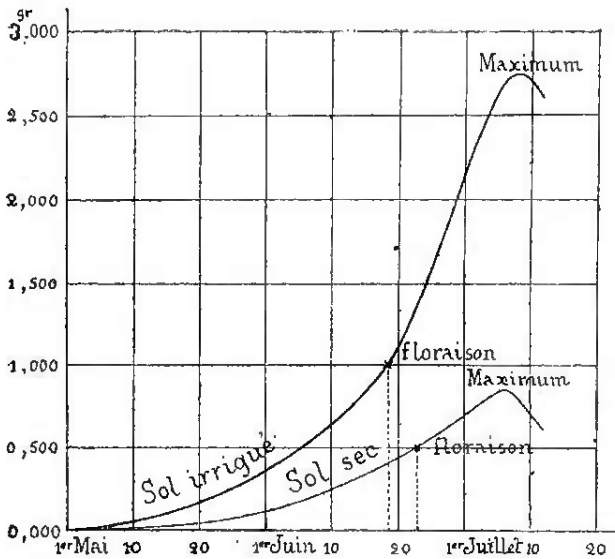


FIG. 92. — Lin : Courbe schématique exprimant le développement du poids frais d'un pied de *Linum usitatissimum*. Culture expérimentale faite au laboratoire de Fontainebleau. (EDMOND GAIN.)

Nous avons étudié avec détail tout ce qui concerne le rôle physiologique de l'eau du sol dans la végétation <sup>1</sup>. La courbe suivante (fig. 92), relative au développement en poids d'une plante de grande culture, le Lin, donnera une idée de l'importance de l'irrigation.

<sup>1</sup> E. GAIN, *Influence de l'humidité du sol*. Ass. fr. av. sc. Congrès de Pau, 1892, et *Comptes rendus. Ac. sc.*, etc.



## § 4. — L'AZOTE

Nous avons vu la théorie minérale de Liebig détrôner la vieille théorie de l'humus. En réalité, l'humus est utile aux plantes par sa richesse en azote, engagé dans des combinaisons organiques ; mais il est admis par tous les physiologistes que l'azote minéral est seul absorbé par les plantes. C'est sous la forme de nitrates ou de sels ammoniacaux que l'azote est introduit dans le végétal. Cet azote minéral provient en grande partie de la transformation des matières organiques du sol, mais peut aussi provenir des sels minéraux et de la fixation dans le sol des vapeurs nitreuses et ammoniacales de l'atmosphère.

MM. Lawes et Gilbert ont établi expérimentalement, à Rothamsted, l'influence d'une fumure organique sur la richesse du sol en azote ; ils ont trouvé après trente années :

	Azote par kilogr.
Sol sans engrais.....	1,09
Sol avec fumier de ferme.....	1,88

L'azote contenu dans la terre arable y existe sous trois états :

- 1° A l'état de *combinaisons carbonées*, insolubles ;
- 2° A l'état de *combinaison ammoniacale*, ordinairement transitoire (ammoniaque libre, corps amidés) ;
- 3° A l'état de *combinaison nitrique* soluble, qui disparaît, d'une part, dans les eaux d'infiltration, d'autre part, dans les dissolutions absorbées par les racines des plantes.

L'inconvénient des engrais organiques appliqués en vue de restituer l'azote, c'est qu'ils sont très lents à se transformer pour devenir assimilables, et qu'il en faut

de grandes quantités. Les engrais chimiques azotés présentent sous un faible volume une même action fertilisante et à plus brève échéance, puisqu'ils sont plus voisins de l'état nitrique.

Nous allons examiner successivement ces deux catégories.

1. **Engrais organiques azotés.** — Le plus important est le *fumier de ferme*, mais une foule d'autres produits peuvent y suppléer ou exercer une action analogue (guanos, sang desséché, viande desséchée, corne torréfiée, cuir désagrégé, laine, tourteau, poudrette).

Le tableau suivant<sup>1</sup> résume leur richesse en azote, comparativement à celle des engrais chimiques azotés.

Engrais		Azote pour 100	Quantités équivalentes à 100 kilogr. de nitrate de soude	Quantités renfermant, 100 kilogr. d'azote
			Kilogr.	Kilogr.
Engrais chimiques	{ Nitrate de soude .....	45,5	100	645
	{ Nitrate de potasse ....	14,5	135	870
	{ Sulfate d'ammoniaque.	20,5	75	487
Engrais organiques	{ Guano riche .....	7	220	1,430
	{ Sang desséché .....	12	130	835
	{ Viande desséchée ....	10	155	1,000
	{ Corne torréfiée.....	14	110	714
	{ Cuir désagrégé.....	8	194	1,250
	{ Laine .....	5	310	2,000
	{ Tourteau .....	4	388	2,500
	{ Poudrette.....	1,6	969	6,250
	{ Fumier de ferme .....	0,5	3,100	20,000

A. **LE FUMIER DE FERME.** — C'est l'engrais organique le plus abondamment produit et le plus employé.

Il y a dans le fumier de ferme deux parties bien distinctes :

<sup>1</sup> MUNTZ et Ch. GIRARD, *Les Engrais*, t. II, p. 328.

1° L'engrais végétal (pailles des litières);

2° L'engrais animal (déjections des animaux).

C'est donc un engrais mixte et par suite de haute valeur. Nous allons étudier successivement ses deux éléments, litières et déjections.

*Litières.* — Au point de vue spécial de la fertilisation des sols, la litière doit réunir deux conditions importantes :

a) Avoir des propriétés absorbantes poussées au plus haut degré;

b) Être riches en éléments fertilisants (Az,  $\text{Ph}^2\text{O}^5$ ,  $\text{K}^2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ).

Les chaumes des céréales réunissent ces conditions, leur texture étant éminemment propre à l'absorption. Les fanes des Légumineuses présentent l'avantage d'être riches en azote.

Les Bruyères sont aussi recherchées pour l'azote et l'acide phosphorique.

Nous donnons ci-dessous quelques chiffres qui renseignent sur les propriétés utiles des litières les plus employées.

Litières	Pouvoir absorbant — Nombre de litres d'eau absorbés en 24 h. par 100 kilogr. de litière	Richesse en éléments fertilisants		
		Azote	Acide phospho- rique	Sels
Paille de blé .....	220 litres	0,24	0,22	3,518
— d'orge .....	285 —	0,23	0,20	5,734
— d'avoine .....	228 —	0,28	0,21	»
Fanes de colza .....	200 —	0,75	0,30	5,101
— de pois .....	280 —	1,79	0,40	»
— de féveroles..	230 —	0,20	0,22	3,899
Bruyère.....	145 —	1	0,18	3,610
Fougère.....	212 —	2,4	0,57	5,890
Tannée.....	450 —	0,69	»	6,480

*Déjections.* — Les excréments des animaux constituent les éléments fertilisants les plus importants du fumier. Leur valeur fertilisante dépend, bien entendu, de l'animal et de son alimentation.

La partie des aliments qui est assimilée par l'organisme animal enlève une forte proportion des principes fertilisants contenus dans les substances alimentaires ; une partie considérable de ces principes revient cependant au sol par les déjections liquides (élimination par l'urine des résidus azotés de combustions vitales). La partie non assimilable excrémentitielle est rejetée et forme les déjections solides où on retrouve la plupart des sels minéraux ingérés.

*Déjections solides.* — Leur composition est très variable suivant l'animal, et cela est évident, puisque les différents animaux domestiques exportent des substances variées : os, chair, laine, lait.

Voici leur composition moyenne pour un régime alimentaire ordinaire :

Composition	Cheval.	Vache	Mouton	Porc
Eau .....	75,31	90,60	57,60	84,00
Matières organiques ....	20,26	8,10	36,71	9,50
Matières minérales .....	4,04	1,13	5,68	6,50
Azote pour 100 .....	0,55	0,22	0,72	0,70

*Déjections liquides.* — Elles sont très riches en azote qui s'y trouve ordinairement sous forme d'urée, d'acides urique et hippurique libres ou combinés avec des bases alcalines. Le régime alimentaire et le travail produit influent beaucoup sur leur richesse centésimale<sup>1</sup> et sur

<sup>1</sup> D'après M. REISER, une partie de l'azote est perdue par les phénomènes respiratoires.

l'abondance de leur production. Dans les conditions ordinaires, on y trouve la composition suivante :

Composition	Cheval	Vache	Mouton	Porc
Eau .....	91,08	92,13	86,30	97,92
Matières organiques ....	5,58	5,22	8,10	1,03
Matières minérales .....	3,33	2,65	2,60	1,03
Azote pour 100 .....	1,48	0,98	1,30	0,23

Tels sont les éléments qui constituent les fumiers frais. Mais après leur formation les fumiers sont le siège de transformations progressives importantes qui modifient complètement leur valeur fertilisante. Tout d'abord les déjections liquides et solides réagissent sur les litières et l'ensemble prend un aspect spécial dû à des modifications chimiques et physiques.

On distingue bientôt dans une accumulation de fumier trois parties :

1° A la partie supérieure, une substance soluble dans l'eau, très azotée, que Thénard a appelée *glucose azoté* ;

2° A la partie moyenne, une substance brune insoluble dans l'eau, mais soluble dans les alcalis, c'est l'*acide fumique* ;

3° A la partie inférieure, une partie noire, entièrement décomposée, c'est le *beurre-noir*

Pendant cette séparation en zones distinctes, le fumier est le siège de fermentations qui ont pour résultat un dégagement d'acide carbonique et d'eau, ce travail chimique étant accompagné d'un dégagement de chaleur qui élève la température de la masse.

A cette combustion lente succèdent différentes fermentations dues à des bactéries aérobies qui augmentent la partie décomposée ou *beurre-noir*. L'azote organique

passé peu à peu à l'état ammoniacal ou même nitrique pendant que différents carbures d'hydrogène se dégagent.

Cette transformation en fumier dit *consommé* amène un enrichissement en principes utiles, ainsi que le prouvent les deux exemples suivants :

Éléments fertilisants	1,000 kilogr. Fumier de vache		1,000 kilogr. Fumier de mouton	
	Frais	Consommé (3 mois)	Frais	Consommé (3 mois)
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Azote.....	8,1	11,8	6,5	9,2
Acide phosphorique..	4,1	6,8	6,2	10,7
Potasse.....	14,5	20,8	17,1	22,8

Enfin, pendant ce temps, la partie aqueuse ou *purin* dissout une certaine quantité des éléments solubilisés.

Voici la composition moyenne des différents fumiers :

COMPOSITION DES FUMIERS (BOUSSINGAULT)

Fumier à l'état sec sur 1,000 kilogr.		Cheval	Bœuf et Vache	Mouton	Porc	Fumure mixte
Matières organiques	Carbone .....	878,64	887,10	877,45	831,30	866,20
	Oxygène .....					
	Hydrogène .....					
	Azote .....	25	18,81	21,46	28,97	20
Matières minérales	Acide phosphorique ..	7,43	7,41	5,29	7,64	9,70
	Acide sulfurique.....	2,39	3,75	2,51	8,63	6,30
	Chlore .....	2,30	2,65	2,35	3,29	1,90
	Potasse .....	20,71	18,03	20,55	62,57	25,10
	Soude .....	1,44	1,32	1,56	»	»
	Chaux .....	16,28	14,84	17,29	6,57	27,50
	Magnésie .....	7,89	7,39	7,32	8,63	11,60
	Silice .....	42,00	38,06	43,31	41,41	212,60
	Oxyde de fer et Man- ganèse .....	1,22	0,94	0,91	0,99	19,30
Fumier à l'état ordinaire sur 1,000 kilogr.						
Eau.....	674	718	616	728	800	
Matière sèche .....	326	282	384	272	200	

En général, le fumier fait de nombreuses pertes en éléments fertilisants pendant le temps de sa conservation à la ferme. Ces déperditions sont dues :

1° A la plus ou moins grande perméabilité des aires sur lesquelles reposent les fumiers (infiltration) ;

2° Aux lavages produits par les eaux atmosphériques (ruissellement) ;

3° Aux dégagements de produits volatils dus à l'évaporation des composés ammoniacaux, de l'ammoniaque libre et de l'azote gazeux qui résulte du développement d'un champignon, le *blanc de fumier* (évaporation).

On peut ordinairement diminuer de beaucoup ces pertes par une organisation spéciale bien comprise (transport rapide à la fosse, arrosages au purin... etc.).

M. Reiset, membre de l'Institut, a publié <sup>1</sup> les résultats des expériences qu'il a faites sur la putréfaction et la formation des fumiers. Il arrive aux conclusions suivantes, qui sont conformes à celles de Lawes Gilbert et Pugh <sup>2</sup> : les sels ammoniacaux, les nitrates, les matières azotées fixes qui peuvent prendre naissance pendant la combustion lente ou la putréfaction des matières organiques azotées ne représentent pas tout l'azote contenu primitivement dans ces matières : la formation du fumier est donc accompagnée d'un dégagement très notable d'azote gazeux.

Si le fumier est plongé sous l'eau, sa décomposition donne lieu à un dégagement abondant d'hydrogène protocarboné et d'azote.

*Emploi du fumier.* — Une fumure ordinaire est de

<sup>1</sup> J. REISET, *Recherches pratiques et expérimentales sur l'agronomie*. Paris, 1863.

<sup>2</sup> *Proceedings of the Royal Society*, juin 1860.

30,000 kilogrammes à l'hectare ; mais on peut faire varier ce chiffre de 15,000 à 60,000 kilogrammes suivant le résultat à atteindre. C'est ordinairement en automne qu'on pratique l'épandage et l'enfouissement par plusieurs labours. D'après M. Lefour, plus un fumier est riche en principes ammoniacaux, plus il est soluble ; plus sa fermentation est avancée, plus il est divisé et plus promptement il se dissipe.

Le fumier dure plus longtemps dans les argiles que dans les sables, mais il agit moins vite ; les argiles en absorbent davantage d'abord sans en manifester les effets ; il se conserve dans une terre froide, mais a peu d'action ; il disparaît promptement dans la craie, mais il y laisse des principes qui continuent longtemps à manifester leur action. La chaleur et l'eau favorisent la décomposition, un excès de sécheresse l'arrête. Enfin, les plantes profitent très différemment de cet engrais. Il faut surtout le recommander pour les plantes sarclées et les plantes labourées. Il peut être appliqué un an avant la culture de ces plantes dans l'assolement, par exemple sur une céréale précédant la betterave.

2. **Engrais minéraux azotés.** — On peut les diviser en deux groupes : *A.* les nitrates ; *B.* les sels ammoniacaux.

*A.* **NITRATES.** — C'est l'acide nitrique qui dans les nitrates fournit l'azote à la végétation ; il est employé sous la forme de *nitrate de soude* et de *nitrate de potasse*.

*a)* *Nitrate de soude.* — Ce sel, encore appelé azotate de soude ou salpêtre cubique, forme des gisements très importants au Pérou et au Chili.

Sur 100 parties de sel pur on trouve : soude, 36,47 ; acide azotique, 63,53 ; soit : 16,47 d'azote.

Le nitrate de soude du commerce renferme, en outre, 5



à 6 pour 100 d'impuretés (sels alcalins, matières terreuses). Il est, de plus, très hygroscopique et, par suite, peut absorber des proportions variables de vapeur d'eau. L'assimilation du nitrate de soude par les plantes est très facile, car ce sel se dissout dans les liquides du sol <sup>1</sup>.

M. Grandeau <sup>2</sup> a signalé les avantages spéciaux de cet engrais :

1° Le nitrate sert directement à l'alimentation de la plante. Ne devant subir aucune modification dans la terre, il agit donc beaucoup plus rapidement que les autres engrais azotés d'origine organique, l'action de ces derniers étant subordonnée à leur nitrification préalable ;

2° La rapidité avec laquelle le nitrate est absorbé par les végétaux met promptement ceux-ci en état de résister, par leur vigueur et leur développement, aux intempéries, à l'action des insectes nuisibles et aux parasites ;

3° Dans les années à hiver rigoureux, le nitrate employé en couverture, sur les blés et les seigles, permet aux semailles d'automne de réparer le retard produit par les conditions climatériques défavorables ;

4° Enfin, le nitrate accroît économiquement, d'une manière très notable, le rendement de la plupart des cultures.

Dans la pratique, il ne faut pas oublier non plus que le nitrate dissout les phosphates difficilement solubles qui par suite sont absorbés en plus grande quantité par les récoltes, de sorte que les terrains pauvres sont usés par la fumure au nitrate de soude. Les sols riches en acide phosphorique, au contraire, ne cèdent à la plante leur acide

<sup>1</sup> L'eau en dissout 83 pour 100 à 15 degrés C.

<sup>2</sup> GRANDEAU, *Emploi du nitrate de soude*. Paris, 1889.

phosphorique que très tardivement et, par suite, ne s'appauvrissent pas sensiblement.

b) *Nitrate de potasse*. — Ce sel, encore appelé *salpêtre*, ne renferme que 13 pour 100 d'azote environ, de sorte que c'est surtout un engrais potassique. Sa double action fertilisante le fait souvent rechercher.

B. SELS AMMONIACAUX. — Le grand inconvénient des nitrates, c'est leur grande solubilité, de sorte qu'ils sont trop facilement entraînés par les eaux. Les sels ammoniacaux ont un autre inconvénient, c'est leur volatilité.

Dans le sol c'est surtout l'humus et l'argile qui fixent l'ammoniaque; le calcaire et le sable semblent sans action. N'oublions pas que les sels ammoniacaux, comme nous l'avons déjà dit, peuvent être très rapidement transformés en nitrites, puis en nitrates; mais ils peuvent être absorbés directement.

Le chlorhydrate, l'azotate, le carbonate, le phosphate d'ammoniaque, le phosphate ammoniaco-magnésien et le sulfate d'ammoniaque sont les principaux sels ammoniacaux qui peuvent être employés en agriculture. Ils proviennent en général des résidus industriels.

Le sulfate est de beaucoup le plus important, aussi nous y arrêterons-nous un instant.

a) *Sulfate d'ammoniaque*. — Ce sel se présente sous la forme de cristaux blancs transparents, prismatiques, efflorescents, solubles dans deux fois leur poids d'eau. Sa composition est la suivante à l'état pur :

Acide sulfurique ..	60,62	
Ammoniaque .....	23,75	correspondant à 21,75 d'azote.
Eau .....	13,63	

On l'extrait industriellement :

1° Par l'emploi des eaux ammoniacales du gaz. — Les

substances azotées de la houille sont décomposées par la chaleur et donnent des produits ammoniacaux qui se condensent par le refroidissement sous la forme d'une eau ammoniacale renfermant du carbonate, de l'acétate, du chlorhydrate, du sulfhydrate et du sulfocyanhydrate d'ammoniaque. Les eaux qui renferment de 12 à 15 kilogrammes d'ammoniaque par mètre cube donnent, quand elles sont traitées par l'acide sulfurique, 50 à 64 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque.

2° Par l'emploi des eaux vannes. — Les matières de vidanges transformées en poudrette laissent un liquide ammoniacal (eaux vannes) dont on transforme les sels en sulfate.

Le sulfate d'ammoniaque s'emploie à la dose de 80 à 150 kilogrammes à l'hectare sur les céréales en automne.

L'emploi de cet engrais doit être évité sur les terres calcaires ou chaulées. Par double décomposition, il se forme en effet du carbonate d'ammoniaque très volatil et du sulfate de chaux qui est là sans action fertilisante appréciable.  $50^4(NH^4)^2 + 60^3Ca = 50^4Ca + 60^3(NH^4)^2$

L'action du sulfate d'ammoniaque sur les rendements est à peu près analogue à celle du nitrate de soude.

D'après Welcker, Lawes et Gilbert, le sulfate semble donner des produits plus lourds pour les *céréales*, ainsi que l'indiquent les chiffres suivants :

Céréales	Poids moyen de l'hectolitre		
	Sans fumure azotée	Sulfate d'ammoniaque	Nitrate de soude
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Blé (moyenne de 30 ans)....	72,72	73,83	72,82
Orge (moyenne de 20 ans) ..	66,55	67,35	66,55
Avoine.....	43,64	46,14	44,57

Le nitrate de soude, au contraire, a une action supérieure sur le rendement des racines en poids. Par contre, pour la betterave, le sulfate d'ammoniaque augmente la richesse saccharine, ainsi que l'indique le tableau ci-dessous :

TAUX EN SUCRE POUR 100 KILOGRAMMES

Expériences	Sans engrais	Nitrate de soude	Sulfate d'ammoniaque
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
N° 1. M. Joulie, .....	13,58	12,97	14,98
N° 2. M. Dehérain, .....	16,24	13,27	14,30
N° 3. MM. Lawes et Gilbert.	12,07	11	11,12
N° 4. Id.	13,36	11,35	12,62.

Relativement à l'emploi des sels ammoniacaux, il faut retenir ce fait que, dans les cas où il y a intérêt à donner des sels ammoniacaux, on doit éviter de les mettre longtemps à l'avance sous peine de perdre une notable fraction de l'azote qu'ils renferment. Les terres fortes seulement peuvent garder longtemps cet engrais, les déperditions dans les autres sols sont d'autant plus fortes qu'ils sont plus perméables et que la nitrification y est plus active.

On mélange ordinairement le sel ammoniacal avec une matière inerte ou un autre engrais et on pratique l'épandage à la volée ou au semoir, par un temps calme et humide, sur labour ou en couverture avec hersage.

### § 5. — L'ACIDE PHOSPHORIQUE

L'acide phosphorique est un des éléments minéraux qui influent sur le rendement. Pour certaines plantes, c'est même un des facteurs essentiels de leur développe-

ment; aussi, depuis longtemps déjà, MM. Boussingault et Georges Ville ont-ils montré l'importance des engrais phosphatés. Rendu au sol, l'acide phosphorique s'impose d'autant plus que les produits d'exportations (grains, lait, etc.,) sont riches en acide phosphorique qui ne revient pas au sol par le fumier.

Ainsi qu'on peut le constater dans les tableaux relatifs à la chimie des produits agricoles (pages 443 et suiv.), l'acide phosphorique est prélevé en abondance par presque toutes les récoltes. Sur un hectare cultivé, chaque récolte en exige de 13 à 50 kilogrammes, les Légumineuses et les céréales étant surtout exigeantes sous ce rapport.

L'emploi des engrais phosphatés en abondance est d'autant plus recommandable qu'ils restent emmagasinés dans le sol; leur excédent reste disponible pour les cultures suivantes :

**1. Acide phosphorique du sol.** — Pour qu'une terre ne soit pas stérile, M. Joule a calculé qu'il en faut un minimum de 1,200 kilogrammes par hectare. Les bonnes terres arables peuvent en contenir de 3,500 à 5,000 kilogrammes, et par exception 15,000 à 20,000 kilogrammes.

Le tableau suivant donne, relativement à la richesse des sols en acide phosphorique, la classification généralement adoptée :

Terres très riches .....	+ de 2 p. 1,000 d'acide phosphorique.		
— riches .....	de 1 à 2	—	—
— moyennement riches.	de 0,5 à 1	—	—
— pauvres .....	de 0,5 à 0,1	—	—
— très pauvres.....	— de 0,1	—	—

N'oublions pas, du reste, que ce n'est pas tant la quantité absolue d'acide phosphorique que la forme sous laquelle il se présente dans le sol qui influe sur la récolte.

Nous sommes ainsi amenés à considérer :

1° L'acide phosphorique qui se trouve à la disposition des racines des plantes à cause de son isolement et de sa grande diffusibilité ;

2° Celui qui nécessite l'émiettement et la désagrégation lente de la masse des particules du sol pour se séparer des éléments rocheux [qui, en l'englobant, l'empêchent d'être assimilable.

Les laboratoires peuvent renseigner sur l'état de l'acide phosphorique des sols.

Si la teneur d'une terre dépasse 4,000 kilogrammes à l'hectare, soit 400 grammes aux 100 kilogrammes, on peut simplement restituer ce que prélèvent les récoltes annuelles.

Pour les sols moins riches, c'est une obligation d'y ajouter un surplus, qui augmente peu à peu le stock de réserve et, par suite, donne au capital terrien une plus-value sérieuse.

Le D<sup>r</sup> Wagner a, du reste, établi que toutes les plantes se trouvent bien d'un apport d'acide phosphorique, conjointement avec les autres engrais. Ce fait résulte d'une donnée scientifique, relative au mode d'action de l'acide phosphorique. Ce dernier, en effet, pour produire toute sa force d'action, exige, la plupart du temps, la présence d'un engrais azoté.

**2. Sortes d'engrais phosphatés.** — L'agriculture emprunte surtout l'acide phosphorique aux phosphates minéraux naturels et aux phosphates animaux.

Dans ces deux catégories, on peut ranger :

1° *Les phosphates de chaux naturels* mélangés à une gangue plus ou moins pure (apatites, phosphorites, coprolithes, nodules...);

2° Les *phosphates dits organiques*<sup>1</sup> contenus dans les guanos et les os.

Enfin, l'industrie travaille divers phosphates avant de les utiliser (*phosphates industriels* : superphosphates, phospho-guano, phosphates précipités).

Quelle que soit l'origine du phosphate, il se présente sous l'une de ses trois formes basiques en combinaison avec la chaux :

1° Phosphate monocalcique ou phosphate acide, soluble dans l'eau ;

2° Phosphate bicalcique ou phosphate neutre, presque insoluble ;

3° Phosphate tricalcique, ou phosphate acide, insoluble. Les eaux chargées d'acide carbonique peuvent cependant le dissoudre (Dumas), et cette dissolution doit souvent se produire dans la nature.

Accidentellement on trouve aussi des phosphates de magnésie, d'alumine, etc.

Nous allons examiner séparément les trois catégories de phosphates que nous venons d'indiquer plus haut.

**3. Phosphates naturels.** — Ils comprennent : 1° les apatites ; 2° les phosphorites ; 3° les coprolithes, nodules, sables et craies phosphatés.

**A. APATITES.** — Ce sont des roches dures à texture cristalline, qui sont probablement le résultat de dépôts formés par les eaux thermales qui entraînent le phosphate en dissolution grâce à la présence d'acide carbonique. Les apatites sont des minéraux d'aspect vitreux, colorés diversement. Au point de vue chimique, elles

<sup>1</sup> Les phosphates dits organiques sont, comme les autres, des substances minérales ; on les appelle ainsi parce qu'ils sont engagés dans des substances organiques provenant des animaux,

sont composées de phosphate de chaux cristallisé contenant à l'état de combinaison du fluorure et du chlorure de calcium et mélangé à de la silice, de l'oxyde de fer, du carbonate de chaux... C'est surtout dans le terrain primitif (Canada, Norwège, Espagne), ou dans le dévonien (Nassau) qu'on les rencontre.

Le teneur en phosphate de chaux est d'environ 70 pour 100 ; l'analyse suivante d'un échantillon moyen (apatite du Canada) donne 82,25, de phosphate de chaux tribasique, soit :

Acide phosphorique .....	37,68
Chaux .....	51,04
Oxyde de fer, alumine, fluorures .....	6,88
Matière siliceuse insoluble ..	4,29
Eau .....	0,11

**B. PHOSPHORITES.** — On range sous ce nom une variété d'apatite terreuse. Les phosphorites sont très répandues, en Espagne ; leur composition ne s'écarte pas beaucoup de celle des apatites, mais elles sont ordinairement un peu plus riches en phosphates de chaux. Voici l'analyse des phosphorites de la mine de Esmeralda d'après les documents de l'École des mines de Madrid :

Phosphate de chaux .....	84,04
Silice .....	10
Alumine et oxyde de fer .....	0,43
Fluorure de calcium .....	5,05

La moyenne des analyses des phosphorites exportées est d'après M. Petermann :

Acide phosphorique .....	30,45
Chaux .....	66,47
Carbonate de chaux .....	4,16
Silice .....	25,32
Oxyde de fer et alumine .....	1,34
Fluor et autres substances .....	2,48



On place aussi dans la catégorie des phosphorites les gisements du Quercy qui sont exploités à raison de 25,000 tonnes par an.

Leurs produits sont utilisés de trois manières :

1° Les plus riches (70 pour 100 de phosphates) servent à l'extraction industrielle du phosphore ;

2° Les moins riches (50 à 60 pour 100) sont transformés en superphosphates ;

3° Les bas titres (20 à 50 pour 100) sont utilisés directement comme engrais.

Deux échantillons appartenant à cette dernière catégorie ont donné à l'analyse :

	Lot.	Tarn-et-Garonne.
Phosphate tribasique de chaux ....	45	45
Carbonate de chaux.....	15	25
Alumine, fer, manganèse.....	18	16
Silice, fluor, iode.....	22	14
	<hr/>	<hr/>
Total.....	100	100
	<hr/> <hr/>	<hr/> <hr/>

Les principaux gisements appartiennent à la région des *Causses* (Lot, Aveyron, Tarn, Tarn-et-Garonne).

C. COPROLITHES ET NODULES, SABLES ET CRAIES PHOSPHATÉS. — Les coprolithes sont des excréments fossiles qui se sont enrichis par substitution du phosphate de chaux apporté par les eaux. Les nodules ont une origine variable. Ils paraissent formés, comme les coprolithes, par substitution du phosphate à une autre substance ou par agglomération autour d'un noyau central. Ils sont très abondants, surtout en France, dans les départements de la Meuse (24 millions de tonnes renfermant 16 à 22 pour 100 d'acide phosphorique), du Pas-de-Calais (160,000 tonnes, d'une richesse de 20 à 30 pour 100), de la Côte-d'Or (1,500,000 tonnes à 29

pour 100), du Lot (1,200,000 tonnes de 20 à 35 pour 100).

Les exploitations de la Meuse sont particulièrement importantes. Voici, d'après M. Delattre<sup>1</sup>, l'analyse chimique de quelques échantillons :

Composition	Meuse		Ardennes		Marne
	Rarécourt	Les Islettes	Des grès verts	De la gaize	Arget
Eau .....	1,85	1,90	2,20	1,15	1,80
Matières volatiles au rouge	4,70	5,05	4,55	4,90	4,80
Acide phosphorique .....	17,58	18,74	19,57	23,46	14,39
— sulfurique .....	0,85	1,20	0,85	0,89	0,79
— carbonique .....	4,20	4,80	5,80	5,65	4,35
Fluor .....	1,25	1,48	1,66	1,62	1,10
Chaux .....	27,04	29,23	31,81	40,48	23,80
Magnésie.....	traces	0,39	0,36	0,50	0,07
Alumine .....	2,47	2,57	3,35	2,15	2,65
Oxyde de fer .....	4,95	5,46	4,89	2,87	5,05
Silice .....	35,18	28,74	24,80	15,40	40,90
Equivalent en phosphate de chaux.....	38,37	40,90	42,73	51,22	31,41

La richesse en phosphate varie entre 40 et 64 pour 100 dans les nodules du Cher, de 37 à 45 dans le Boulonnais.

Les gisements de sables et craies phosphatés sont extrêmement abondants dans les terrains jurassique et crétacé.

Parmi les plus importants nous citerons :

I. LES CALCAIRES PHOSPHATIFÈRES CRÉTACÉS. — On peut citer comme exemple :

a) La *craie glauconieuse* dont la gangue enserme des amas de phosphates contenant 18 à 25 pour 100 d'acide phosphorique.

<sup>1</sup> *Étude sur les gisements français du phosphate de chaux.*

En réalité, ce sont encore des nodules, mais empâtés dans un ciment calcaire.

b) La *craie turonienne*, qui renferme un calcaire blanc compact de 0<sup>m</sup>,60 d'épaisseur contenant 10 pour 100 d'acide phosphorique et un lit de gros nodules cimentés par un calcaire verdâtre.

c) La *craie blanche sénonienne* qui renferme aussi un calcaire imprégné de phosphate et des poches remplies de sables phosphatés.

II. LES SABLES VERTS ALBIENS de la Meuse et des Ardennes, dont nous avons donné ci-dessus la composition, et les phosphates du Boulonnais dont quelques-uns sont de l'étage cénomaniens.

4. **Phosphates organiques.** — Nous faisons rentrer dans cette catégorie : 1° les guanos phosphatés ; 2° les phosphates d'os.

A. **GUANOS PHOSPHATÉS.** — Les guanos sont formés de déjections et de cadavres d'oiseaux et de chauves-souris. Ils sont riches en *acide phosphorique*, mais sont aussi recherchés quelquefois pour l'*azote* qu'ils renferment.

Quand le guano a été longtemps exposé aux intempéries, les produits les moins solubles restent seuls et particulièrement le phosphate de chaux.

Les gisements sont surtout nombreux en Amérique (Pérou, îles Chinchas, Bolivie, Mexique, Antilles), mais on en trouve aussi sur les côtes d'Australie et en Afrique.

Fourcroy et Vauquelin<sup>1</sup> signalent dans le guano :

1° De l'acide urique, surtout à l'état d'urate de chaux et d'urate d'ammoniaque ;

<sup>1</sup> FOURCROY ET VAUQUELIN, *Ann. de chimie*, t. LVI :

- 2° Des oxalates de potasse et d'ammoniaque ;  
 3° Des phosphates de potasse, de chaux et d'ammoniaque ;  
 4° Des sels divers (sulfate de potasse, chlorure de potassium, chlorhydrate d'ammoniaque) ;  
 5° Des matières grasses ;  
 6° Du sable quartzeux et ferrugineux.

Chevreur a publié, en 1874, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* les analyses suivantes :

	Iles Chinchas	Bolivie
Matières organiques .....	52,52	23
Phosphate de chaux.....	19,52	41,78
Acide phosphorique .....	3,12	3,17
Sels alcalins .....	7,56	11,71
Silice.....	4,66	7,34
Eau .....	45,62	13
	<hr/>	<hr/>
Total.....	100	100
	<hr/>	<hr/>
Phosphate de chaux soluble.....	6,76	7,20
Phosphate de chaux insoluble .....	19,52	41,78
	<hr/>	<hr/>
Phosphate total.....	26,28	48,98
	<hr/>	<hr/>
Azote dosé .....	15,29	3,38
Ammoniaque correspondant.....	48,56	4,10

Ces deux types de guanos représentent deux variétés bien distinctes :

1° Les *guanos ammoniacaux*, riches en azote et pauvres en phosphates (Iles Chinchas) ;

2° Les *guanos terreux*, pauvres en azote, mais riches en phosphates (Bolivie).

L'industrie manipule souvent le guano naturel pour en faire une poudre rougeâtre très homogène, à faible odeur, où le phosphate insoluble est transformé en phosphate soluble. Ce *guano dissous* est préparé en traitant simplement le guano naturel par l'acide sulfurique.

Certaines îles de l'Archipel Indien et des Antilles et quelques cavernes du Texas fournissent des excréments de chauves-souris qui sont vendus comme guano. Le produit est moins riche que le guano d'oiseaux de mer.

On fabrique aussi en Norvège un guano de poissons qui renferme 5 à 12 pour 100 d'azote et 15 à 18 pour 100 d'acide phosphorique. Son usage est très répandu en Belgique et en Saxe où on l'applique sur la Betterave, les céréales d'hiver, le Tabac, la Pomme de terre et les prairies.

**B. PHOSPHATES D'OS.** — Les os sont surtout utilisés comme engrais phosphatés, mais fournissent aussi un bon appoint d'azote.

Les os non dépouillés de leur gélatine sont appelés *os verts* pour les distinguer des *os bouillis*.

Vœlcker donne la composition de ces deux sortes commerciales.

	Os verts	Os bouillis
Eau .....	12,31	7,70
Matière organique azotée.....	30,73	25,27
Dont en azote.....	3,73	2,78
Phosphate de chaux et de magnésie .....	49,72	43,73
Chaux du phosphate restée en dissolution.	7,78	»
Carbonate de chaux .....	4,25	9,77
Sels alcalins.....	2,78	
Sable siliceux .....	0,21	13,53

Les *os dégelatinés* et broyés donnent des poudres d'os utilisées aussi comme engrais ou pour la fabrication des superphosphates.

Les *cendres d'os* calcinés à l'air libre constituent encore des engrais phosphatés très riches (70 pour 100 de phosphate tribasique).

Enfin, il en est de même du *noir animal* qui résulte de la calcination des os en vases clos et broyés. On l'utilise

dans l'industrie de la raffinerie et on l'emploie ensuite comme engrais. Il contient quelquefois jusque 73 pour 100 de phosphate de chaux.

5. **Phosphates industriels.** — L'industrie a surtout en vue dans le travail de ces produits de donner à l'agriculture des phosphates solubles.

A. **SUPERPHOSPHATES.** — C'est à Liebig qu'on doit l'idée de traiter les phosphates tricalciques par l'acide sulfurique pour les ramener à l'état de phosphate acide soluble.

Il y a formation de sulfate de chaux et de phosphate acide, mise en liberté des deux tiers de l'acide phosphorique et attaque du phosphate tricalcique resté intact par l'acide libre formé. Il reste, en outre, du phosphate non attaqué.

Il va sans dire que les superphosphates sont d'autant plus variables de composition que les phosphates naturels employés sont très différents.

Voici, d'après Vœlcker, quelques analyses variées :

Composition	Superphosphates provenant de :		
	Minéral	Coprolithes	Poudre d'os
Eau.....	19,26	8,96	24,33
Matière organique.....	16,12	9,53	5,04
Biphosphate soluble.....	6,38	17,80	17
Phosphates insolubles.....	22,16	7,80	9,89
Sels alcalins.....	5,16		2,81
Sulfate de chaux.....	25,10	55,91	39,25
Matières siliceuses.....	5,82		1,68

Nous n'avons pas à entrer ici dans le détail de la fabrication des superphosphates <sup>1</sup> ; mais notons cependant qu'après la préparation les substances étrangères du

<sup>1</sup> Voyez A. LARBALETRIER, *Les Engrais*, Paris, 1891.

phosphate naturel primitif peuvent réagir sur le phosphate soluble formé et en ramener une partie à l'état insoluble. Ce phénomène de l'insolubilisation porte le nom de *rétrogradation* ; il a été étudié en détail par M. Millot<sup>1</sup>. Les travaux les plus récents portent, du reste, à croire que la rétrogradation n'est pas de grande importance au point de vue de l'assimilation du phosphate par les plantes. La valeur vénale d'un phosphate ne doit donc pas être calculée sur le taux de rétrogradation.

En Angleterre on arrive à produire des superphosphates très riches (40 pour 100 d'acide phosphorique soluble)<sup>2</sup> en substituant à l'acide sulfurique de l'acide phosphorique obtenu à l'aide de phosphates naturels pauvres.

**B. PHOSPHO-GUANO.** — On le prépare à l'aide des guanos terreux (60 à 65 pour 100 de phosphate). L'acide sulfurique solubilise le phosphate de chaux.

Il peut renfermer 16 à 18 pour 100 d'acide phosphorique soluble.

**C. PHOSPHATES PRÉCIPITÉS.** — On les prépare en traitant les phosphates naturels, généralement pauvres, par l'acide chlorhydrique. Ils contiennent environ 40 pour 100 d'acide phosphorique bicalcique et un peu d'acide tricalcique. On peut en fabriquer aussi en traitant les scories de déphosphoration.

**6. Emploi des engrais phosphatés.** — Il faut se demander, avant d'opter pour un engrais phosphaté spécial, si sa décomposition doit se faire rapidement ou lentement. S'il s'agit, par exemple, d'enrichir peu à peu en acide phosphorique une terre pauvre on peut employer les phosphates naturels ou les phosphates précipités qui

<sup>1</sup> MILLOT, *Bull. Soc. chim.*, t. XVIII.

<sup>2</sup> FAVIER, *Revue scientifique*, 1887.

se décomposent avec lenteur. On les emploie à la dose de 300 à 600 kilogrammes à l'hectare, qu'on incorpore au sol par un léger labour ou mélangés au fumier.

Quand on veut, au contraire, agir sur une plante par l'acide phosphorique soluble, on applique les superphosphates ou, à défaut, les phosphates précipités qui, parfois, produisent des effets peu différents (Ladureau<sup>1</sup>). M. Grandeau est arrivé expérimentalement à cette conclusion que le phosphate bibasique donne des résultats égaux au phosphate monobasique; il s'ensuit que la rétrogradation est peu importante au point de vue de la valeur de l'engrais.

En résumé, tous les phosphates peuvent être employés en agriculture pour apporter aux plantes l'acide phosphorique, et tous peuvent être assimilés. Mais leur faculté d'être utilisés par les plantes varie beaucoup suivant la forme suivant laquelle se présente l'acide phosphorique.

Tandis que l'on n'admettait comme assimilables, en Angleterre, que les phosphates seuls solubles dans l'eau, on se servit en France du citrate d'ammoniaque pour diviser les phosphates en deux catégories; le point de vue était faux dans un cas comme dans l'autre.

On sait, en effet, que l'acide phosphorique, donné au sol sous quelque forme que ce soit, passe à l'état insoluble et subit des réactions complexes qui le ramènent à un certain état de combinaison organique et minérale. Nous avons établi que les racines des plantes peuvent dissoudre les principes insolubles, et en tirer parti, grâce à l'acidité de leurs excréctions radicellaires; ce

<sup>1</sup> LADUREAU, *sur l'équivalence agricole des divers phosphates*.



qui importe donc, c'est la dispersion et la diffusion de l'engrais dans le sol : toutes les expériences de chimie agricole expérimentale établissent ces conclusions.

L'action immédiate des phosphates naturels est donc limitée par la proportion d'éléments fins qu'ils renferment ; les gros éléments attendent l'action destructive du milieu pour être utilisables. Les phosphates industriels, au contraire, se trouvent à un degré de finesse extrême et leur surface d'action dans le sol et au contact des racines est très considérable.

Ainsi les procédés donnant mécaniquement le degré de division seraient plus utiles peut-être que l'analyse chimique. Il en résulte que les phosphates naturels pulvérisés finement, peuvent reprendre une partie de la suprématie que les superphosphates leur avaient enlevée.

Les cultures expérimentales ont mis en lumière quelques autres faits relatifs à l'adaptation des différents engrais phosphatés aux différents sols.

On peut formuler les lois suivantes :

1° Les terres acides ou au moins riches en matière organique, les terres fortes (argileuses ou argilo-calcaires) peuvent utiliser les phosphates naturels ;

2° Aux terres légères et perméables (siliceuses ou silico-calcaires) conviennent les superphosphates ou les phosphates précipités ;

3° Sauf dans les sols acides (défrichements, landes, tourbes, etc.) les superphosphates donnent des effets supérieurs à ceux que produisent les phosphates naturels.

## § 6. — LA POTASSE

Après l'azote et l'acide phosphorique, la potasse est l'élément fertilisant le plus important.

L'abondance de la potasse dans les cendres des végétaux laisse supposer qu'elle joue un rôle dans leur développement.

Les expériences sont très concluantes à ce sujet: certaines plantes sont très exigeantes et toutes ont besoin de potasse pour vivre (expériences de Nobbe). Or, tous les sols ne renferment pas une quantité suffisante de cet élément, les calcaires jurassiques par exemple <sup>1</sup>; il faut donc rechercher des engrais qui pourront obvier à cette imperfection.

La potasse existe en abondance dans les roches éruptives (granits, gneiss, roches granitoïdes); les eaux qui circulent dans les massifs anciens peuvent ainsi en enlever en dissolution. Une fois séparée de ses combinaisons silicatées insolubles (feldspaths), la potasse est en effet soluble dans les eaux et, par suite, peut se diffuser abondamment dans la nature. Un excès de concentration a pu, en outre, à un moment donné, produire les grands gisements (perméens ou triasiques), tels que ceux de Stassfurt.

Comme la potasse absorbée par les végétaux se retrouve dans leurs cendres, on dispose encore là d'un autre mode d'extraction en vue de l'utilisation agricole.

Parmi les plantes qui exportent le plus de potasse se trouvent les herbes des prairies et les racines qui

<sup>1</sup> D'après les analyses de M. SCHLOESING, on constate souvent dans les terres arables 4 pour 100 de potasse. M. PERREY a montré que l'argile en renferme toujours de 2 à 7 pour 100.

Dans les sols calcaires (causses de l'Aveyron, craies de la Champagne), MM. RISLER et COLOMB-PRADEL ont trouvé de 0,029 à 0,067 pour 100 seulement de potasse.

Quelquefois cependant des causes multiples peuvent avoir amené de la potasse dans des sols calcaires; l'analyse du sol s'impose si l'on veut être renseigné à ce sujet.

reviennent par le fumier au sol. Nous avons vu qu'il n'en est pas de même pour l'acide phosphorique qui est exporté par les graines et les animaux. La consommation des sels potassiques comme engrais est donc loin d'égaliser celle des phosphates.

La potasse se trouve dans le sol sous deux formes :

- 1° A l'état soluble (carbonate, nitrate, chlorhydrate) ;
- 2° A l'état insoluble (silicate).

Les sels de potasse solubles sont de beaucoup les plus assimilables par les végétaux ; ils rentrent dans la catégorie des engrais en partie voyageurs et en partie absorbés par le sol et insolubilisés <sup>1</sup>. Si la potasse est rare dans un sol, on peut admettre qu'elle est fixée et absorbée entièrement par les particules terreuses. Si au contraire le sol est assez riche en potasse, une partie y existe à l'état libre. Il en résulte que plus une terre arable contient d'éléments absorbants (argiles ou humus), mieux elle retient la potasse. Si ceux-ci font défaut, les eaux pluviales ne laissent que peu de potasse (sables et craïés).

Les engrais à base de potasse peuvent être divisés en deux groupes :

- 1° Les engrais potassiques provenant des végétaux ou des animaux ;
- 2° Les engrais potassiques minéraux.

**1. Produits végétaux.** — Le végétal renfermant tou-

<sup>1</sup> SCHLOESING, *Cours du Conservatoire des Arts et Métiers*.

M. Schloësing divise les engrais en trois catégories :

1° Les engrais voyageurs, qui circulent facilement et sont entraînés rapidement par les eaux d'infiltration. Ex. : le nitrate de soude ;

2° Les engrais qui deviennent insolubles dans le sol au bout d'un certain temps et, par suite, y sont fixés. Ex. : les phosphates.

3° Les engrais en partie voyageurs et en partie insolubilisés. Ex. : la potasse.

jours une certaine quantité de potasse, on peut retrouver la potasse enlevée au sol en utilisant les déchets des industries qui traitent les matières végétales.

Le bois utilisé comme combustible renferme ordinairement de 10 à 25 pour 100 de potasse sous forme de carbonate dans ses cendres.

Les *mélasses* de Betteraves renferment du carbonate de potasse résultant de la calcination des nitrates qui sont abondants dans la Betterave.

Les salins plus ou moins calcinés renferment environ 35 pour 100 de carbonate et sont directement utilisables comme engrais.

Les *eaux d'osmose* de l'industrie sucrière peuvent aussi être concentrées et donnent un résidu de nitrate de potasse, chlorure de potassium et sulfate de potasse.

Les *vinasses* résultant de la fabrication des eaux-de-vie contiennent 1 pour 100 de bitartrate de potasse ; évaporées, elles donnent un salin riche en carbonate de potasse (potasse granulée).

Les lies, marcs et sarments sont aussi employés pour leur potasse.

**2. Produits animaux.** — L'alcali potassique ne se concentre ordinairement pas dans le règne animal comme dans le règne végétal. La seule exception est peut-être la laine des moutons qui en est assez riche pour être exploitable.

La substance grasse, sécrétée par la peau et déposée sur la toison, porte le nom de suint ; au point de vue chimique, c'est un savon potassique qui, calciné, donne du carbonate de potasse presque pur.

La partie soluble du suint s'appelle *suintate brut* ; celui-ci évaporé donne 12 à 20 pour 100 de suintate sec,

dont la moitié du poids constitue un salin ayant la composition moyenne suivante :

Carbonate de potasse .....	86,8
Chlorure de potassium.....	6,2
Sulfate de potasse.....	2,8
Silice, chaux, magnésie.....	4,2
Total.....	100

Les laines françaises pourraient ainsi donner annuellement 3 millions de kilogrammes de carbonate de potasse, qui sont perdus en partie par les eaux de lavages.

**3. Gisements minéraux. — A. Sels de Stassfurt. —**

Les gisements potassiques minéraux les plus importants sont ceux de Stassfurt près de Magdebourg. Au-dessus d'une couche de sel gemme de 300 mètres d'épaisseur, on exploite 60 à 70 mètres de dépôts où se trouvent en abondance les sels de potasse. Tous ces sédiments ont sans nul doute une origine marine, car ils renferment les éléments essentiels de l'eau de mer.

Les différents minerais exploités sont :

1° <i>La carnallite.</i>	}	Chlorure de potassium.....	15	pour 100
		— de magnésium .....	20	—
		— de sodium .....	25	—
		Sulfate de magnésie .....	16	—
2° <i>La polyhalite.</i>	}	Eau .....	24	—
		Sulfate de potasse .....	27	—
		— de magnésie .....	20	—
		— de chaux.....	43	—
3° <i>La kainite ...</i>	}	Eau .....	7	—
		Sulfate de potasse.....	24	—
		— de magnésic .....	16,5	—
		Chlorure de magnésium.....	13	—
4° <i>La krügite ...</i>	}	— de sodium .....	31	—
		Sulfate de chaux.....	1,5	—
		Eau .....	14	—
		Sulfate de potasse.....	18	—
	}	— de magnésie.....	13,5	—
		— de chaux.....	63,5	—

Comme on le voit par ces chiffres, la potasse dans les sels bruts de Stassfurt est mélangée avec beaucoup d'autres substances. Des usines isolent la potasse en vue de son emploi agricole.

Le tableau suivant donne la composition des différents engrais qui résultent de l'exploitation de ces gisements.

ENGRAIS DE STASSFURT (GRANDEAU<sup>1</sup>)

Désignation des engrais	Potasse garantie pour 100	Sulfate de potasse pour 100	Chlorure de potassium pour 100	Sulfate de magnésie pour 100	Sel marin pour 100
Sulfate brut de potasse.....	9 à 12	8 à 12	6 à 11	15 à 20	35 à 55
Sulfate de magnésie et de potasse.....	15 à 18	28 à 33	»	21 à 25	25 à 40
Kaïnite brute.....	12 à 13	22 à 24	»	16 à 18	30 à 40
Krüngite.....	10 à 12	18 à 21	»	10 à 12	40 à 42
Engrais potassique concentré.	25	22	22	10 à 20	20 à 35
Engrais potassique 3 fois concentré.....	30 à 33	»	50 à 55	5 à 10	25 à 40
Engrais potassique 5 fois concentré.....	50 à 53	»	80 à 85	»	10 à 20
Sulfate de potasse n° 1.....	50 à 52	90 à 95	»	»	1 à 4
— — n° 2.....	38	70	»	5 à 10	2 à 8
— de potasse et de magnésie purifiée.....	26 à 28	50 à 52	»	32 à 36	2 à 6
Sulfate de magnésie brut....	0,3	0 à 5	»	60	»
— de magnésie purifié et calciné.	»	»	»	80	»
Déchets des sels de Stassfurt.	3 à 5	6 à 9	»	45 à 53	35 à 40

Au point de vue de leur action, les engrais potassiques doivent être examinés comme composés d'engrais simples, qui parfois sont employés isolés et qui sont :

- 1° Le chlorure de potassium ;
- 2° Le sulfate de potasse ;
- 3° Le nitrate de potasse ;
- 4° Le carbonate de potasse.

<sup>1</sup> GRANDEAU, *Études agronomiques*, 1885.

*B. Chlorure de potassium.* — C'est l'engrais potassique le plus communément employé. Dans le sol il subit une modification dans laquelle le potassium se transforme en potasse.

On l'obtient soit à l'état naturel dans les mines de Stassfurt, soit comme résidu industriel dans les usines où l'on purifie le nitre, dans les raffineries de mélasse et par le traitement des eaux mères des marais salants.

Sa composition à l'état pur est de 52,41 pour 100 de potassium, donnant 63,14 de potasse et 47,59 pour 100 de chlore.

Les impuretés peuvent atteindre de 5 à 25 pour 100.

Le chlorure de potassium s'emploie à la dose de 150 à 200 kilogrammes à l'hectare, au printemps. Il réussit bien sur les sols calcaires et influence particulièrement le rendement des Pommes de terre et des Betteraves.

*C. SULFATE DE POTASSE.* — Il provient des résidus salins de la fabrication de l'iode à l'aide des varechs, ou du traitement du chlorure de potassium naturel par l'acide sulfurique.

Il titre dans le commerce environ 80 pour 100 de sulfate pur, soit 43,26 de potasse.

Son action paraît à dose égale supérieure à celle du chlorure de potassium. On le répand à l'hiver et on l'enterre par un labour ; le houblon, le tabac, la vigne et la pomme de terre en profitent beaucoup.

Pour ce sel comme pour le précédent, on doit ajouter en même temps au sol un engrais phosphaté.

*D. CARBONATE DE POTASSE.* — Il est peu employé dans la grande culture.

*E. NITRATE DE POTASSE.* — Il a été signalé plus haut comme engrais azoté. (Voir page 374.).

## § 7. — RÉPARTITION DES ENGRAIS DANS LE SOL

M. Schlœsing a étudié l'influence de la répartition des engrais dans le sol sur leur utilisation<sup>1</sup>

« On sait, dit-il, que certains principes fertilisants, notamment la potasse et l'acide phosphorique, ne demeurent pas intégralement dissous dans le sol, lors même qu'ils sont engagés, au moment de leur emploi, dans des combinaisons très solubles, comme les sels de potasse et de superphosphates.

Une partie de ces principes, souvent même leur totalité, après avoir été tout d'abord dissoute, est ensuite fixée sur les éléments du sol par le *pouvoir absorbant*.

La proportion de l'engrais ainsi immobilisée est extrêmement variable, non seulement d'un sol à l'autre, mais aussi dans un même sol. En effet, à l'état de dissolution il est porté en tous sens au-devant des racines, et son absorption peut être de même ordre que celle de l'eau. Si, au contraire, il est immobilisé et privé de la faculté de voyager, son absorption est subordonnée à sa rencontre avec les racines.

Or celles-ci n'explorent qu'une faible partie du cube de terre où elles se développent, et laissent échapper tout principe insoluble qui n'entre pas en contact direct avec leurs organes d'absorption.

Il résulte de là que l'utilisation d'un engrais potassé ou phosphaté est d'autant moindre que la portion devenue insoluble et immobilisée l'emporte davantage sur celle qui demeure en dissolution.

<sup>1</sup> SCHLÖESING, *Comptes rendus Acad. sc.*, 1892, p. 698.



Quand l'engrais demeure toujours soluble et partout diffusible comme le nitrate de soude, on n'a guère à se préoccuper de sa distribution dans le sol ; mais, s'il peut être immobilisé par le pouvoir absorbant ou par des réactions chimiques qui l'engagent dans des combinaisons insolubles, son mode de répartition influe certainement sur l'alimentation et le développement des plantes. Il y a là une question théorique qui intéresse la pratique agricole, puisque la répartition de l'engrais dépend de son mode d'épandage, des labours et façons dont l'effet est de l'enterrer et de le disperser dans le sol, toutes conditions dont dispose l'agriculteur. »

M. Schlœsing, pour étudier cette question, a fait des cultures comparatives sur un même sol pauvre composé de 84 pour 100 de sable de Joinville-le-Pont et de 16 pour 100 d'un sous-sol argileux.

Le sol a été disposé dans deux cases de végétation et on a préparé un engrais correspondant à l'hectare à :

400	kilogrammes	de sulfate de potasse.
600	—	de nitrate de soude.
600	—	de superphosphate d'os.
240	—	de sulfate de magnésie.

Dans l'une des cases (case n° 1) on a mélangé intimement l'engrais au sol artificiel. Dans l'autre, au contraire (case n° 2), on a répandu la même dose d'engrais dans des sillons de 12 centimètres de profondeur et équidistants de 15 centimètres.

Les plantes suivantes ont été mises en expérience : Blé, Pomme de terre, Betterave, Haricot, Pois.

Voici les récoltes comparées dans les deux cas :

	Case n° 1 Engrais mélangé uniformément		Case n° 2 Engrais semé en ligne	
	grammes		grammes	
Blé de Noë.....	{ grains .....	90,2	{ grains .....	99,1
	{ balle .....	29,2	{ balle .....	309
	{ paille.....	143,9	{ paille.....	149,9
Total.....	263,3		279,9	
Haricots nains....	{ graines .....	121,3	{ graines .....	144,5
	{ cosses .....	35,05	{ cosses .....	43,9
	{ fanes .....	61,05	{ fanes .....	92,65
Total.....	217,40		281,05	
Pois .....	{ graines .....	65,8	{ graines .....	68,3
	{ cosses et fanes	54,4	{ cosses et fanes	59,2
Total.....	120,2		127,5	
Pommes de terre. ( <i>Richter imperator</i> )	{ tubercules ...	226,4	{ tubercules ...	261,0
	{ fanes .....	54,4	{ fanes .....	92,9
Total.....	280,8		353,9	

On voit par ces tableaux que les récoltes sont supérieures dans la case où l'engrais a été semé en ligne. Les excédents de poids représentent en faveur de la case n° 2 les 6,3, 29,3, 26 pour 100 des récoltes de la case n° 1.

L'assimilation de la potasse, de l'azote et de l'acide phosphorique a été, du reste, beaucoup plus considérable dans la case n° 2, ainsi que l'indiquent les chiffres suivants :

	Case n° 1	Case n° 2
Poids total des récoltes.	881 grammes 7	1.037 grammes 4
Potasse.....	23.31, soit 2,64 0/0	29.30, soit 2,82 0/0
Azote.....	16.67, — 1,89 —	20.41, — 1,97 —
Acide phosphorique ...	5.44, — 0,62 —	6.70, — 0,65 —

M. Schlœsing conclut, qué dans les conditions de ses expériences, l'engrais semé en ligne a été mieux utilisé que l'engrais intimement mélangé au sol.

« Pour l'acide phosphorique, il a été insolubilisé sans doute par l'oxyde de fer et confiné dans un espace peu étendu autour de chaque ligne. Les rapports entre l'acide et les racines ont donc différé dans les deux cases : dans la première toutes les racines ont rencontré l'acide phosphorique, mais en ont pris chacune une petite part; dans la seconde, un certain nombre d'entre elles seulement ont trouvé les gisements de phosphate, mais y ont prélevé de grosses parts. Il semble que les petites rations mises partout à la disposition des racines ne valent pas les fortes rations offertes à quelques-unes d'entre elles. Dans ce dernier cas, la multiplication plus grande des racines dans les régions d'un sol où les engrais abondent doit concourir à la meilleure utilisation des aliments.

L'influence de la répartition des engrais sur leur utilisation est certainement variable suivant leurs doses, selon les récoltes ou la fertilité des sols. C'est aux praticiens qu'il appartient de la déterminer dans les divers cas <sup>1</sup>. »

#### § 8. — MOYENS D'AUGMENTER OU D'ENTREtenir LA FERTILITÉ DES SOLS

**Assolements. Engrais complets.** — Maintenant que nous connaissons les moyens d'apporter au sol les éléments fertilisants, nous devons signaler un autre

<sup>1</sup> M. Prunet, maître des conférences de chimie agricole à la Faculté des sciences de Toulouse, vient de vérifier par des expériences en grand les résultats obtenus par M. Schlœsing.

Voyez à ce sujet : *Recherches sur la répartition de l'engrais* (Revue générale de Botanique, juil. 1894).

moyen d'entretenir dans un sol une fertilité peu coûteuse.

Ce moyen est celui des *assolements* ou *rotation des récoltes*.

Depuis longtemps, les praticiens font succéder annuellement des cultures différentes sur un même sol. Par cette méthode, ils n'épuisent pas le sol aussi rapidement, puisque chaque culture a sa dominante qui est particulièrement utile.

L'ancien système de rotation est dit *triennal*, c'est le plus élémentaire : il consiste à cultiver deux années de suite la terre en froment et à la laisser en jachère une année. Pour que le sol soumis à ce régime conserve sa fertilité et pour que les rendements se soutiennent, la pratique a reconnu qu'il fallait lui donner tous les trois ans 20,000 kilogrammes de fumier de ferme par hectare, ce qui correspond à environ 4,140 kilogrammes de fumier sec. Si dans ce système de culture on établit la balance entre la récolte et l'engrais, on peut constater que la terre conserve avec ce système sa première fertilité. Les chiffres suivants sont dus à Boussingault :

SYSTÈME TRIENNAL

	Dans la récolte	Dans l'engrais
Acide phosphorique .....	37,8	39,4
Azote .....	87,4	82,8
Potasse .....	53,4	102,6
Chaux .....	32,9	160

La récolte des deux années qui sert de bases à ces calculs est représentée par 7,500 kilogrammes de paille et 3,310 kilogrammes de grains.

L'inconvénient du système triennal est de ne pas enrichir le sol en matière azotée et de perdre une année de culture sur trois, aussi l'*alternance des cultures* s'est-elle peu à peu substituée à l'assolement triennal.

L'introduction d'une légumineuse (trèfle, par exemple) et des plantes sarclées dans la grande culture permet de pratiquer un système de culture continu.

Si l'on suppose les cultures suivantes :

RÉCOLTES SÈCHES		
1 <sup>re</sup> année. —	Pommes de terre..	3.100 kilogr.
2 <sup>e</sup> —	Froment .....	3.400 —
3 <sup>e</sup> —	Trèfle.....	4.000 —
4 <sup>e</sup> —	Froment.....	4.300 —
5 <sup>e</sup> —	Avoine .....	2.400 —
	Total.....	17.200 kilogr.

on trouve pour la balance entre la récolte et l'engrais que la récolte enlève environ :

Acide phosphorique ..	848
Potasse et soude .....	247,7
Chaux .....	130
Azote .....	250

Mais ici les conditions sont très différentes de ce qu'elles étaient dans le premier cas. Le trèfle en effet n'appauvrit pas le sol en azote, il l'enrichit au contraire, surtout si l'on a soin d'enfouir en vert la troisième coupe. Nous avons vu plus haut que les légumineuses puisent leur azote directement dans l'atmosphère du sol par l'intermédiaire du rhizobium qui se développe dans les nodosités de leurs racines.

Intercaler une culture de Légumineuse entre deux céréales est donc un moyen excellent de fertilisation du sol qui joue le même rôle qu'un engrais azoté surajouté.

L'agronome possède ainsi deux moyens d'agir sur la fertilité de sa terre :

1<sup>o</sup> Combiner un assolement avantageux ;

2<sup>o</sup> Ajouter au sol les engrais appropriés contenant un excédent d'éléments fertilisants.

Nous donnons ci-dessous quelques exemples de cultures ainsi comprises :

ASSOLEMENT DE QUATRE ANS

*Cultures*

- 1<sup>re</sup> année. — Pomme de terre, ou Colza, ou Betterave.
- 2<sup>o</sup> — Froment.
- 3<sup>o</sup> — Trèfle ou Pois.
- 4<sup>o</sup> — Froment ou Avoine.

*Engrais*

- 1<sup>re</sup> année. — Phosphate acide de chaux. 400 kilogr.
- 2<sup>o</sup> — Potasse ..... 300 —
- 3<sup>o</sup> — Sulfate de chaux ..... 600 —
- 4<sup>o</sup> — Azote ..... 143 —

ASSOLEMENT DE CINQ ANS

*Cultures*

- 1<sup>re</sup> année. — Turneps.
- 2<sup>o</sup> — Froment.
- 3<sup>o</sup> — Trèfle, Pois ou Féveroles.
- 4<sup>o</sup> — Froment.
- 5<sup>o</sup> — Froment, Colza ou Orge.

*Engrais*

- 1<sup>re</sup> année. — Phosphate acide..... 400 kilogr.
- 2<sup>o</sup> — Sulfate d'ammoniaque... 300 —
- 3<sup>o</sup> — { Potasse ..... 300 —
- { Chaux ..... 300 —
- 4<sup>o</sup> — Sulfate d'ammoniaque .. 230 —
- 5<sup>o</sup> — { Sulfate d'ammoniaque.... 300 —
- { Phosphate de chaux. .... 200 —

Ce système de cultures et fumures alternantes suppose une terre fertile.

Pour un sol pauvre les fumures incomplètes et alternantes ne peuvent être appliquées, car ces sols ont besoin chaque année d'un engrais complet. Avec des engrais incomplets, les plantes ne trouveraient pas dans le sol les éléments complémentaires qui peuvent seuls assurer un rendement rémunérateur. On donne alors au sol un fonds de réserve en éléments minéraux.

En voici l'exemple pour un assolement de cinq ans :

ASSOLEMENT DE CINQ ANS

*Cultures*

1 <sup>re</sup> année.	—	Pommes de terre.
2 <sup>e</sup>	—	Froment.
3 <sup>e</sup>	—	Trèfle.
4 <sup>e</sup>	—	Froment.
5 <sup>e</sup>	—	Avoine.

*Engrais*

1 <sup>re</sup> année.	{	Phosphate acide de chaux.	400 kilogr.
		Potasse épurée .....	300 —
		Chaux éteinte .....	300 —
		Nitrate de soude .....	400 —
—	{	Sulfate d'ammoniaque ...	230 —
—	{	Phosphate de chaux .....	200 —
—	{	Potasse .....	200 —
—	{	Chaux .....	300 —
—	{	Sulfate d'ammoniaque ...	230 —
5 <sup>e</sup>	{	Nitrate de soude .....	300 —
		Potasse .....	100 —

ASSOLEMENT DE SIX ANS

*Cultures*

*Engrais* <sup>1</sup>

1 <sup>re</sup> année.	—	Lin .....	Engrais incomplet n° 2.
2 <sup>e</sup>	—	Betteraves .....	Engrais complet n° 2.
3 <sup>e</sup>	—	Blé .....	Sulfate d'ammoniaque.
4 <sup>e</sup>	—	Colza .....	Engrais complet n° 6.
5 <sup>e</sup>	—	Blé .....	Sulfate d'ammoniaque.
6 <sup>e</sup>	—	Avoine, Seigle, Orge.	Sulfate d'ammoniaque.

Pour compléter les notions élémentaires que nous avons exposées relativement à la théorie de la fertilisation du sol, nous donnons ci-après un tableau des principaux engrais établis par M. Ville et qui peuvent servir de types pour l'usage raisonné des engrais chimiques.

<sup>1</sup> L'assolement de six ans, sans légumineuse, exige des engrais abondants.

Les numéros de ce tableau renvoient aux engrais types de M. Georges VILLE, qui sont indiqués dans les trois pages suivantes.

TABLEAU DES PRINCIPAUX ENGRAIS DE M. GEORGES VILLE

Titres en agents de fertilité		Engrais		Pour 100 de l'engrais	Dose à l'hectare
<i>Engrais complet n° 1 pour Colza, Chanvre, Froment, Avoine, Seigle, Prairie</i>					
Azote	Acide phosph.	Potasse	Chaux		
6,5	5	8	17	33,34	400 kilogr.
				16,66	200 —
				20,83	250 —
				29,17	350 —
			Totaux.....	100	1.200 kilogr.
<i>Engrais homologues n° 1. Même destination aux mêmes doses</i>					
6,6	5	8,33	13	33,34	400 kilogr.
				16,66	200 —
				32,50	390 —
				47,50	210 —
			Totaux.....	400	1.200 kilogr.
<i>Engrais complet n° 2 pour Choux, Betteraves, Carottes, Jardinage</i>					
6,5	5	8	15	33,34	400 kilogr.
				16,66	200 —
				25	300 —
				25	300 —
			Totaux.....	100	1.200 kilogr.



Titres en agents de fertilité		Engrais		Pour 100 de l'engrais	Dose à l'hectare
<i>Engrais homologues n° 2. Même destination aux mêmes doses</i>					
Azote	Acide phosph.	Potasse	Chaux		
6,5	5	8,33	14	33,34 46,66 11,66 26 13,34	* 400 kilogr. 200 — 140 — 300 — 460 —
				Totaux.....	1.200 kilogr.
				100	
<i>Engrais complet n° 3 pour Pommes de terre, Tabac, Lin, Vigne</i>					
4,6	6	14	19	40 30 30	400 kilogr. 300 — 300 —
				Totaux.....	1.000 kilogr.
				100	
<i>Engrais complet n° 4 pour Vigne, Tabac, Arbres fruitiers, Plantes d'ornement</i>					
4,60	6	15,50	17	40 33,34 20,64	600 kilogr. 500 — 400 —
				Totaux.....	1.500 kilogr.
				100	

Titres en agents de fertilité		E engrais		Pour 100 de l'engrais	Dose à l'hectare
<i>Engrais complet n° 5 pour Maïs, Topinambours, Sorghos, Navets, Canne à sucre</i>					
Azote	Acide phosph.	Potasse	Chaux	Superphosphate de chaux	600 kilogr.
2,50	7,5	8	22	Nitrate de potasse	200 —
				Sulfate de chaux	400 —
				Totaux	1.200 kilogr.
<i>Engrais incomplet n° 1 (sans potasse) pour Colza, Céréales, Prairie</i>					
7	6	»	17	Superphosphate de chaux	400 kilogr.
				Sulfate d'ammoniaque	350 —
				Sulfate de chaux	250 —
				Totaux	1.000 kilogr.
<i>Engrais incomplet n° 6 (sans azote)</i>					
»	6	6	22	Superphosphate de chaux	400 kilogr.
				Chlorure de potassium	200 —
				Sulfate de chaux	400 —
				Totaux	1.000 kilogr.

Il ne faut pas oublier que l'usage du fumier reste toujours nécessaire dans certains sols dont les propriétés physiques sont défectueuses et qui manquent de matière organique. Pour les autres sols, le fumier de ferme reste un engrais complet dont on peut calculer l'équivalence en tenant compte de sa composition.

## QUATRIÈME PARTIE

# LA CHIMIE DES PRODUITS AGRICOLES

---

Dans notre étude chimique de la plante nous avons dû énumérer successivement les différents principes immédiats qu'elle fournit.

En réalité, l'agriculture cherche surtout à produire certaines matières premières qui ne sont généralement pas des principes immédiats purs, mais au contraire des substances qui sont des produits composés de plusieurs de ces principes immédiats.

Il est donc intéressant de passer en revue quelques-unes de ces substances, afin d'appliquer nos connaissances générales sur le chimisme de la plante au cas plus pratique des produits agricoles de nos grandes cultures.

Nos exemples seront empruntés aux cultures variées que nous rangerons sous les titres suivants :

1° Tubercules et racines.....	Racines.
2° Fourrages.....	} Tiges.
3° Textiles.....	
4° Bois .....	
5° Céréales .....	} Graines.
6° Plantes légumineuses.....	
7° Fruits .....	} Fruits.
8° Plantes oléagineuses .....	

### § 1. — TUBERCULES ET RACINES

Les parties souterraines sont, chez quelques plantes, les organes où s'emmagasinent les réserves.

Les substances fabriquées par la plante pendant tout

son développement foliaire émigrent ordinairement vers le fruit et la graine, mais, comme certaines plantes ont une racine vivace et une tige caduque, la partie souterraine attire à elle une partie des réserves (rhizomes, bulbes). D'autres fois, la fleur avorte et ne donne pas de fruits sous nos climats (*Helianthus tuberosus*, par exemple); les réserves viennent alors gonfler des organes souterrains appelés *tubercules* (Topinambours, Pommes de terre). Enfin, quelques plantes ont une partie souterraine beaucoup plus développée en poids que la tige; pendant toute la vie de la plante, la racine est le réceptacle des principes organiques qui y séjournent et s'y accumulent jusqu'au moment de la fructification, qui appellera dans les fruits la majeure partie des réserves (Betteraves, Carottes, Navets, Radis).

Au point de vue agricole, la récolte doit se faire pour ces dernières plantes avant le moment de la floraison. Pour les premières, au contraire, on peut laisser la partie aérienne accomplir son cycle complet d'évolution.

Ajoutons que, par la sélection artificielle, on est arrivé à exagérer cette tendance à la formation des réserves, qui doit être considéré, comme un fait de biologie générale, dont le but est la continuation de l'espèce. En réalité, on peut le classer aussi parmi les phénomènes de vie individuelle, car il y a une limite à la reproduction par tubercule ou rhizome; la dégénérescence pour être lente n'en est pas moins réelle, et il arrive un moment où la reproduction par graine s'impose, si l'on veut conserver aux rendements leur qualité et leur quantité.

Nous examinerons au point de vue chimique :

- 1° Les organes amylières : Ex. : la Pomme de terre ;
- 2° Les organes saccharifères : Ex. ; la Betterave,

1. **Tubercules de pommes de terre** (*Solanum tuberosum*). — Vauquelin y a rencontré les principes suivants : de l'eau, de la fécule, de la cellulose, de l'asparagine, une résine amère et aromatique, des citrates, des phosphates de potasse et de chaux, de l'acide citrique libre, et souvent des matières colorantes, des matières minérales.

Boussingault y a trouvé 0,36 d'azote. La proportion de fécule varie suivant la grosseur des tubercules. Les plus gros sont ordinairement plus riches. Dans une expérience comparative, Rott a trouvé :

10 gros tubercules.....	49 pour 100 de fécule.
10 petits tubercules ....	17,2 —

La teneur en fécule peut, du reste, varier, suivant les variétés cultivées, de 15 à 26 pour 100.

Voici, d'après M. Aimé Girard, l'analyse chimique d'un tubercule moyen :

Composition	
Fécule .....	46,38
Cellulose .....	4,66
Ligneux.....	0,19
Matières minérales .....	0,06
Eau.....	81,71
Total .....	<u>100</u>
Cendres	
Potasse .....	55,7
Soude.....	1,8
Chaux .....	2
Magnésie.....	5,2
Oxyde de fer :.....	0,5
Acide phosphorique.....	12,5
— sulfurique.....	13,6
Silice .....	4,2
Chlore .....	44,2
Total .....	<u>100</u>

Le développement des organes aériens joue un rôle important dans le rendement en poids des tubercules, puisque ce sont les feuilles qui constituent le laboratoire de synthèse des principes immédiats <sup>1</sup>

Le tableau suivant démontre cette relation :

Tubercules frais		Tiges vertes	
Nombre	Poids total	Nombre	Poids total
8	845 grammes	7	605 grammes
12	550 —	7	505 —
7	520 —	7	470 —
10	450 —	4	405 —
7	180 —	2	240 —

2. Racines féculifères. — Parmi les plus importantes citons :

1° La *Patate* ou *Batate*, racine tubéreuse du *Convolvulus batatas*, dont la composition chimique est la suivante :

	Batate rouge	Batate igname
Amidon .....	17	13,20
Sucre .....	3,20	2,60
Cellulose .....	8,55	7,60
Matières azotées .....	1,25	1,10
— grasses .....	0,50	0,25
— minérales.....	1,65	1,45
Eau .....	67,85	73,80
Totaux....	<u>100</u>	<u>100</u>

2° L'*Igname*, qui donne une fécule à grains plus gros. On range sous ce nom plusieurs espèces du genre *Dioscorea* (*D. alata*, *D. batatas*, etc...).

La fécule de Dioscorée est unie à un principe mucila-

<sup>1</sup> SCHLOESING, *Cours inédit de chimie agricole du Conservatoire des Arts et Métiers.*

gineux analogue au gluten. D'après Frémy, l'analyse de ces tubercules donne :

Fécule .....	46
Substances azotées .....	4,50
Matières grasses.....	4,10
Cellulose.....	1
Sels minéraux.....	4,10
Eau.....	79,30
Total.....	<u>100</u>

3° Le *Manioc*, produit par la racine du *Jatropha manihot*, les différents *Arrow-root* (Cannées, Aroïdées, Zingibéracées) ont des compositions chimiques analogues à celles que nous venons de citer.

3. **Racine saccharifère.** — *Betterave*. — La Betterave cultivée (*Beta rapa*) est une variété d'une Chenopodée (*Beta vulgaris*).

Sa composition moyenne est la suivante :

Eau.....	83,5
Sucre .....	10,5
Cellulose et pectose .....	0,8
Matières azotées.....	4,5
— organiques diverses....	2,9
Sels minéraux....	0,8
Total .....	<u>100</u>

La Canne à sucre (*Saccharum officinarum*), récoltée avant la floraison, possède une tige aérienne qui est plus riche en sucre que la Betterave; sa composition est en effet en moyenne, d'après Péligré :

Sucre cristallisable .....	20,9
— incristallisable .....	0,2
Matières organiques diverses....	0,23
— minérales .....	0,17
Eau.....	78,5
Total.....	<u>100</u>



Voici la composition centésimale de plusieurs racines ou tubercules, d'après MM. Muntz et Aimé Girard :

		Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Magnésie	Acide sulfurique
Carottes.....	Racines.....	0,21	0,11	0,32	0,09	0,05	0,06
	Feuilles.....	0,51	0,10	0,37	0,86	0,12	0,15
Panais.....	Racines.....	0,38	0,21	0,47	»	0,05	0,04
Navets ou Turneps.....	Racines.....	0,20	0,11	0,25	0,08	0,01	0,04
	Feuilles.....	0,30	0,13	0,32	0,45	0,06	0,14
Rubatagas.....	Racines.....	0,25	0,14	0,40	0,09	0,02	0,08
	Feuilles.....	0,35	0,26	0,36	0,84	0,10	0,30
Betterave fourragère.....	Racines.....	0,18	0,08	0,43	0,04	0,04	0,03
	Feuilles.....	0,30	0,08	0,43	0,17	0,14	0,11
Betterave à sucre.....	Racines.....	0,16	0,11	0,40	0,05	0,07	0,04
	Feuilles.....	0,30	0,10	0,40	0,36	0,33	0,14
Pomme de terre.....	Tubercules.....	0,32	0,18	0,56	0,02	0,04	0,06
	Fanes.....	0,50	0,10	0,30	0,50	0,27	0,06
Topinambours.....	Tubercules.....	0,32	0,14	0,85	0,05	0,02	0,03
	Fanes sèches....	0,43	0,17	0,81	0,91	0,09	0,03

Un hectare cultivé perd dans une récolte moyenne (racines et feuilles) d'après MM. Lawes et Gilbert :

	Betterave fourragère Racines : 40,000 k. Feuilles : 20,000 k.	Betterave à sucre Racines : 30,000 k. Feuilles : 12,000 k.	Turneps Racines : 25,000 k. Feuilles : 15,000 k.	Carotte Racines : 30,000 k. Feuilles : 10,000 k.	Pomme de terre Racines : 18,000 k. Feuilles : 4,200 k.	Topinambour Racines : 28,400 k. Feuilles : 4,500 k.
	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.
Azote.....	132	84	95	114	79	124
Acide phosphorique..	48	45	47	43	37	39
Potasse.....	258	168	110	133	113	241
Chaux.....	50	58	87	113	23	51
Magnésie.....	44	61	11	27	19	6

Les principes fertilisants contenus dans 1,000 kilogr. de racines, en faisant abstraction des feuilles, sont :

	Carotte	Turneps	Rutabagas	Betterave sucrière	Betterave fourragère	Pomme de terre	Topinambour
	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.
Azote.....	2,100	2,000	2,500	1,600	1,800	3,200	3,200
Acide phosphorique ..	1,400	1,400	1,400	1,100	0,800	1,800	1,400
Potasse.....	3,200	2,500	4,000	4,000	4,300	5,600	8,500
Chaux.....	0,900	0,800	0,900	0,500	0,400	0,200	0,500

La potasse est l'élément fertilisant important pour toutes ces plantes, ainsi que l'indiquent les chiffres ci-dessus.

## § 2. — FOURRAGES

Les fourrages sont employés sous deux états : *verts* ou *fanés*. Leur composition est semblable dans les deux cas, les *foins* ou *fourrages fanés* ne différant des fourrages verts que par une teneur en eau beaucoup plus faible et par la perte de quelques principes volatils.

Parmi les plantes fourragères, les unes sont comestibles par leurs tiges et leurs feuilles, les autres sont comestibles par leurs racines ou leurs tubercules. Les premières sont les plantes fourragères proprement dites, les secondes sont les plantes à racines fourragères.

Nous avons en vue ici celles du premier groupe.

On peut les diviser en trois catégories :

1. **Plantes des prairies naturelles.** — *A. Graminées* — Agrostide, Avoine, Brize, Brôme, Canche, Crételle, Dactyle, Fétuque, Fléole, Flouve, Houque, Ivraie ou Ray-Grass, Paturin, Vulpin.

*B. Légumineuses.* — Anthyllide, Gesse, Lotier, Luzerne, Mélilot, Minette, Sainfoin, Trèfle, Vesce.

*C. Ombellifères.* — Berce, Boucage, Carotte sauvage, Carvi, Cerfeuil sauvage, Fenouil, Persil.

*D. Rosacées.* — Alchemille, Benoîte, Filipendule, Pimprenelle, Spirée.

*E. Polygonées.* — Bistorte.

*F. Labiées.* — Brunelle, Bugle, Origan, Sauge, Serpolet.

*G. Borraginées.* — Bourrache, Myosotis, Consoude.

*H. Crucifères.* — Cardamine.

*I. Composées.* — Achillée millefeuille, Centaurée des montagnes, Crépide, Jacée des prés, Piloselle, Pissenlit, Reine-Marguerite, Salsifis des prés, Scorsonère.

Cette classification en famille est intéressante, même au point de vue chimique. Certaines familles, en effet, sont caractérisées chimiquement par certains principes spéciaux.

Les Légumineuses, par exemple, sont souvent odorantes.

Les Ombellifères possèdent des huiles essentielles qui peuvent être âcres et nuisibles spécialement sur certains sols humides.

Les Labiées et les Borraginées sont riches en huiles aromatiques.

• Les Crucifères possèdent une essence sulfurée spéciale.

Les Composées sont riches en latex qui tiennent différentes substances chimiques en dissolution.

Au point de vue cultural, la *nature chimique* du sol intervient dans la répartition des différentes plantes des prairies naturelles dont il faut tenir compte au moment de la création de ces prairies.

Voici des exemples types recommandables pour la création des prairies :

Proportion 1	Sol argileux	Sol argilo-calcaire	Sol sablonneux
20 p. 100	Vulpiu des prés.	Ray-grass.	»
15 —	»	»	Fétuque.
12 —	Fléole des prés, Agrostide, Ray- grass.	»	»
10 —	Houque laineuse, Paturin.	Paturin, Avoine fr. Brôme, Agros- tide.	Brôme, Paturin, Agrostide, Fro- menthal,
8 —	»	»	Ray-grass.
7 —	»	Sainfoin.	»
6 —	Fétuque.	»	»
5 —	Dactyle, Lotier.	Houque, Fétuque, Avoine j., Dac- tyle.	Dactyle, Fléole, Agrostide.
4 —	Trèfle blanc.	Fléole, Trèfle v., Anthyllide.	Canche.
3 —	»	Trèfle b., Minette, Canche.	Cretelle, Houque, Trèfle b., Pim- prenelle.
2 —	»	»	Lotier, Flouve Millefeuille.
	24 kil. à l'hect.	45 kil. à l'hect.	40 kil. à l'hect.

La composition chimique de l'herbe de prairie ainsi composée est à peu près la suivante :

Herbes de prairie	Eau	Cendres	Matières grasses	Matières azotées	Matières extractives	Cellulose
En fourrage vert.	80	2	0,8	3,5	9,2	4,5
En fourrage fané.	20	6,3	2,3	7,0	42,8	37,3

**2. Plantes des prairies artificielles.** — Ce sont des plantes fourragères vivaces bisannuelles ou même annuelles, dont on utilise la tige, les feuilles et les fleurs.

<sup>1</sup> Les proportions indiquées sont relatives à chaque plante citée. Exemple : il faut en sol argileux prendre 5 pour 100 de Dactyle et 5 pour 100 de Lotier, 10 pour 100 de Houque et 10 pour 100 de Paturin ; etc.

Ce sont surtout :

A. *Des Légumineuses.* — Luzerne (*Medicago sativa*), Trèfle (*Trifolium pratense*), Sainfoin (*Onobrychis sativa*), etc...

B. *Des Graminées.* — Ray-Grass, Brôme, Fromenthal.

Voici la composition chimique moyenne du fourrage de quelques-unes de ces légumineuses.

Légumineuses		Eau	Matières minérales	Matières grasses	Matières azotées	Matières extractives	Cellulose
Fourrage vert	Trèfle rouge....	83	4,5	0,7	3,3	7	4,5
	Trèfle incarnat....	81	4,6	0,7	2,7	7,1	6,3
	Luzerne.....	74	2,0	0,8	4,5	9,3	9,5
Fourrage fané	Trèfle rouge....	42	5,4	2,2	42,4	41,5	54,6
	Trèfle incarnat....	42	6,3	2,5	43,0	28,9	59,6
	Luzerne.....	42	6,3	2,5	43,5	31,2	61,6

3. *Plantes fourragères annuelles.* — Elles appartiennent aux deux familles citées plus haut :

A. *Légumineuses.* — Vesces (*Vicia sativa*), Lupuline ou Minette (*Medicago lupulina*), Gesse (*Lathyrus sativus*), Pois gris (*Pisum arvense*), Anthyllide (*Anthyllis vulneraria*), Lupin (*Lupinus albus*), Mélilot (*Melilotus alba*).

B. *Graminées.* — Le Maïs (*Zea maïs*), le Sorgho, le Moha de Hongrie, le Ray-Grass, le Seigle, l'Orge, l'Avoine sont aussi des plantes cultivées comme plantes fourragères.

Comme exemple, nous citerons le fourrage de maïs, qui, à l'analyse, donne les chiffres suivants :

	Eau	Matières minérales	Matières grasses	Matières azotées	Matières extractives	Cellulose
Maïs . . .	82,2	4,10	0,5	4,2	10,3	4,7

Enfin, nous croyons utile de donner ici quelques renseignements relatifs aux *feuilles* employées comme fourrage. Les ramilles fourragères sont, en effet, un précieux moyen de suppléer aux disettes produites à la suite des années de sécheresse.

M. Charles Girard<sup>1</sup>, de l'Institut agronomique, a effectué, l'an dernier, sur ce sujet, un travail important auquel nous empruntons les chiffres suivants, qui montrent une parfaite analogie avec ceux que nous ont donnés les fourrages ordinaires.

ANALYSE DES FEUILLES VERTES

	Eau	Matières grasses	Matières azotées	Matières extractives non azotées	Cellulose	Matières minérales
Orme.....	62,61	1,22	6,75	21,48	3,67	4,57
Peuplier.....	59,54	1,87	6,15	23,18	5,18	4,07
Marronnier d'Inde. . .	71,84	0,65	4,70	15,54	4,79	2,51
Erable.....	68,16	2	5,48	15,38	4,83	4,15
Platane.....	66,42	0,55	3,75	18,21	6,70	4,37
Saule.....	64,51	1,57	8,05	19,63	2,82	3,42
Acacia.....	74,57	0,55	6,56	12,99	3,48	1,85
Mûrier.....	63,02	1,73	6,05	20,87	2,91	4,61
Chêne.....	64	1,20	5,61	20,85	6,34	2
Noisetier.....	64	1,29	5,64	22,22	4,10	2,75
Micocoulier.....	60	2,18	5,60	20,35	4,76	7,12
Frêne.....	55	1,19	5,18	30,15	4,57	3,92
Bouleau.....	51,25	2,56	3,25	31,61	7,18	4,15
Sorbier.....	42,17	3	4,90	37,38	7,26	5,30
Charme.....	53	1,56	4,64	29,87	8,22	2,71
Aune noir.....	62	2,14	8,53	21	4,45	1,88
Tilleul.....	67	1,09	6,05	16,65	4,95	4,26
Aiguilles de Pin.....	59	2,94	2,96	24,46	12,39	1,25
Vignes françaises ...	68,81	1,96	4,21	18,91	2,57	3,54
Vignes américaines ..	65	2,15	4,48	21,71	3,05	3,61
Vignes greffées.....	68,24	2,33	3,94	18,25	3,26	3,98
Moyenne.....	62,38	1,70	5,40	21,78	5,12	3,62
Pour comparaison.						
Lucerne.....	74	0,8	4,5	9,3	9,5	2

<sup>1</sup> CH. GIRARD, *Bull. de la Société des agriculteurs de France*, 1893.

## ANALYSE DES FEUILLES FANÉES

	Eau	Matières grasses	Matières azotées	Matières extractives non azotées	Cellulose	Matières minérales
Orme.....	12	2,87	15,87	49,9	8,62	10,74
Peuplier.....	12	4,06	13,37	50,49	11,25	8,83
Marronnier d'Inde...	12	2,03	14,70	48,48	14,95	7,84
Erable.....	12	5,54	13,18	42,40	13,38	11,50
Platane.....	12	1,44	9,83	47,72	17,56	11,45
Saule.....	12	3,90	19,97	48,70	6,94	8,49
Acacia.....	12	2,16	23,72	39,21	13,65	7,26
Mûrier.....	12	4,12	16,33	49,64	6,93	10,98
Chêne.....	12	2,93	13,69	51,03	15,47	4,88
Noisetier.....	12	3,15	13,77	54,37	10	6,71
Micocoulier.....	12	4,80	12,33	44,72	10,48	15,67
Frêne.....	12	2,33	10,10	59,01	8,91	7,65
Bouleau.....	12	4,61	5,85	57,13	12,93	7,48
Sorbier.....	12	4,56	7,45	56,89	11,04	8,06
Charme.....	12	2,92	8,68	55,95	15,38	5,07
Aune noir.....	12	4,97	19,79	48,54	10,33	4,37
Tilleul.....	12	2,91	16,16	44,33	13,22	11,38
Pin.....	12	6,33	6,37	45,97	26,64	2,69
Vignes françaises...	12	5,53	11,87	53,37	7,25	9,98
Pour comparaison						
Luzerne.....	12	2,5	13,5	37,2	35,6	6,3

La teneur des fourrages en éléments fertilisants, est la suivante :

	Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Magnésie	Acide sulfurique	
Légumineuses Graminées	Ray-grass en vert.	0,57	0,17	0,53	0,16	0,05	0,08
	Herbe de prairie en vert.....	0,44	0,15	0,60	0,27	0,11	0,12
	Maïs vert.....	0,28	0,07	0,32	0,12	0,09	0,03
	Seigle vert.....	0,43	0,24	0,63	0,12	0,05	0,02
	Trèfle.....	2,00	0,56	1,95	1,92	0,69	0,17
	Luzerne.....	2,00	0,51	1,52	2,88	0,35	0,37
	Sainfoin.....	1,80	0,47	1,79	1,46	0,30	0,15
	Vesces.....	2,27	0,62	2,00	1,93	0,50	0,27

Comme on le voit, les Légumineuses sont beaucoup plus exigeantes que les Graminées au point de vue de la chaux. Les amendements calcaires sont donc recommandables pour les prairies de Légumineuses.

### § 3. — TEXTILES

Le Lin et le Chanvre sont les deux seules plantes textiles importantes de nos régions.

Elles ont la composition suivante en principes fertilisants :

		Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Magnésie	Acide sulfurique
Lin.....	{ Graines .....	3,20	1,30	1,04	0,27	0,42	0,04
	{ Tiges .....	0,48	0,43	1,00	0,83	0,23	0,20
Chanvre.	{ Graines .....	2,62	1,75	0,97	1,13	0,27	0,01
	{ Plante entière.	»	0,35	0,52	1,22	0,27	0,01

Elles enlèvent dans une récolte, à l'hectare :

	Lin	Chanvre
Azote.....	33 <sup>h</sup> 3	»
Acide phosphorique.....	21,8	43 <sup>h</sup> 7
Potasse .....	40,2	65,0
Chaux .....	30,3	152,0
Magnésie .....	10,2	34,0

Notons que pour le Chanvre la filasse n'enlève presque pas de principes fertilisants. Si l'on restitue le reste au sol, il n'y a pas de pertes importantes.

### § 4. — BOIS

L'exigence d'un hectare de Chêne est en moyenne annuellement :



	Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux
	Kilog.	Kilog.	Kilog.	Kilog.
Bois . . . . .	27,0	1,4	4,5	16,7
Feuilles . . . . .	40,0	7,5	17,5	10,0
Glands . . . . .	1,0	0,4	1,5	0,2
Ecorces . . . . .	2,4	0,2	2,8	10,0

M. Ebermayer a étudié la composition et les exigences minérales des essences forestières, et donne les chiffres suivants pour le Hêtre, l'Épicéa et le Pin.

## COMPOSITION DES RENDREMENTS ANNUELS

Age des bois	Troncs et branches	Souches et racines	Éclaircies et nettoyage	Somme des volumes	Poids des produits secs			
					Bois	Feuilles	Totaux	
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	Kilog.	Kilog.	Kilog.	
Hêtre	De 30 à 60 ans .	4,80	0,24	0,48	5,52	3.284	3.365	
	De 60 à 90 ans .	3,67	0,37	0,55	4,59	2.731	3.368	
	De 90 à 120 ans .	3,88	0,58	1,37	5,84	3.474	3.270	
	Moyennes . . . . .				5,32	3.233	3.331	6.497
Épicéa	De 30 à 60 ans .	6,71	0,33	1,01	8,05	3.075	3.369	
	De 60 à 90 ans .	7,28	0,73	1,82	9,83	3.749	2.869	
	De 90 à 120 ans .	6,07	0,91	2,13	9,11	3.480	2.783	
	Moyennes . . . . .				8,99	3.435	3.007	6.442
Pin	De 25 à 50 ans .	4,12	0,21	0,41	4,74	2.417	2.921	
	De 50 à 75 ans .	5,75	0,58	1,44	7,77	3.963	3.002	
	De 75 à 100 ans .	4,34	0,65	1,52	6,51	3.320	3.636	
	Moyennes . . . . .				6,34	3.233	3.186	6.420

## EXIGENCES EN MATIÈRES MINÉRALES, POUR UNE ANNÉE

		Potasse	Chaux	Magnésie	Acide phosphorique	Azote
		Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kil.
Hêtre Forêt âgée de 20 ans	Bois annuel ...	4,65	14,42	3,85	2,87	»
	Couverture annuelle .....	9,87	81,92	12,22	10,85	»
	Totaux .....	14,52	96,34	16,07	13,32	50
<i>Epicéa</i> Forêt âgée de 120 ans	Bois annuel ...	4,06	9,15	2,03	1,45	9
	Couverture annuelle .....	4,82	60,94	6,95	6,41	20
	Totaux .....	8,88	70,09	8,98	7,86	29
Pin Forêt de 100 ans	Bois annuel ...	2,60	10,04	1,70	1,07	9
	Couverture annuelle .....	4,84	48,87	4,80	3,68	20
	Totaux .....	7,44	28,91	6,50	4,75	29

D'après M. Henry, le Chêne et l'Érable sont exigeants en acide phosphorique et en potasse. Le Hêtre et le Tremble sont assez riches en potasse et le Charme est très pauvre en potasse.

## § 5. — CÉRÉALES

En réalité, les « grains » des céréales sont des fruits. Nous y trouvons donc (*fig. 93*) en allant de l'extérieur à l'intérieur :

1° Les téguments du fruit (péricarpe) ;

2° Le mince tégument de la graine ;

3° L'amande de la graine, dont la masse est presque exclusivement composée par l'*albumen*, l'*embryon* n'occupant qu'un espace très restreint.

C'est l'*albumen* qui est la partie utile et donne la *farine*. La superficie de cet albumen est constituée par une couche de cellules disposées sur une ou plusieurs rangées selon

les espèces et contenant des matières protéiques, parfois un peu de matière grasse.

Les cellules de la masse farineuse sous-jacente sont grandes, ordinairement anguleuses, à cloisons très minces, et sont remplies de granules d'amidon et d'un reste de protoplasma primitif.

Dans la partie inférieure se trouve l'embryon, jeune plante en miniature, qui empruntera à l'albumen, pendant la germination, les principes nécessaires à son développement.

Les graines des Céréales sont composées, en proportions variables, de substances organiques, de substances minérales et d'eau.

1. *Substances organiques.* — On y trouve des substances azotées : *gluten, albumine*; ainsi que des substances ternaires : *amidon, dextrine, cellulose, corps gras, huiles essentielles* qui donnent à la farine son odeur spéciale.

Les chiffres suivants donnent les proportions de ces diverses substances :

ANALYSES DES CÉRÉALES

Analyse du grain de blé (humide) (Boussingault)	Soja hispidia	Orge humide (Audemaus)	Sorgho	Orge desséché (Payen)	Seigle des-séché (Dumas)	
Amidon .....	59,7	6,40	53,8	70,53	66,43	6,1
Gluten .....	12,8	36,17	9,7	9,18	12,96	9,5
Albumine .....	4,8		4,5	»	10	3,3
Dextrine .....	7,2	»	2,1	1,93	2,76	14,3
Matière grasse .....	1,2	16	7,70	4	4,75	3
Cellulose .....	4,7	5,18	2,05	1,69	3,10	4,4
Substances minérales.	4,6	10,14	18,1	12,70	»	3,5
Eau .....	14	»	»	»	»	»

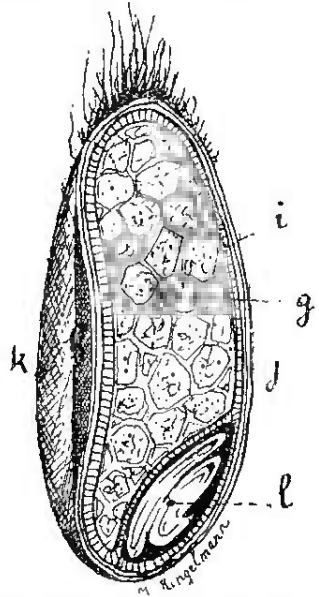


FIG. 93. — Coupe longitudinale d'un grain de blé: *g*, albumen farineux; *i*, téguments; *j*, face dorsale; *k*, face ventrale; *l*, embryon.

Les chiffres obtenus dans les différentes analyses des variétés d'une même Céréale peuvent présenter, du reste, des différences assez importantes, car les quantités des deux parties essentielles de la farine, le *gluten* et l'*amidon*, varient en outre suivant le terrain, le climat, etc., ainsi que le prouvent les analyses suivantes de Vauquelin :

Farine brute	Amidon sec	Gluten sec
De froment .....	71,49	41
De blé dur d'Odessa .....	56,5	14,55
De blé tendre d'Odessa .....	64	12,06
Odessa 2 <sup>e</sup> qualité .....	75,42	12,10
Blé des boulangers de Paris ..	72,8	10,20

2. *Substances minérales.* — Elles se retrouvent dans les cendres après l'incinération du grain. Le tableau suivant en donne le libellé :

ANALYSE DES CENDRES DES CÉRÉALES POUR 1,000  
(D'après M. CRASSE-CALVERT)

	Froment	Orge	Avoine	Seigle
Potasse .....	237	136	262	220
Soude .....	99	81	»	116
Chaux .....	28	26	60	49
Magnésie ..	120	75	100	103
Oxyde de fer .....	7	15	40	13
Acide phosphorique ...	500	390	438	495
Acide sulfurique .....	3	1	105	9
Silice .....	12	273	27	4
Chlore .....	»	traces	3	»
	998	997	999	1,009

Au point de vue de la « loi des restitutions », l'agriculteur a surtout à se préoccuper de la quantité des principes fertilisants enlevés au sol par les récoltes.

Les tableaux suivants renseignent sur ce point, et permettent de comparer l'épuisement du sol par les différentes céréales.

Ils enseignent, par suite, les doses d'engrais à apporter

ÉLÉMENTS FERTILISANTS ENLEVÉS AU SOL PAR UN HECTOLITRE  
DES DIFFÉRENTES CÉRÉALES AVEC LA PAILLE QUI LEUR EST AFFÉRENTE  
(MÜNTZ)

	Blé	Orge	Seigle	Avoine	Mais	Sarrasin
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Azote .....	2,547	1,520	2,005	1,260	2,040	1,660
Acide phosphorique ...	1,080	0,680	1,050	0,500	0,800	0,510
Potasse.....	1,340	1,352	1,835	1,020	2,120	1,255
Chaux.....	0,520	0,400	0,685	0,350	0,620	1,600
<i>Pour 100 kilogrammes de graines et la paille<sup>1</sup></i>						
Azote .....	3,185	2,330	2,750	2,620	2,920	2,760
Acide phosphorique ...	1,340	1,040	1,450	1,041	1,150	0,850
Potasse.....	1,675	2,080	2,515	2,420	3,030	2,080
Chaux.....	0,650	0,610	0,940	0,770	0,880	2,650
<i>Pour 100 kilogrammes de graines seulement<sup>1</sup></i>						
Azote .....	2,080	1,520	1,760	1,920	1,600	1,720
Acide phosphorique ...	1,820	0,720	0,820	0,550	0,550	0,610
Potasse.....	0,550	0,480	0,540	0,420	0,330	0,450
Chaux.....	0,060	0,050	0,050	0,100	0,030	0,100

### § 6. — GRAINES LÉGUMINEUSES

Ces graines diffèrent des graines farineuses des Céréales. Elles sont dépourvues d'albumen. Les substances nutritives sont renfermées dans les cotylédons de l'embryon (*fig. 32*).

Ces graines sont fort riches, non seulement en fécule mais aussi en principes azotés et gras, ainsi qu'en phosphates.

<sup>1</sup> *Ann. de l'Obs. de Montsouris.*

Le tableau suivant donne leur composition chimique :

Graines	Matière azotée ou légumine	Amidon dextrine sucre	Matières grasses	Cellulose	Matières minérales	Eau	Azote pour 100
Féveroles .....	30,8	48,3	1,9	3	3,5	12,5	5,59
Fèves de marais décortiquées et desséchées vertes .....	29,05	55,85	2	1,5	3,35	8,4	5,28
Vesces .....	27,3	48,9	2,7	3,5	3	14,6	4,95
Haricots flageolets desséchés.	27	60	2,6	2	3,3	5,1	5,90
Haricots blancs ordinaires ..	25,5	55,7	2,8	2,9	3,2	9,9	4,63
Pois verts décortiqués et concassés .....	25,4	58,5	2	1,9	2,5	9,7	4,61
Lentilles .....	25,2	56	2,6	2,4	2,3	11,5	4,57
Fèves de marais ordinaires.	24,4	51,5	1,5	3	3,6	16	4,43
Pois jaunes mûrs.....	23,8	59,7	2,1	3,5	2,1	9,8	4,31

M. Girardin, à qui sont dues ces analyses, signale, en outre, dans ces graines un extrait amer; dans les Lentilles, du tannin et une huile verte visqueuse; dans les pois chiches, une substance résiniforme; dans la vesce, de l'asparagine.

Il est intéressant, au point de vue nutritif, de comparer la farine d'une Céréale et celle d'une Légumineuse; on constate dans la farine de Légumineuse une grande supériorité au point de vue de l'élément azoté (Caséine).

	Farine de Blé	Farine de Pois vert
Eau .....	14	14,1
Caséine .....	14,6	23,5
Fécule .....	59,7	37
Sucre .....	»	2
Dextrine .....	7,2	»
Gomme .....	»	9
Matière grasse .....	1,2	2
Cellulose .....	1,7	10
Matières minérales .....	1,6	2,5

La composition centésimale en éléments fertilisants est la suivante :

		Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Magnésic	Acide sulfurique
Haricots...	Graines.	4,45	0,94	1,40	0,20	0,41	0,28
	Paille ..	4,04	0,38	1,07	1,86	0,38	0,28
Pois.....	Graines.	3,54	0,88	0,98	0,12	0,19	0,08
	Paille ..	4,04	0,38	1,07	1,86	0,38	0,28
Féveroles	Graines.	4,06	1,16	1,20	0,15	0,20	0,10
	Paille ..	4,63	0,44	2	1,35	0,30	0,10
Lentilles ..	Graines.	3,81	0,52	0,77	0,10	0,04	0,15
	Paille ..	4,01	0,48	0,52	2	0,12	0,02

Les Légumineuses sont très avides de potasse et de chaux.

La production d'un hectolitre de graines avec la paille exige, d'après M. Müntz :

	Haricots	Lentilles	Pois	Féveroles
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Azote .....	4,030	4,200	5,000	5,700
Acide phosphorique.	1,020	0,970	1,470	1,555
Potasse.....	1,890	1,200	2,900	3,650
Chaux.....	4,550	2,350	3,730	4,900
<i>Pour 100 kilogrammes de graines et la paille</i>				
Azote .....	5,150	5,240	6,000	6,490
Acide phosphorique.	1,300	1,200	1,770	1,800
Potasse.....	2,430	1,500	3,480	4,160
Chaux.....	2,000	3,000	4,470	2,100
<i>Pour 100 kilogrammes de graines seulement</i>				
Azote .....	4,150	3,810	3,58	4,06
Acide phosphorique.	0,940	0,520	0,88	1,16
Potasse.....	1,400	0,770	0,98	1,20
Chaux.....	0,200	0,100	0,12	0,15

## § 7. — FRUITS

Si nous supposons une vigne produisant à l'hectare 50 hectolitres de vin, voici ses exigences en principes fertilisants :

	Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Magnésic
Dans	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
50 hectolitres de vin . .	1	1,50	5	1	1
750 kilogr. de marcs . . .	7,50	2,25	3,75	3,75	0,75
3,000 — de feuilles . .	24	4,80	8,40	72	8,40
3,000 — de sarments . .	6	1,20	9	15,50	2,40
<b>Totaux . . . . .</b>	<b>38,50</b>	<b>9,75</b>	<b>26,45</b>	<b>92,25</b>	<b>12,55</b>

Voici, du reste, la composition centésimale de quelques fruits :

	Pommes	Poires	Cerises	Prunes	Fraiscs	Groselles	Châtaignes
Eau . . . . .	83,000	83,500	80,000	85,000	87,000	86,000	50,000
Acide phosphor. . . . .	0,030	0,050	0,070	0,060	0,050	0,093	0,250
Potasse . . . . .	0,140	0,180	0,230	0,160	0,094	0,180	0,710
Chaux . . . . .	0,010	0,030	0,033	0,028	0,063	0,040	0,140
Magnésic . . . . .	0,020	0,020	0,024	0,018	»	0,028	0,010
Azote . . . . .	0,212	0,220	»	0,370	0,190	0,140	0,690

## § 8. — PLANTES OLÉAGINEUSES

A propos des matières grasses, nous avons indiqué quelle était la proportion de corps gras renfermée dans



les organes utilisés pour leur riche teneur en huile.

L'industrie ne peut pas extraire complètement tout le corps gras par simple pression. Souvent elle emploie un dissolvant (le sulfure de carbone). Quoi qu'il en soit, les résidus de l'extraction renferment tous les autres corps composants et un reste de matière grasse.

L'analyse des tourteaux industriels renseigne donc sur la composition des plantes oléagineuses; c'est à ce titre que nous l'indiquons ici :

Désignation des plantes oléagineuses (Tourteaux)	Eau	Matières azotées	Matières grasses	Cellulose et matières organiques diverses	Matières minérales	Azote	Acide phosphorique
Colza . . . . .	11,97	30,62	11,10	39,36	6,95	4,90	2,83
Cameline . . . . .	11,40	30,81	9,22	40,90	7,67	4,93	1,87
Navette . . . . .	9,44	28,27	11,25	43	8,04	4,62	1,60
Pavot . . . . .	10,67	30,75	10,50	32,41	9,67	5,88	2,53
Coton d'Amérique décortiqué <sup>1</sup> . . . . .	7,76	47	13,21	25,95	6,28	7,52	1,64
Coton d'Égypte décortiqué . . . . .	10	40,94	16,40	24,76	7,90	6,55	1,43
Coton d'Égypte brut . . . . .	10,52	24,31	6,18	52,57	6,42	3,89	1,24
Arachide décortiquée . . . . .	12	40,69	9,60	32,85	4,86	6,99	1,07
— brute . . . . .	10,50	33,56	8,12	42,07	5,75	5,37	0,59
Lin . . . . .	10,72	31,50	9,89	40,88	7,01	5,04	2,15
Chanvre . . . . .	9,87	30,69	6,20	47,24	6	4,91	1,89
Sésame . . . . .	9,95	39,62	9,68	26,97	13,78	6,34	2,03
Faines décortiquées . . . . .	12,50	37,13	7,50	35,17	7,70	5,94	1,05
Noix décortiquées . . . . .	9,90	33,69	10,70	41,61	4,10	5,39	1,39
Palmistes . . . . .	9,22	14,94	13,55	57,75	4,54	2,39	1,16
Cocotier . . . . .	12,40	24,13	4,70	52,23	6,50	3,86	1,12

Les plantes oléagineuses ont à peu près la teneur suivante :

<sup>1</sup> Les organes décortiqués renferment naturellement moins de cellulose et plus d'azote pour 100.

		Azote	Acide phosphorique	Potasse	Chaux	Magnésie	Acide sulfurique
Colza <sup>1</sup>	Graines .....	3,10	1,64	0,88	0,52	0,46	0,13
	Paille .....	0,50	0,27	0,97	4,01	0,21	0,27
	Siliques .....	0,85	0,36	0,57	3,38	0,88	0,68
Pavot	Graines .....	2,80	4,64	0,71	4,85	0,50	0,10
	Paille .....	0,40	0,23	2,00	4,50	0,43	0,34

La perte du sol pour une récolte de Colza d'hiver sur un hectare sera pour 30 hectolitres pesant 2,040 kilogrammes, 3,200 kilogrammes de paille, 4,600 kilogrammes de siliques :

	Graines	Paille	Siliques	Total
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Azote .....	63,2	46,0	43,6	92,8
Acide phosphorique .....	33,4	8,6	5,8	47,8
Potasse .....	47,9	31,0	9,1	58,0
Chaux .....	40,6	32,3	54,1	97,0
Magnésie .....	9,4	6,7	44,4	30,2

La récolte du Pavot sur un hectare donne environ 20 hectolitres, pesant 4,200 kilogrammes et 3,000 kilogrammes de paille renfermant :

	Graines	Paille	Total
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Azote .....	33,6	42,0	45,6
Acide phosphorique .....	19,7	6,9	26,6
Potasse .....	8,5	60,0	68,5
Chaux .....	22,2	45,0	67,2
Magnésie .....	6,0	12,9	48,9

<sup>1</sup> MUNTZ, *Les Engrais*.

Pour 100 kilogrammes de grains sans la paille, on calcule que la perte est la suivante:

	Colza	Pavot
	Kilogr.	Kilogr.
Azote .....	3,100	2,800
Acide phosphorique.....	1,640	1,640
Potasse.....	0,880	0,710
Chaux.....	0,520	1,850

Ces quelques chiffres suffisent à donner une idée des quantités d'engrais à apporter pour établir la balance et maintenir la fertilité.

# TABLE DES MATIÈRES

---

PRÉFACE.....	v
NOTIONS PRÉLIMINAIRES.....	1
§ 1 <sup>er</sup> . — Nutrition générale.....	1
Bilan organique.....	
§ 2. — Historique des doctrines relatives à la nutrition. Les précurseurs de Liébig, 7. — Doctrine de Lié- big.....	6 10
§ 3. — Les aphorismes de Liébig.....	13

## PREMIÈRE PARTIE

LA NUTRITION DES VÉGÉTAUX.....	23
CHAPITRE I <sup>er</sup> — ORIGINE DE LA MATIÈRE VÉGÉTALE.....	23
Éléments nécessaires aux plantes, 25. — Sources des éléments organiques, 26. — Sources des élé- ments minéraux.....	35
CHAPITRE II. — FORCES MISES EN JEU DANS LE TRAVAIL DE LA VÉGÉTATION.....	36
§ 1 <sup>er</sup> — Radiation solaire.....	37
§ 2. — Forces internes.....	37
Énergie chimique, 38. — Énergie osmotique, 39. — Énergie de surface, 39. — Énergie de sépa- ration.....	39
§ 3. — Introduction de l'énergie dans la plante.....	40
CHAPITRE III. — ÉTUDE DU SOL DANS SES RAPPORTS AVEC LA VÉGÉ- TATION.....	42
§ 1 <sup>er</sup> — Étude générale des sols.....	44
I. Matière organique, 44. — II. Sable, 44. — III. Calcaire, 45. — IV. Argile, 45. — V. Clas- sification des terres arables.....	45
§ 2. — Propriétés physiques des sols.....	46
I. Texture, 46. — II. Densité, 53. — III. Imbibition ou perméabilité, 54. — IV. Hygroscopicité, 55. — V. Dessiccation, 58. — VI. Ténacité, ou cohésion, adhérence ou retrait, 58. — VII. Échauffement et rayonnement.....	58

§ 3. — Propriétés chimiques des sols.....	63
I. Décomposition des éléments minéraux, 63. —	
II. Pouvoir absorbant des sols, 64. — III. Atmo-	
sphères du sol, 65. — IV. Combustion de la ma-	
tière organique, 72. — Nitrification .....	73
CHAPITRE IV — ÉTUDE DE L'ATMOSPHÈRE.....	84
§ 1 <sup>er</sup> . — Composition de l'atmosphère.....	84
1. Gaz, 84. — 2. Vapeurs .....	85
§ 2. — Météorologie agricole.....	88
1. Le climat et la végétation, 89. — 2. Intégrale	
des températures .....	96
CHAPITRE V. — FONCTIONS DE NUTRITION.....	110
§ 1 <sup>er</sup> . — Fonctions du protoplasma.....	110
Le protoplasma .....	111
§ 2. — Absorption.....	112
1. Diffusion, 114. — 2. Osmose, 116. — 3. Pression	
osmotique, 118. — 4. Dialyse, 120. — 5. Théorie	
de la diffusion, de la dialyse et de l'osmose, 121.	
— 6. Absorption des principes solubles, 122. —	
7. Absorption des principes insolubles, 123. —	
8. Surface d'absorption des racines, 123. —	
9. Entrée des gaz, 124. — 10. Constitution des	
solutions gazeuses, 126. — 11. Capillarité, 127.	
— 12. Mécanisme général de l'absorption .....	128
§ 3. — Assimilation chlorophyllienne.....	129
§ 4. — Respiration.....	131
Atmosphères internes des plantes.....	133
§ 5. — Transpiration .....	139
Eau évaporée par les cultures.....	141
CHAPITRE VI. — PHYSIOLOGIE EXPÉRIMENTALE.....	146
§ 1 <sup>er</sup> . — Cultures dans les sols artificiels.....	146
§ 2. — Cultures dans les solutions aqueuses.....	150
1. Méthode de Knop, 151. — 2. Expériences de	
M. Rauliu.....	155
CHAPITRE VII. — CHIMISME DYNAMIQUE INTERNE DE LA PLANTE...	161
§ 1 <sup>er</sup> — Synthèses organiques.....	161
1. Synthèse des composés de la série grasse, aldé-	
hyde méthylique, 163. — 2. Composés su-	
crés, 171. — 3. Origine des polyglucoses, 173.	
— 4. Formation de l'amidon, 176. — 5. Origine	
de la cellulose, 176. — 6. Synthèse des acides	
organiques, 177. — 7. Synthèse des éthers, 183.	
— 8. Synthèse des composés aromatiques, 184.	
— 9. Synthèse des alcaloïdes, 187. — 10. Syn-	
thèse des corps albuminoïdes .....	188

§ 2.	— Métamorphoses régressives.....	193
1.	Chimie de la graine et des organes de réserve, 193. — 2. Processus des métamorphoses régressives, 197. — 3. Ferments solubles, 199. — <i>Premier groupe</i> . A. Diastase, 200. — B. Maltase, 205. — C. Inulase, 205. — D. Invertase, 205. — E. Tréhalase, 206. — F. Enzymes cyto-hydrolytiques, 206. — G. Pectases, 206. — <i>Deuxième groupe</i> . H. Emulsine, 207. — I. Myrosine, 208. — J. Rhamnase, 210. — <i>Troisième groupe</i> . K. Pepsine, 210. — L. Trypsines, 210. — M. Présures, 211. — <i>Quatrième groupe</i> . N. Zymases des corps gras, 211. — 4. Caractères généraux des ferments solubles, 212. — 5. Expériences relatives aux digestions de réserves.....	214
§ 3.	— Développement des plantes annuelles.....	215
1.	Marche des variations de poids dans la plante entière pendant son développement normal, 215. — 2. Accroissement et maturation.....	220
§ 4.	— Migration des principes immédiats.....	221
1.	Dissolution des principes élatérés, 221. — 2. Mécanisme de la migration, 222. — 3. Dissolvants des principes immédiats dans les végétaux, 223. — 4. Phénomènes généraux de migration, 225. — 5. Cycle évolutif.....	228

## DEUXIÈME PARTIE

<b>LA COMPOSITION CHIMIQUE DES VÉGÉTAUX.</b>	<b>230</b>
CHAPITRE I <sup>er</sup> — ANALYSE CHIMIQUE DE LA PLANTE.....	230
§ 1 <sup>er</sup> . — Analyse élémentaire.....	232
§ 2. — Analyse immédiate.....	233
CHAPITRE II. — ÉTUDE DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX DES VÉGÉTAUX..	235
§ 1 <sup>er</sup> . — Composition des cendres.....	235
§ 2. — Répartition des substances minérales.....	240
1. Nutrition minérale, 247. — 2. Assimilation des substances minérales par ces plantes.....	247
§ 3. — Corps minéraux.....	248
1. Corps cristallisés, 248. — 2. Corps minéraux amorphes, 251. — A. Silice, 251. — B. Globoïdes, 257. — C. Substances minérales des membranes cellulaires, 257. — 3. Corps minéraux dissous.	258

TABLE DES MATIÈRES

435

CHAPITRE III. — ÉTUDE DES SUBSTANCES ORGANIQUES.....	258
§ 1 <sup>er</sup> — Les éléments organiques.....	258
§ 2. — Le protoplasma.....	260
1. Composition du protoplasma, 260. — 2. Théorie des micelles de Nœgeli, 262. — 3. Théorie des plasomes de Wiesner, 262. — 4. Théorie vacuolaire de Bultschli, 264. — 5. Propriétés du protoplasma.....	264
§ 3. — Les substances chimiques dérivées du protoplasme.....	265
1. Plastides ou leucites, 265. — 2. Chlorophylle, 266. — 3. Produits chimiques créés par les plastides actifs, 273. — <i>A.</i> Amidon, 274. — <i>B.</i> Corps gras, 278. — <i>C.</i> Huiles essentielles, 284. — <i>D.</i> Aleurone.....	287
§ 4. — Les substances organiques dissoutes dans les sucres cellulaires.....	289
I. — Hydrates de carbone.....	289
1. Inuline, 289. — 2. Dextrines, 291. — 3. Substances sucrées, 292. — 4. Gommess.....	294
II. — Substances diverses.....	297
1. Gommess-résines, 297. — 2. Résines, oléorésines, 298. — 3. Dérivés divers, 300. — 4. Glucosides, 301. — 5. Tannins, 303. — 6. Acides végétaux, 307. — 7. Matières colorantes.....	312
III. — Substances azotées.....	317
1. Alcaloïdes, 317. — 2. Corps amidés, 327. — 3. Matières albuminoïdes.....	329
§ 5. — La membrane et ses transformations.....	333
Matière cellulosique et substances congénères...	333

TROISIÈME PARTIE

LA FERTILISATION DU SOL.....	340
CHAPITRE I <sup>er</sup> . — INFLUENCE DU MILIEU.....	341
Dominantes, 349. — Champ d'expériences.....	350
CHAPITRE II. — AMENDEMENTS ET ENGRAIS.....	365
§ 1 <sup>er</sup> . — Amendements à base de chaux.....	356
1. Chaulages, 357. — 2. Marnage, 359. — 3. Plâtrages.....	361
§ 2. — Amendements siliceux.....	362
1. EcoUAGE, 362. — 2. Colmatage.....	363

§ 3.	— Amendements mécaniques.....	363
	1. Labourage et drainage, 364. — 2. Irrigation..	363
§ 4.	— L'azote.....	365
	1. Engrais organiques azotés, 366. — 2. Engrais minéraux azotés.....	372
§ 5.	— L'acide phosphorique.....	376
	1. Acide phosphorique du sol, 377. — 2. Sortes d'engrais phosphatés, 378. — 3. Phosphates naturels, 379. — 4. Phosphates organiques, 379 — 5. Phosphates industriels, 386. — 6. Emploi des engrais phosphatés.....	387
§ 6.	— La potasse.....	389
	1. Produits végétaux, 391. — 2. Produits animaux, 392. — 3. Gisements minéraux.....	393
§ 7.	— Répartitions des engrais dans le sol.....	396
§ 8.	— Moyens d'augmenter ou d'entretenir la fertilité des sols.....	399
	Assolements. Engrais complets.....	399

## QUATRIÈME PARTIE

<b>LA CHIMIE DES PRODUITS AGRICOLES.....</b>	<b>408</b>	
§ 1 <sup>er</sup> — Tubercules et racines.....	408	
	1. Tubercules de pommes de terre, 410. — 2. Racines féculifères, 411. — 3. Racine saccharifère.	412
§ 2. — Fourrages.....	414	
	1. Plantes des prairies naturelles, 414. — 2. Plantes des prairies artificielles, 416. — 3. Plantes fourragères annuelles.....	417
§ 3. — Textiles.....	420	
§ 4. — Bois.....	420	
§ 5. — Céréales.....	422	
§ 6. — Graines, légumineuses.....	425	
§ 7. — Fruits.....	428	
§ 8. — Plantes oléagineuses.....	428	



# Encyclopédie Industrielle

Collection de volumes in-16 illustrés de figures  
à 5 et 6 francs le volume cartonné

**L'Industrie chimique en Allemagne**, son organisation scientifique, commerciale, économique, par A. TRILLAT. 1900. 1 vol. in-16 de 500 pages, avec fig., cartonné..... 5 fr.

La situation générale de l'Allemagne, au point de vue commercial, économique et géographique, description et situation présente des Industries chimiques, charbon, métallurgie et salines; la grande industrie chimique: acides, alcalis et dérivés, acide sulfurique, soude, potasse, etc.; l'industrie des produits chimiques de la pharmacie et de la droguerie; l'industrie des couleurs organiques et minérales; engrais, sels ammoniacaux, explosifs, industries sucrières, gélatine, céramique, porcelaine, verrerie, etc.; industries électrochimiques et électrométallurgiques. L'organisation économique et institutions patronales. L'organisation scientifique et l'enseignement de la chimie appliquée; causes qui ont contribué au progrès des industries en Allemagne, rôle des chambres de commerce et des associations professionnelles, protection des brevets, etc.

**L'Industrie chimique**, par A. HALLER, professeur à la Faculté des Sciences de Paris, correspondant de l'Institut. 1895, 1 vol. in-16 de 324 pages, avec figures, cartonné..... 5 fr.

L'industrie et l'enseignement chimique en France et à l'étranger, les produits de la grande industrie chimique, les fabriques et les perfectionnements récents, les produits chimiques et pharmaceutiques, les fabriques de produits nouveaux ou peu connus, les matières colorantes artificielles, les matières premières pour la parfumerie.

**Précis de Chimie industrielle**, Notation atomique, par P. GUICHARD, 1894, 1 vol. in-16 de 422 pages, avec 68 figures, cartonné..... 5 fr.

M. Guichard a adopté la notation atomique et a indiqué les noms des corps d'après les principes de la nomenclature chimique internationale. Il s'est attaché exclusivement aux applications pratiques. Embrassant à la fois la Chimie minérale et organique, il a passé en revue les différents éléments et leurs dérivés, en suivant méthodiquement la classification atomique, et en insistant sur les questions industrielles.

**Cours de Marchandises**, Les Matières premières, commerciales et industrielles, par GIRARD, professeur à l'École pratique de commerce et d'industrie de Nîmes. 1900. 1 vol. in-16 de 412 pages, avec 246 figures, cartonné..... 5 fr.

Tous les produits sont étudiés au point de vue de leur origine, de leurs caractères distinctifs, de leurs qualités, de leurs variétés.

Métaux, produits chimiques, matériaux de construction, produits de la dépouille, aliments et médicaments, textiles, papier, matières colorantes.

**L'Industrie agricole**, par F. CONVERT, professeur à

l'Institut agronomique. 1901. 1 vol. in-16 de 443 pages, cart 5 fr.

*Climat, sol, population de la France.*

*Les céréales et la pomme de terre.* — Le blé. — Pays exportateurs. — Législation. — La farine, le pain, le son. — Le seigle, l'avoine, l'orge, le maïs. — La pomme de terre, les légumineuses alimentaires.

*Les plantes industrielles.* — Les betteraves à sucre et l'industrie de la sucrerie. — La betterave de distillation et l'alcool. — Les plantes oléagineuses et textiles. — Le houblon, la chicorée à café, le tabac. — La viticulture. — Les vins étrangers, les vins de raisins secs. — L'olivier.

*Le bétail et ses produits.* — Les espèces chevaline, bovine, ovine, porcine. — Le lait, le beurre et le fromage. — La viande de boucherie. — Le commerce extérieur du bétail. — La laine et la soie. — La production agricole de la France.

**Précis de Chimie agricole**, par EDOUARD GAIN, maître

de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy, 1895, 1 vol. in-16 de 436 pages, avec 93 figures, cartonné ..... 5 fr.

Après avoir étudié le principe général de la nutrition des végétaux, l'auteur trace rapidement l'histoire des différentes doctrines relatives à l'alimentation des plantes. Abordant ensuite la physiologie générale de la nutrition, il passe en revue les rapports de la plante avec le sol et l'atmosphère, les fonctions de nutrition, le chimisme dynamique et le développement des végétaux. La deuxième partie traite de la composition chimique des plantes. La troisième est consacrée à la fertilisation du sol par les engrais et les amendements. La quatrième comprend la chimie des produits agricoles.

**Analyse et Essais des Matières agricoles**,

par A. VIVIER, directeur de la Station agronomique et du Laboratoire départemental de Melun. 1897, 1 vol. in-16 de 470 pages, avec 88 figures, cartonné ..... 5 fr.

L'auteur indique les méthodes générales de séparation et de dosage des éléments les plus importants dans les engrais, dans les sols et dans les plantes.

Il étudie l'analyse des engrais et des amendements, et à propos des engrais commerciaux, des exigences des plantes, ainsi que des conditions d'emploi des engrais dans les différents sols et pour les différentes cultures. Vient ensuite l'analyse du sol et celle des roches. L'analyse des eaux, les méthodes générales applicables à l'analyse des matières végétales et animales. Enfin, M. Vivier indique l'application de ces méthodes aux cas particuliers, fourrages, matières premières végétales des industries agricoles, produits et sous-produits de ces industries, etc.

**Le Pain et la Panification**, chimie et technologie de

la boulangerie et de la meunerie, par L. BOUTROUX, professeur de chimie à la Faculté des Sciences de Besançon, 1897, 1 vol. in-16 de 358 pages, avec 57 figures, cartonné ..... 5 fr.

Dans une première partie, M. Boutroux étudie la farine. La seconde partie est consacrée à la transformation de la farine en pain. Etude théorique de la fermentation panaire, opérations pratiques de la panification usuelle, procédés de panification employés en France ou à l'étranger. Composition chimique du pain et opérations par lesquelles le chimiste peut en apprécier la qualité ou y déceler les fraudes. Au point de vue de l'hygiène, valeur nutritive du pain en général et des diverses sortes de pain.

**Le Tabac**, culture et industrie, par ÉMILE BOUANT, agrégé des

Sciences physiques. 1901, 1 vol. in-16, 347 pages, avec 104 figures, cartonné ..... 5 fr.

Historique. — Culture. — Technologie. — Matières premières. — Fabrication des scarlatins. — Cigarettes. — Cigares. — De la poudre. — Des tabacs à mâcher. — Économie politique et hygiène.

## PHOTOGRAPHIE

**Aide-mémoire de Photographie**, par ALB. LONDE, directeur du service de photographie de la Salpêtrière. 2<sup>e</sup> édition, 1898, 1 vol. in-16 de 416 pages avec 75 figures, cartonné... 4 fr.

La lumière. — Le matériel photographique. — La chambre noire, l'objectif, l'obturateur, le viseur, le pied. — L'atelier vitré. — Le laboratoire. — Le négatif. — Exposition. — Développement. — Le positif. — Procédés photographiques. — La photocollographie. — Les agrandissements. — Les projections. — La reproduction des couleurs. — Orthochromatisme. — Procédé Lippman. — La photographie à la lumière artificielle. — Les rayons X.

M. Londe examine d'abord les principes théoriques qui sont la base de la photographie, puis le matériel nécessaire pour la reproduction de l'image négative, les divers procédés de préparation de la couche sensible, l'exécution du cliché, puis le développement de l'image latente. Il aborde ensuite l'étude des nombreux procédés qui permettent de multiplier l'image positive, et il s'arrête plus particulièrement sur ceux qui sont les plus pratiques, les plus employés et, par suite, à la portée de tous.

Au lieu de se contenter de simples descriptions, ou d'une sèche énumération de formules sans commentaires, il donne toujours un avis motivé ou une appréciation absolument impartiale, du reste, sur les points examinés. De cette manière, le lecteur, au lieu d'être désorienté au milieu de nombreux procédés qu'on lui signale, trouvera, au contraire, dans ses conseils, un guide sûr qui facilitera ses recherches et lui évitera bien des tâtonnements.

**Formulaire des Nouveautés photographiques**, par GEORGES BRUNEL. 1896, 1 vol. in-16 de 343 pages, avec 144 figures, cartonné..... 4 fr.

Groupes, analyser et présenter d'une façon méthodique, en même temps que critique, toutes les nouveautés photographiques : tel est le but de ce livre.

Dans un premier chapitre, M. Brunel expose tout ce qui concerne les appareils : chambres noires, détectives, jumelles, cyclographes, objectifs et obturateurs. Le deuxième chapitre est consacré aux accessoires : châssis, viseurs, pieds, lampes, sècheurs et agitateurs, appareils d'agrandissement, de laboratoire, d'atelier, de vérification. Vient ensuite la photographie composite, la multiplication des images, etc. Le chapitre III traite de la photographie au magnésium. Dans le chapitre IV sont passés en revue toutes les formules et recettes nouvelles pour la pose, le développement, le virage, les réducteurs et renforcements, la revivification des épreuves voilées, les colles, vernis, émaux et couleurs, les papiers photographiques, les produits chimiques, etc.

Enfin dans un dernier chapitre, sont exposées les applications de la photographie scientifique et artistique : la photographie des couleurs, le cinématographe, la reproduction à distance des dessins et gravures, la radiographie ou photographie de l'invisible, la photographie et l'illustration du livre, etc.

**Carnet-agenda du Photographe à l'usage des Amateurs et des Professionnels**, par GEORGES BRUNEL. 1900, 1 vol. in-16 de 350 pages avec figures, cartonné..... 4 fr.

Solution de tous les problèmes et des difficultés qui se présentent dans la technique opératoire de la photographie — procédés — formules — tours de main — nouveautés — adresses des laboratoires — sites à photographier.

Cet agenda contient une foule de renseignements pratiques que l'on ne trouvait qu'en consultant un grand nombre d'ouvrages différents : documents pratiques, physiques, chimiques et surtout opératoires, essai des appareils, temps de pose, formulaires, tables, etc.

**Les Industries d'amateurs**, Le papier et la toile, la terre, la cire, le verre et la porcelaine, le bois, les métaux, par H. DE GRAFFIGNY. 1889, 1 vol. in-16 de 365 pages, avec 395 figures, cartonné..... : 4 fr.

Cartonnages, abat-jours, masques, papiers de tenture, encadrements, brochage et reliure, fleurs artificielles, cerf-volant, aérostats, feux d'artifices. — Modelage, moulage, gravure sur verre, peinture de vitraux, lanterne magique, mosaïques. — Menuiserie, tour, découpage du bois, marqueterie et placage. — Serrurerie, gravure en taille-douce, mécanique, électricité, galvanoplastie, nickelage, métallisation, horlogerie.

Le nombre des amateurs de travaux manuels augmente chaque jour : ce manuel sera un guide précieux pour éviter les tâtonnements du début et réduire au minimum le temps de l'apprentissage.

On y trouvera une foule de moyens pour occuper utilement et agréablement ses loisirs.

**La Menuiserie**, par A. POUTIERS, professeur à l'École des Arts industriels d'Angers. 1896, 1 vol. in-16 de 376 pages, avec 133 figures, cartonné..... 4 fr.

M. Poutiers, tout d'abord, passe rapidement en revue la *Menuiserie* à travers les âges et chez les différents peuples. Dans le deuxième chapitre, il développe l'*Art du Menuisier*, la connaissance des bois, leur choix et leur appropriation aux différentes sortes de travaux ; les préparations que l'on doit faire subir avant de les employer, et enfin les opérations chimiques auxquelles on les soumet dans certains cas.

Le troisième chapitre traite de la *Menuiserie plane* en général, tracé et construction, application des différentes sortes de menuiserie aux divers usages auxquels on les destine. Le quatrième chapitre est un abrégé de l'*Art du Trait* proprement dit, s'appliquant à toutes les parties de menuiserie où s'emploient les divers tracés.

La *description des escaliers* et l'exposé des méthodes employées pour leur construction font l'objet du cinquième chapitre, dans lequel l'auteur donne, à côté des théories, les procédés employés dans les ateliers pour le tracé et l'assemblage de ce genre de travail.

**Les Moteurs**, par JULIEN LEFÈVRE, professeur à l'École des sciences de Nantes. 1896, 1 vol. in-16 de 384 pages, avec 141 fig., cartonné..... 4 fr.

*Moteurs hydrauliques*. — Puissance. — Roues en dessus, de côté, en dessous. — Turbines centrifuges, centripètes, parallèles, mixtes, américaines. — *Moulins à vent*. — Moulins à axe horizontal, à axe vertical, américains. — *Moteurs à gaz tonnants*. — Comparaison des machines thermiques. — Gazogènes. — Carburateur de l'air. — Moteurs à gaz. — Moteurs à essence de pétrole, à huile de pétrole. — Applications : appareils de levage, distribution d'énergie, éclairage électrique, voitures, cycles, bateaux.

**Le Gaz et ses Applications**, éclairage, chauffage, force motrice, par E. de MONT-SERRAT et BRISAC, ingénieurs de la Compagnie parisienne du gaz. 1892, 1 vol. in-16 de 368 pages, avec 86 figures, cartonné..... 4 fr.

Fabrication du gaz et canalisation des voies publiques. Éclairage : principaux brûleurs à gaz, éclairage public et privé. Chauffage : applications à la cuisine et à l'économie domestique, applications industrielles, emploi dans les laboratoires. Moteurs à gaz. Sous-produits de la fabrication du gaz : coke, produits ammoniacaux, goudron et divers.

**Les Produits chimiques** employés en médecine, *chimie analytique et fabrication industrielle*, par A. TRILLAT. Introduction par P. SCHUTZENBERGER, de l'Institut. 1894, 1 vol. in-16 de 415 pages, avec 67 figures, cartonné..... 5 fr.

Quatre chapitres sont consacrés à la classification des *antiseptiques*, à leur constitution chimique, à leurs procédés de préparation et à la détermination de la valeur d'un produit médicinal. Vient ensuite une classification rationnelle des produits médicaux, dérivés de la *série grasse* et de la *série aromatique*. Pour chaque substance on trouve : la constitution chimique, les procédés de préparation, les propriétés physiques, chimiques et physiologiques et la forme sous laquelle elle est employée.

**Le Pétrole**, exploitation, raffinage, éclairage, chauffage, force motrice, par A. RICHE, directeur des essais à la Monnaie et G. HALPHEN, chimiste du Ministère du commerce. 1896, 1 vol. in-16 de 484 pages, avec 114 figures, cartonné..... 5 fr.

Gisements et méthode d'extraction et de raffinage, procédés suivis en Amérique, en Russie, en France et en Autriche-Hongrie, pour la séparation et la purification des essences, huiles lampantes, huiles lourdes, paraffines et vaselines.

Applications : éclairage et chauffage ; production d'énergie mécanique ; lubrification. Qualités des différentes huiles et méthodes d'essai.

**Verres et Émaux**, par L. COFFIGNAL, ingénieur des arts et manufactures. 1 vol. in-16 de 332 pages, avec 129 figures, cartonné..... 5 fr.

La première partie du livre de M. Coffignal est consacrée aux *Verres*. Composition, propriétés physiques et chimiques et analyse des verres, des fours de fusion, produits réfractaires et préparation des pâtes, procédés de façonnage du verre, produits spéciaux, et compositions vitrifiables : verres solubles, verres de Bohême, cristal, verres d'optique, décoration du verre.

La deuxième partie est consacrée aux *Émaux et glaçures*. Composition, matières premières et propriétés des glaçures, fabrication et pose des glaçures, emploi des émaux.

**Technologie de la Céramique**, par E.-S. AUSCHER, ingénieur des arts et manufactures. 1901, 1 vol. in-16, avec 93 figures, cartonné..... 5 fr.

Classification des poteries. — Argiles, feldspaths, kaolins, quartz, craie, pâtes et couvertes, outillage céramique, préparation des pâtes, façonnage des pièces, préparation des couvertes et émaux, émaillage, séchage et cuisson, encastage, enfournement, fours sans foyer, — à foyers, — à gazogènes, moules, fours d'essais, décoration des poteries, décors de grand feu et au feu de moufle, colorants céramiques.

**Les Industries céramiques**, par E.-S. AUSCHER. 1901, 1 vol. in-16, avec 53 figures, cartonné..... 5 fr.

Histoire de la céramique. — Poteries non vernissées poreuses. — Terres cuites. — Briques. — Tuiles. — Tuyaux. — Jarres. — Cuviers. — Alcarazzas. — Pots à fleurs. — Pipes en terre. — Filtres. — Carreaux. — Poteries vernissées à pâte poreuse. — Poteries lustrées. — Faïences stannifères. — Majoliques. — Faïences à vernis transparents. — Couvertes. — Faïences fines. — Poteries vernissées à pâte non poreuse. — Grès. — Porcelaines. — Porcelaines dures. — Porcelaines de Sèvres. — Porcelaines ordinaires. — Porcelaines orientales. — Porcelaines tendres. — Poteries non vernissées à pâte non poreuse. — Biscuits.

## **La Bière et l'Industrie de la Brasserie,**

par PAUL PETIT, professeur à la Faculté des Sciences, directeur de l'École de brasserie de Nancy, 1895, 1 vol. in-16 de 420 pages, avec 74 figures, cartonné..... 5 fr.

Matières premières : Maltage. — Etude de l'eau, du houblon, de la poix — Brassage : Cuisson et houblonnage, refroidissement et oxygénation des moûts. — Fermentation. — Maladies de la bière. — Contrôle de fabrication. — Consommation et valeur alimentaire de la bière. — Installation d'une brasserie. — Enseignement technique.

---

## **Chimie du Distillateur, matières premières et produits**

*de fabrication*, par P. GUICHARD, ancien chimiste de distillerie, 1895, 1 vol. in-16 de 408 pages, avec 75 figures, cartonné.... 5 fr.

Ce volume a pour objet l'étude chimique des matières premières, et des produits de fabrication de la distillerie. M. Guichard étudie successivement les éléments chimiques de la distillerie, leur composition et leur essai industriel.

---

## **Microbiologie du Distillateur, ferments et fermentations,**

par P. GUICHARD, 1895, 1 vol. in-16, de 392 pages, avec 106 figures et 38 tableaux, cartonné..... 5 fr.

Historique des fermentations; matières albuminoïdes; ferments solubles, diastases, zymases ou enzymes; ferments figurés et levures; fermentations; composition et analyse industrielle des matières fermentées, malt, moûts, drèches, etc. Tableaux de la force réelle, des spiritueux, du poids réel d'alcool pur, des richesses alcooliques, etc.

---

## **L'Industrie de la Distillation, levures et alcools,**

par P. GUICHARD, 1897, 1 vol. in-16 de 415 pages, avec 138 figures, cartonné..... 5 fr.

Fabrication des liquides sucrés par le malt et par les acides. — Fermentation de grains, pommes de terre, mélasses, etc. — Industrie de la levûre de brasserie, de distillerie et levure pure. — Fabrication de l'alcool; grains, pommes de terre, mélasses. — Distillation et purification de l'alcool. — Applications: levûres, alcools, résidus.

Placé pendant longtemps à la tête du laboratoire d'une fabrique de levure, M. Guichard a pu apprécier les besoins de cette grande industrie, et le traité qu'il publie aujourd'hui y donne satisfaction, en mettant à la portée des industriels, sous une forme simple, quoique complète, les travaux les plus récents des savants français et étrangers.

---

## **Le Sucre et l'Industrie sucrière,**

par PAUL HORSIN-DÉON, ingénieur-chimiste, 1895, 1 vol. in-16 de 495 pages, avec 83 figures, cartonné..... 5 fr.

Ce livre passe en revue tout le travail de la sucrerie, tant au point de vue pratique de l'usine, qu'au point de vue purement chimique du laboratoire; c'est un exposé au courant des plus récents perfectionnements. Voici le titre des différents chapitres:

La betterave et sa culture. — Travail de la betterave et extraction du jus par pression et par diffusion, travail du jus, des écumes et des jus troubles, filtration, évaporation cuite. — Appareils d'évaporation à effets multiples. — Turbinage. — Extraction du sucre de la mélasse. — Analyses. — Sucre de canne ou saccharose. — Glucose, lévulose et sucre interverru. — Analyse de la betterave, des jus, des écumes, des sucres, des mélasses, etc. — Le sucre de canne, culture et fabrication. — Raffinages des sucres.

---

**Savons et Bougies**, par JULIEN LEFÈVRE, agrégé des sciences physiques, professeur à l'École des sciences de Nantes, 1894, 1 vol. in-16 de 424 pages, avec 116 figures, cartonné ..... 5 fr.

M. Lefèvre expose d'abord les notions générales sur les corps gras neutres.

Il traite ensuite de la savonnerie et décrit les matières premières, les procédés de fabrication, les falsifications et les modes d'essai. La seconde partie entient la fabrication des chandelles, (moulage des bougies stéariques, fabrication des bougies colorées, creuses, enroulées, allumettes-bougies, etc.). fabrication de la glycérine.

Dans les deux industries, l'auteur s'est appliqué à faire connaître les méthodes et les appareils les plus récents et les plus perfectionnés.

**Couleurs et Vernis**, par G. HALPHEN, chimiste au Ministère du commerce, 1894, 1 vol. in-16 de 388 pages, avec 29 figures, cartonné ..... 5 fr.

Ce livre présente l'ensemble des connaissances générales relatives à la fabrication des couleurs et vernis, tant au point de vue technique que dans leurs rapports avec l'art, l'industrie et l'hygiène.

On trouvera réunis dans ce volume tous les renseignements qui peuvent guider l'artiste ou l'artisan dans le choix des substances qu'il veut employer et le fabricant dans les manipulations qu'entraîne leur préparation. Il a été suivi une marche uniforme à propos de chaque couleur: la synonymie, la composition chimique, la fabrication, les propriétés et les usages. L'auteur a pu recueillir auprès des industries un grand nombre de renseignements pratiques sur les procédés les plus employés.

**Les Parfums artificiels**, par Eug. CHARABOT, chimiste industriel, professeur d'analyse chimique à l'École commerciale de Paris, 1899, 1 vol. in-16 de 300 pages, avec 25 figures, cartonné 5 fr.

Les parfums synthétiques qui, incontestablement, présentent le plus d'intérêt au point de vue de leurs applications sont: le terpinéol, la vanilline, l'héliotropine, l'ionone, le musc artificiel. Ce sont eux qui ont droit au plus grand développement.

Toutefois l'auteur étudie en outre plusieurs principes naturels à composition définie (linalol, bornéol, safrol) qui servent de matières premières pour la préparation de substances odorantes.

Ce livre rendra service aux chimistes, aux industriels, aux experts.

**Cuir et Peaux**, par H. VOINESSON DE LAVELINES, chimiste au Laboratoire municipal, 1894, 1 vol. in-16 de 451 pages, avec 88 figures, cartonné ..... 5 fr.

M. Voinesson de Lavelines passe d'abord en revue les peaux employées dans l'industrie des cuirs et peaux, puis les produits chimiques usités en hongroirie et mégisserie, les végétaux tannants et les matières tinctoriales pour les peaux et la maroquinerie. Vient ensuite la préparation des peaux brutes pour cuirs forts, le tannage des cuirs forts et la fabrication des cuirs mous. Les chapitres suivants sont consacrés à l'industrie du corroyeur, qui donne aux peaux les qualités spéciales, nécessaires suivant les industries qui les emploient: cordonniers, bourrelliers, selliers, carrossiers, relieurs, etc. L'art de vernir les cuirs, est décrit très complètement. Viennent ensuite la hongroirie, la mégisserie, la chamoiserie et la buffletterie. L'ouvrage se termine par la maroquinerie, l'impression et la teinture sur cuir, la parcheminerie et la ganterie.

**L'industrie et le Commerce des Tissus**, en France et dans les différents pays, par G. JOULIN, chimiste au Laboratoire municipal, 1895, 1 vol. in-16 de 346 pages, avec 76 fig., cartonné ..... 5 fr.

Après avoir décrit les opérations préliminaires du tissage et les opérations spéciales pour étoffes façonnées, M. Joulin consacre des chapitres distincts au coton (filature et tissus de cotons, tissus unis, croisés, façonnés, velours, bonneterie, etc.) au lin, au jute, au chanvre, à la ramie, et à la laine (filature, travail de la laine à cardes et à peigne, draperie, reps, étamine, alpaga, barège, mérinos, velours, peluche, tapis, passementerie, vêtement, etc.).

**L'Eau dans l'Industrie**, par P. GUICHARD, 1894, 1 vol. in-16 de 417 pages, avec 80 figures, cartonné..... 5 fr.

M. Guichard s'occupe d'abord de l'analyse chimique, microscopique et bactériologique de l'eau, puis de la purification des eaux naturelles, par les procédés physiques ou chimiques. Il passe en revue les différentes espèces d'eaux employées; puis il étudie la fabrication et l'emploi de la glace, et l'emploi de l'eau à l'état liquide dans les industries alimentaires, dans la teinturerie, la papeterie, les industries chimiques, etc. Il traite ensuite des eaux résiduaires et de leur purification.

**L'Eau potable**, par F. COREIL, directeur du laboratoire municipal de Toulon, 1896, 1 vol. in-16 de 359 pages, avec 136 figures, cartonné..... 5 fr.

Éléments et caractères de l'eau potable. Analyse chimique, prise d'échantillon, analyse qualitative et quantitative. Examen microscopique. Analyse bactériologique. Amélioration et stérilisation des eaux.

**Les Eaux d'Alimentation**, épuration, filtration, stérilisation, par Éd. GUINOCHE, pharmacien en chef de l'hôpital de la Charité, 1894, 1 vol. in-16 de 370 pages, avec 52 fig., cart. 5 fr.

I. *Filtration centrale*: Galeries filtrantes, filtres à sable, puits Lefort, procédés industriels. — II. *Filtration domestique*: Epuration par les substances chimiques, filtres domestiques. Nettoyage et stérilisation des filtres (Nettoyeur André, Expériences de M. Guinochet, stérilisation des bougies filtrantes). — III. *Stérilisation par la chaleur*: Action de la chaleur, appareils stérilisateurs.

**L'Industrie du Blanchissage** et les blanchisseries, par A. BAILLY, 1895, 1 vol. in-16 de 383 p., avec 106 fig., cart. 5 fr.

Ce livre est divisé en trois parties: 1° le blanchiment des tissus neufs, des fils et des cotons; 2° le blanchissage domestique du linge dans les familles; 3° le blanchissage industriel. L'ouvrage débute par une étude des matières premières employées dans cette industrie. A la fin sont groupés les renseignements sur les installations et l'exploitation moderne des usines de blanchisseries: on y trouvera décrite: 1° l'installation et l'organisation des lavoirs publics; 2° les blanchisseries spéciales du linge des hôpitaux, des restaurants, des hôtels à voyageurs, des établissements civils et militaires; 3° la manière d'établir la comptabilité du linge à blanchir; 4° les relations entre la direction des usines, leur personnel et leur clientèle.

**L'industrie de la Soude**, par G. HALPHEN, 1895, 1 vol. in-16 de 368 pages, avec 91 figures, cartonné..... 5 fr.

Cet ouvrage renferme: 1° L'exposé des propriétés et des modes d'extraction des matières premières; 2° L'étude des anciennes méthodes de fabrication de la soude; 3° Un examen détaillé des procédés actuellement en usage dans les soudières, ce qui a nécessité les études spéciales de la fabrication du sulfate de soude, de la condensation de l'acide chlorhydrique, de la régénération de l'ammoniaque et du chlore dans le procédé à l'ammoniaque, de celle du soufre dans les marcs ou charrées de soude Leblanc; 4° Les notions relatives à la fabrication de la soude caustique; 5° Les principes généraux de fabrication de la soude par la cryolithe et les sulfures doubles.



## L'Électricité à la maison, par J.-A. MONTPELLIER, rédacteur en chef de l'*Electricien*, 1902, 1 vol. in-16 de 346 pages, avec 283 figures, cartonné..... 4 fr.

En publiant « L'Électricité à la maison », M. Montpellier a cherché à expliquer à tous d'une manière aussi précise et aussi claire que possible, le fonctionnement des nombreux appareils électriques que l'on trouve aujourd'hui dans toute maison moderne et qui nous rendent des services si appréciables. Les premiers chapitres donnent toutes les indications utiles sur les sources d'énergie électrique, soit qu'on la produise chez soi avec des piles ou des dynamos, soit qu'on l'emprunte à une distribution publique alimentée par une station centrale ou enfin à des accumulateurs.

Un chapitre spécial groupe tous les renseignements pratiques relatifs aux canalisations intérieures de lumière, de sonneries, de téléphones, etc. M. Montpellier décrit ensuite les nombreuses applications de l'électricité à la maison et les divers appareils qui permettent de les réaliser. *L'éclairage* occupe naturellement la première place. Le *chauffage* et la *lumière électriques*, qui entrent de plus en plus dans le domaine de la pratique, ont été l'objet d'un chapitre spécial. Les *sonneries*, les *téléphones domestiques* et de réseau, les *allumeurs*, sont décrits avec des détails suffisants pour permettre à chacun de faire lui-même les installations nécessaires. Le *moteur électrique* n'a pas été oublié, car son rôle dans la maison s'étend de plus en plus pour actionner des machines à coudre, des ventilateurs, des ascenseurs, des pompes, etc. Enfin un dernier chapitre est consacré aux paratonnerres.

## L'Éclairage électrique, générateurs, foyers, distribution, applications, par L. MONTILLOT, directeur de la télégraphie au Ministère des Postes et télégraphes, 1894, 1 vol. in-16 de 408 pages, avec 190 figures, cartonné..... 4 fr.

Permettre aux lecteurs de se rendre un compte exact des procédés mis en œuvre pour obtenir l'éclairage électrique, tel a été le but de ce livre.

L'auteur passe en revue les piles industrielles, les accumulateurs, les machines dynamo-électriques, les régulateurs à arc, les bougies, les lampes à incandescence : les divers systèmes de distribution par courant continu ou par courants alternatifs et transformateurs.

La seconde partie est consacrée aux applications de la lumière électrique, soit à l'éclairage de la voie publique, soit aux manœuvres marines et aux opérations de la guerre, à l'industrie et aux installations domestiques.

## Les Nouveautés électriques, par JULIEN LEFÈVRE, 1 vol. in-16, de 407 pages, avec 156 figures, cartonné... 4 fr.

Cet ouvrage fait connaître les appareils et les applications qui se sont produits récemment tant en France qu'à l'étranger.

On y trouvera, en fait de nouveautés, au point de vue théorique, l'étude des onduations électromagnétiques, celle des courants de haute fréquence, et l'exposé de la découverte des champs tournants et des courants polyphasés. Au point de vue des applications on trouvera toutes les nouveautés relatives au chauffage électrique, à l'éclairage, au théâtrophone, etc.

M. Julien Lefèvre est l'auteur de nombreux ouvrages scientifiques et industriels, d'un *Dictionnaire de l'Industrie*, d'un *Dictionnaire d'électricité*, dont le succès a déjà été consacré par deux éditions et de volumes de l'*Encyclopédie industrielle* et de la *Bibliothèque des Connaissances utiles*, sur les *Moteurs*, le *Chauffage*, l'*Acétylène*, la *Photographie*, les *Savons et Bougies*, etc.

## Le Chauffage et les Applications de la

**chaleur** dans l'industrie et l'économie domestique, par JULIEN LEFÈVRE, professeur à l'École des sciences de Nantes, 1893, 1 vol.

in-16 de 356 pages, avec 188 figures, cartonné..... 4 fr.

La ventilation naturelle, par cheminée chauffée et mécanique. Chauffage par les cheminées et par les poêles, fixes ou mobiles, chauffage des calorifères, par l'air chaud, l'eau chaude, la vapeur, chauffage des cuisines, des bains, des serres, des voitures et des wagons, etc. Transformation des liquides en vapeurs : *distillation, évaporation, séchage et essorage*, désinfection et conservation des matières alimentaires. Production du froid, *fabrication et conservation de la glace.*

## L'Art de l'essayeur, par A. RICHE, directeur des essais

à la Monnaie de Paris, et E. GÉLIS, ingénieur des arts et manufactures, 1888, 1 vol. in-16, de 384 pages, avec 94 figures, cart. 4 fr.

Préparation des matières. Principales opérations : fourneaux ; vases ; agents et réactifs, essais qualificatifs par voie sèche. Argent ; or ; platine ; palladium ; plomb ; mercure ; cuivre ; étain ; antimoine ; arsenic ; bismuth ; nickel ; cobalt ; zinc ; aluminium ; fer. Essai des cendres. Tables pour le calcul des essais d'argent par la méthode de Gay-Lussac.

## Monnaie, médailles et bijoux, essai et contrôle des

ouvrages d'or et d'argent, par A. RICHE. 1889, 1 vol. in-16, de 396 pages, avec 66 figures, cartonné..... 4 fr.

La monnaie à travers les âges ; les systèmes monétaires ; l'or et l'argent ; extraction ; affinage ; fabrication des monnaies ; la fausse monnaie. Les médailles et les bijoux ; titres, poinçons, bigornes, exportation et importation ; ouvrages dorés, argentés, en doublé ; épingles, broches, bracelets ; bureaux de garantie ; inspecteurs, contrôleurs, essayeurs ; la garantie et le contrôle en France et à l'étranger.

## La Pratique des Essais commerciaux et industriels, par G. HALPHEN, chimiste du Ministère du

commerce. 1892-1893, 2 vol. in-16, cartonnés. Chaque..... 4 fr.

Une rédaction concise, l'indication de très nombreux détails pratiques relatifs aux quantités de réactif à employer, à la durée de traitement, l'exposé de toutes les précautions qu'il convient d'observer scrupuleusement pour mener à bien l'analyse entreprise, rendront ces deux volumes également utiles aux personnes qui ne font pas de l'analyse chimique leur occupation habituelle et à celles qui sont familières avec ce genre de travail.

**Matières minérales.** Analyse qualitative et quantitative, 1892, 1 vol.

in-16, de 342 pages, avec 28 figures, cartonné..... 4 fr.

Détermination des bases et des acides. Analyse des silicates. Acidimétrie, alcalimétrie, ammoniacale, soude, potasse, chaux, chlorométrie, fer, cuivre, zinc, plomb, nickel, argent, or, alliages, terres, verres, couleurs, etc.

**Matières organiques.** 1893, 1 vol. in-16, de 351 pages, avec 72 figures,

cartonné..... 4 fr.

Farines et matières amyloacées, poivre, matières sucrées, méthylènes, alcools et eaux-de-vie, kirsch, vins, bière, vinaigre, éther, lait, beurre, fromage, herbes végétales, suifs, savons, glycérol, cires, résines, huiles minérales, huiles industrielles, combustibles, huiles de houille, matières colorantes, engrais, urines, papiers, textiles et tissus, cuir.

**L'Or**, propriétés physiques et chimiques, gisements, extraction, applications, dosage, par L. WEILL, ingénieur des mines. Introduction par U. LE VERRIER, professeur de Métallurgie au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'École des mines, 1896, 1 vol. in-16 de 420 pages, avec 67 figures, cartonné..... 5 fr.  
 Propriétés physiques et chimiques; dosage. Géologie; minerais, gisement. Métallurgie; voie sèche, amalgamation et lixiviation. Elaboration: alliages, frappe des monnaies. Orfèvrerie: argenture. Rôle économique: commerce, statistique, avenir.

**L'Argent**, géologie, métallurgie, rôle économique, par Louis DE LAUNAY, professeur à l'École des mines, 1896, 1 vol. in-16 de 382 pages, avec 80 figures, cartonné..... 5 fr.  
 Propriétés physiques et chimiques. — Gisements: Gisements filoniens; Gisements sédimentaires. — Alluvions aurifères. — Extraction. — Applications. — Orfèvrerie. — Médailles. — Monnaies. — Dosage. — Essai des minerais. — Essai des alliages.

**Le Cuivre**, par PAUL WEISS, 1893, 1 vol. in-16 de 344 pages, avec 86 figures, cartonné..... 5 fr.  
 M. P. Weiss résume en un volume portatif toutes les données actuelles sur les gisements, la métallurgie et les applications du cuivre.  
 Dans une première partie, M. Weiss passe en revue l'origine, les gisements, les propriétés et les alliages du cuivre. Dans la deuxième partie, il passe en revue le grillage des minerais, la fabrication de la matte bronze, la transformation de la matte bronze en cuivre noir, l'affinage du cuivre brut et le traitement des minerais de cuivre par la voie humide.

La troisième partie traite des applications du cuivre, de son marché, de son emploi, de la fabrication et de l'emploi des planches de cuivre (chaudronnerie, etc.), de l'emploi du cuivre en électricité (tréfilerie, etc.), de la fonderie du cuivre et de ses alliages, enfin des bronzes et laitons.

**L'Aluminium**, par A. LEJEAL. Introduction par U. LE VERRIER, professeur à l'École des mines, 1894, 1 vol. in-16 de 357 pages, avec 36 figures, cartonné..... 5 fr.

Le volume débute par un exposé historique et économique. Vient ensuite l'étude des propriétés physiques et chimiques de l'aluminium et de ses sels, l'étude des minerais et de la fabrication des produits aluminiques. Les chapitres suivants sont consacrés à la métallurgie (procédés chimiques, électrothermiques et électrolytiques), aux alliages, aux emplois de l'aluminium, à l'analyse et à l'essai des produits aluminiques, enfin au mode de travail et aux usages de l'aluminium.

Le volume se termine par l'histoire des autres métaux terreux et alcalino-terreux: manganèse, baryum et strontium, calcium et magnésium.

## Les Minéraux utiles et l'Exploitation des

**Mines**, par KNAB, répétiteur à l'École centrale, 1894, 1 vol. in-16 de 392 pages, avec 76 figures, cartonné..... 5 fr.

Dans une première partie, *Gîte des minéraux utiles*, M. Knab expose les faits géologiques qui mènent à la connaissance du gisement des minéraux. Il décrit les gîtes minéraux, les combustibles minéraux, le sel gemme, les minerais, les mines de la France et des colonies et expose les principes qui doivent guider pour la reconnaissance des mines.

La seconde partie, *Exploitation des minéraux utiles*, traite de l'attaque de la masse terrestre (*abatage, voies de communication, exploitation*), et des transports de toute nature effectués dans le sein de la terre (*épuisement, aérage, extraction*). L'*éclairage*, la *descente des hommes*, les *accidents des mines* forment sous le titre de *Services divers* un groupe à part. Enfin, sous le nom de *Préparation mécanique des minerais*, l'auteur suit les minerais au-delà de l'instant où ils ont été amenés au jour, en vue de les livrer aux usines dans un état mieux approprié aux opérations à subir.

**Précis de Physique industrielle**, par H. PÉCHEUX, professeur à l'École pratique de commerce et d'industrie de Limoges. Introduction par M. PAUL JACQUEMART, inspecteur général de l'enseignement technique, 1899, 1 vol. in-16 de 570 pages, avec 646 figures, cartonné..... 6 fr.

Le livre de M. Pécheux, répondant exactement au programme de physique des Écoles pratiques de commerce et d'industrie, est appelé à rendre d'utiles services aux élèves des Ecoles pratiques et à tous les jeunes gens qui se destinent à l'industrie et qui doivent se familiariser avec les grands phénomènes physiques qu'ils sont exposés à rencontrer, dans tous les ateliers, en même temps qu'à toute une catégorie de jeunes gens mis dans l'impossibilité de suivre leur enseignement.

**Traité d'Électricité industrielle**, par R. BUSQUET, professeur à l'École industrielle de Lyon, 1900, 2 vol. in-16 de 500 pages chacun, avec 400 figures, cartonné..... 12 fr.

Il n'existait pas encore un véritable livre d'initiation qui permit d'aborder les questions d'électricité industrielle sans avoir fait au préalable des études spéciales. C'est cette lacune que l'auteur s'est proposé de combler voulant exposer simplement et sans le secours des hautes mathématiques les phénomènes électriques, sans rien sacrifier toutefois des principes exacts qui servent de base à l'électricité industrielle.

**Le Monteur électricien**, par E. BARNI, ingénieur-électricien et A. MONTPELLIER, rédacteur en chef de *l'Electricien*. 1900, 1 vol. in-16 de 500 pages, avec 120 figures, cartonné..... 5 fr.

Dynamos. — Lampes à arc et à incandescence. — Appareils auxiliaires. — Lignes aériennes et souterraines. — Canalisations intérieures. — Calculs et essais des conducteurs. — Accumulateurs. — Courant alternatif et courants polyphasés. — Distribution de l'énergie électrique. — Moteurs.

**La Galvanoplastie, le nickelage, l'argenture, la dorure, l'électrometallurgie et les applications chimiques de l'électrolyse**, par E. BOUANT, agrégé des sciences physiques, 1894, 1 vol. in-16 de 400 pages, avec 52 figures, cartonné..... 5 fr.

I. *Notions générales sur l'électrolyse*: Unités pratiques de mesure. Sources d'électricité employées dans les opérations électrolytiques. Piles, accumulateurs, machines électrolytiques. — II. *Galvanoplastie*. Moulage. Disposition des baigns, formation du dépôt, électrotypie. — III. *Electrochimie*: Décapage, cuivrage, argenture, dorure. Dépôt de divers métaux, coloration et ornementation par les dépôts métalliques. — IV. *Electrometallurgie*. — V. *Applications chimiques de l'électrolyse*: Epuration des eaux, désinfection, blanchiment, fabrication du chlore, tannage, préparation de l'oxygène, etc.

**La Traction mécanique et les Voitures automobiles**, par G. LEROUX et A. REVEL, ingénieurs du service de la traction mécanique à la Compagnie générale des Omnibus. 1900, 1 vol. in-16 de 394 pages, avec 108 figures, cartonné. 5 fr.

Les auteurs ont d'abord consacré un chapitre spécial à l'examen des organes qui sont communs à tous les systèmes. Puis ils passent en revue les TRAMWAYS A VAPEUR, A AIR COMPRIMÉ ET A GAZ, les TRAMWAYS ÉLECTRIQUES et les TRAMWAYS FUNICULAIRES. Les trois derniers chapitres sont consacrés AUX VOITURES AUTOMOBILES, voitures à vapeur, voitures à essence de pétrole et voitures électriques, et à la description des principaux types d'automobiles.

**Chaux et Ciments**, par T. LEDUC, directeur technique du laboratoire de contrôle des usines et des essais des chaux et ciments du service du génie militaire. 1902, 1 vol. in-16 de 350 pages, avec figures, cartonné..... 5 fr.

**L'Industrie des Matières colorantes**, par J. DUPONT, professeur à l'Institut commercial, chargé de conférences technologiques à l'École de physique et de chimie industrielles. Préface par Ch. LAUTH, directeur de l'École de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris. 1902, 1 vol. in-16 de 364 pages, avec 31 figures, cartonné..... 5 fr.

Matières colorantes naturelles : Bois de teinture, préparation des extraits. Autres matières végétales : indigo, pastel, garance, gaude, rocou, carthame, orseille, etc. Matières colorantes animales.

Matières colorantes artificielles. Le goudron de houille, traitement, examen des matières premières, produits intermédiaires. Matières diverses : dérivés nitrés, azoïques. Colorants azoïques, hydrazoniques, nitrosés. Dérivés de l'anthracène, du diphenylméthane et du triphenylméthane, de la quinone-imide, etc.

Applications des matières colorantes : les fibres textiles, teinture directe, application sur mordants, formation de la couleur sur la fibre.

**La Machine à vapeur**, par A. WITZ, docteur en sciences, ingénieur des arts et manufactures. 2<sup>e</sup> édition entièrement refondue, 1902, 1 vol. in-16 de 350 p., avec 100 fig., cartonné. 5 fr.

Théorie générale et expérimentale de la machine à vapeur. Détermination de la puissance des machines. Classification des machines à vapeur. Distribution par tiroir et à déclivité. Organes de la machine à vapeur. Types de machines, machines à grande vitesse, horizontales et verticales. Machines locomobiles demi-fixes et servo-moteurs, machines compactes, machines rotatives et turbo-moteurs.

**Les Chemins de fer**, par A. SCHOELLER, ingénieur des arts et manufactures, inspecteur de l'exploitation du chemin de fer du Nord. 2<sup>e</sup> édition, 1902, 1 vol. in-16 de 384 pages, avec 96 figures, cartonné..... 5 fr.

Construction, exploitation, traction. La voie, les gares, les signaux, les appareils de sécurité, la marche des trains, la locomotive, les véhicules, les chemins de fer métropolitains, — de montagne, — à voie étroite. Les tramways et les chemins de fer électriques

**L'Acétylène**, par J. LEFÈVRE, professeur à l'École des sciences de Nantes. 1897, 1 vol. in-16 de 400 pages, avec figures, cartonné..... 5 fr.

Le carbure de calcium, préparation et fabrication industrielle, propriétés, rendement. Préparation de l'acétylène. Générateurs divers. Acétylène liquide, dissous. Impuretés et purification. Propriétés chimiques. Éclairage : brûleurs, lampes, etc. Chauffage et force motrice. Applications chimiques. Inconvénients : toxicité, explosibilité. Règlements.

## ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQUE ET COMMERCIALE

Par E. D'HUBERT

PROFESSEUR A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE COMMERCE DE PARIS

*Collection nouvelle en 24 vol. in-16 de 100 p. avec fig., cart. à 1 fr. 50*  
Souscription aux 24 volumes..... 32 fr.

### I. — LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION ET D'ORNEMENTATION

1. — Le bois et le liège.
2. — Les pierres, les chaux et mortiers, le plâtre.
3. — Les produits céramiques, les verres, les cristaux.
4. — Le diamant et les pierres précieuses.

### II. — LA MÉTALLURGIE

5. — Les minerais, les métaux, les alliages.
6. — Les fers, fontes et aciers.
7. — Les métaux usuels (cuivre, zinc, étain, plomb, nickel, aluminium).
8. — Les métaux précieux (mercure, argent, or, platine).

### III. — LA GRANDE INDUSTRIE CHIMIQUE

9. — Les matières premières (eau, glace, combustibles).
10. — Les matières éclairantes (pétrole, gaz d'éclairage, acétylène).
11. — Le sel marin, les sodes, les potasses.
12. — Les acides chlorhydrique, sulfurique, azotique.

### IV. — LES PRODUITS CHIMIQUES

13. — L'oxygène, les acides, l'ammoniaque, les aluns, les vitriols.
14. — Le salpêtre, les explosifs, les phosphates et les engrais, le phosphore et les allumettes.
15. — Les couleurs, les matières colorantes, la teinturerie.
16. — Les parfums, les médicaments, les produits photographiques.

### V. — LES PRODUITS INDUSTRIELS ANIMAUX ET VÉGÉTAUX

17. — Les corps gras, savons et bougies.
18. — Le cuir, les os, l'ivoire, l'écaille, les perles.
19. — Les textiles, les tissus, le papier.
20. — Le caoutchouc, la gutta, le cellulose, les résines et les vernis.

### VI. — LES PRODUITS ALIMENTAIRES

21. — Les aliments animaux (viande, œufs, lait, fromages).
22. — Les aliments végétaux (herbages, fruits, féculs, pain).
23. — Les boissons (vin, bière, vinaigre, alcools, liqueurs).
24. — Les sucres, le cacao, le café, le thé.

**Le Dessin et la Peinture**, par Ed. CUYER, professeur à l'École nationale des Beaux-Arts, professeur aux Écoles de la ville de Paris, 1893, 1 vol. in-16 de 304 pages, avec 246 figures.... 4 fr.

Le dessin fait partie des connaissances qu'il est nécessaire d'acquérir. Il est utile à l'artisan pour faire un modèle; au savant pour l'aider à se faire comprendre dans ses cours, par le dessin au tableau; au voyageur pour prendre un croquis des paysages, etc. Maintenant que tout le monde sait écrire, tout le monde devrait savoir dessiner.

Le plan suivi dans ce volume est celui que l'on met en pratique dans l'enseignement, depuis l'École primaire jusqu'aux Écoles d'art. M. CUYER s'occupe successivement du *dessin linéaire géométrique*; du *dessin géométral*, du *dessin perspectif* et de la *perspective d'observation*. Il s'occupe ensuite de la peinture, des *luis physiques*, de la *chimie*, des *couleurs* et des différents procédés de peinture: *pastel*, *gouache*, *aquarelle*, *huile*.

Ouvrage recommandé par le Ministère de l'Instr. publ. pour les biblioth. des lycées et distrib. de prix.

**La Soie**, au point de vue scientifique et industriel, par L. VIGNON, maître de conférences à la Faculté des sciences, sous-directeur de l'École de chimie industrielle de Lyon. 1890, 1 vol. in-16 de 359 pages, avec 81 figures, cartonné..... 4 fr.

Le ver à soie; le ver; la chrysalide; le papillon; la sériciculture et les maladies du ver à soie; la soie; le triage et le dévidage des cocons; étude physique et chimique de la soie grège; le moulinage; les déchets de soie et l'industrie de la schappe; les soieries; essais, conditionnement et titrage; la teinture; le tissage; finissage des tissus; impression; apprêts; classification des soieries; l'art dans l'industrie des soieries; documents statistiques sur la production des soies et soieries.

**Les Matières colorantes et la chimie de la teinture**, par L. TASSART, ingénieur, répétiteur à l'École centrale des arts et manufactures, chimiste de la Société des matières colorantes et produits chimiques de Saint-Denis (Établissements POIRRIER et DALSACE), 1890, 1 vol. in-16, de 296 pages, avec 26 figures, cartonné..... 4 fr.

Matières textiles: fibres d'origine végétale, coton, lin, chanvre, jute, ramie; fibres d'origine animale, laine et soie; matières colorantes minérales, végétales et animales; matières tannantes; matières colorantes artificielles; dérivés du triphényl-méthane, phtaléines; matières colorantes nitrées et azoïques, indo-pbénols, safranines, alizarines, etc.; analyse des matières colorantes; mordants d'alumine, de fer, de chrome, d'étain, etc.; matières employées pour l'apprêt des tissus; des eaux employées en teinturerie et de leur épuration.

**L'Industrie de la teinture**, par L. TASSART, 1890, 1 vol. in-16, de 305 pages, avec 55 figures, cartonné..... 4 fr.

Le blanchiment du coton, de la laine et de la soie; le mordantage; la teinture à l'aide des matières colorantes artificielles (matières colorantes dérivées du triphénylméthane, phtaléines; matières colorantes artificielles, safranine, alizarine, etc.); de l'échantillonnage; manipulation et matériel de la teinture; des fibres textiles, des fils et des tissus; rinçage, essorage, séchage, apprêts, cylindrage, calendrage, glaçage, etc.

## L'Industrie des fleurs artificielles et des fleurs

avec un outillage spécial et divers procédés de fabrication des divers fleurs, fleurs en tricot, fruits et fleurs en cire, fleurs en coquillage, fleurs en perles, empreintes et moulages de feuilles et de fleurs, fleurs conservées, naturalisées et desséchées, par A. BLANCHON, 1900. 1 vol. in-16 de 300 pages avec 134 figures, cartonné... 4 fr.

M. Blanchon étudie d'abord les fleurs artificielles. Si cette industrie occupe de grands ateliers et fait vivre d'importantes maisons de commerce, elle peut devenir entièrement familiale et, avec un peu d'adresse et de goût, avec un outillage des plus restreints, chacun, en suivant les indications de l'auteur, peut produire des copies de toutes les fleurs; on y trouvera un charmant passe-temps qui peut devenir très productif.

L'auteur décrit ensuite comment on peut produire les mêmes fleurs avec d'autres matériaux et des plus divers : papier, laine tricotée, cire, perles, coquillages, il n'oublie point les empreintes et les moulages, ainsi que les procédés électrotypiques qui donnent à tous les végétaux une durée indéfinie en même temps qu'un aspect métallique.

Enfin, il s'arrête longtemps sur les plantes et fleurs desséchées, il s'étend longuement sur les diverses manières d'opérer, il indique tout le parti que l'on peut tirer des fleurs et des plantes ainsi conservées, elles servent non seulement à la confection des bouquets perpétuels, des couronnes mortuaires, mais à des décorations de meubles, de panneaux, de tentures, de reliures aussi artistiques qu'originales. Il termine par la curieuse application des baies et fruits desséchés dans l'art du tapissier et du passementier.

## La Plume des oiseaux, par LACROIX-DANLIARD, his-

toire naturelle, habitat, mœurs, chasse et élevage des oiseaux dont la plume est utilisée dans l'industrie du plumassier, préparation et mise en œuvre de la plume, usages, parure et habillement, conservation, statistique, pays de provenance et principaux marchés, 1891, 1 vol. in-16, de 368 pages, avec 94 figures, cartonné. 4 fr.

Le nombre des oiseaux dont les plumes ou le duvet sont utilisés dans l'industrie du plumassier est considérable. L'auteur esquisse à grands traits leur physiologie, leurs mœurs, leur habitat, le mode de propagation et d'élevage, les moyens de capture et de destruction. M. Lacroix-Danliard traite successivement de la préparation et de la mise en œuvre de leurs dépouilles, leurs différentes applications, les procédés qui servent à en assurer la préservation et la conservation, la nomenclature des principaux marchés, l'état des prix de revient, enfin la situation du commerce d'importation et d'exportation qui se rattache à ces différents produits.

## Le Poil des animaux et les fourrures, par

LACROIX-DANLIARD, histoire naturelle, habitat, mœurs et chasse des animaux à fourrures, industrie des pelleteries et fourrures, principaux marchés, préparation, mise en œuvre, conservation, poils et laines, industrie de la chapellerie et de la broserie, etc., 1892, 1 vol. in-16 de 419 pages avec 79 figures cartonné..... 4 fr.

La structure, la forme et la coloration du poil des animaux sont d'abord examinées; puis les poils sont classés, d'après leur origine, leur consistance et les usages auxquels ils sont employés. Les poils et les duvets qui alimentent le commerce du pelletier et du fourreur; les poils que l'on file; ceux que l'on tisse; les laines que l'on carde ou celles que l'on peigne; le feutre et les chapeaux; les soies, les crins et leurs usages respectifs dans la broserie, la bourrelerie et l'ameublement sont autant de sujets de développement.

En dehors de cette partie technique, l'auteur insiste sur la description de l'habitat, les mœurs, la chasse des animaux qui fournissent la matière première; il indique les lieux de production, les marchés, les prix de revient, enfin, les parasites qui s'attaquent aux produits bruts ainsi qu'aux objets fabriqués, et les moyens de les combattre.



# Bibliothèque des Connaissances Utiles

à 4 francs le volume cartonné

Collection de volumes in-16 illustrés d'environ 400 pages

- Auscher.** *L'art de découvrir les sources.*  
**Aygalliers (P. d'). *L'olivier et l'huile d'olive.*  
**Barré. *Manuel de génie sanitaire, 2 vol.*  
**Baudoin (A.). *Les eaux-de-vie et le cognac.*  
**Bachelet. *Conseils aux mères,*  
**Beauvisage. *Les matières grasses.*  
**Bel (J.). *Les maladies de la vigne.*  
**Bellair (G.). *Les arbres fruitiers.*  
**Berger (E.). *Les plantes potagères.*  
**Blanchon. *Canards, oies, cygnes.*  
— *L'art de détruire les animaux nuisibles.*  
— *L'industrie des fleurs artificielles.*  
**Bois (D.). *Les orchidées.*  
— *Les plantes d'appartements et de fenêtrés.*  
— *Le petit jardin.*  
**Bonriier. *Les industries des abattoirs.*  
**Brévans (de). *La fabrication des liqueurs.*  
— *Les conserves alimentaires.*  
— *Les légumes et les fruits,*  
— *Le pain et la viande,*  
**Brunel. *Les nouveautés photographiques.*  
— *Carnet-Agenda du Photographe.*  
**Buchard (J.). *Le matériel agricole.*  
— *Les constructions agricoles.*  
**Cambon (V.). *Le vin et l'art de la vinification.*  
**Champetier. *Les maladies du jeune cheval.*  
**Coupin (H.). *L'aquarium d'eau douce.*  
— *L'amateur de coléoptères.*  
— *L'amateur de papillons.*  
**Cuyer. *Le dessin et la peinture.*  
**Dalton. *Physiologie et hygiène des écoles.*  
**Denaiffe. *La culture fourragère.*  
**Donné. *Conseils aux mères.*  
**Dujardin. *L'essai commercial des vins.*  
**Dupont. *L'âge du cheval.*  
**Durand (E.). *Manuel de viticulture.*  
**Dussac (E.). *Les ennemis de la vigne.*  
**Espanet (A.). *La pratique de l'homœopathie.*  
**Ferrand (E.). *Premiers secours en cas d'accidents.*  
**Ferville (E.). *L'industrie laitière.*  
**Pontan. *La santé des animaux.*  
**Fitz-James. *La pratique de la viticulture.*  
**Gallier. *Le cheval anglo-normand.*  
**Girard. *Manuel d'apiculture.*  
**Gobin (A.). *La pisciculture en eaux douces.*  
— *La pisciculture en eaux salées.*  
**Gonrret. *Les pêcheries de la Méditerranée.*  
**Graffignay (H. de). *Les industries d'amateurs.*  
**Gunther. *Médecine vétérinaire homœopathique.*  
**Guyot (E.). *Les animaux de la ferme.*  
**Halphen (G.). *La pratique des essais commerciaux, 2 vol.*  
**Héraud. *Les secrets de la science et de l'industrie.*  
— *Les secrets de l'alimentation.*  
— *Les secrets de l'économie domestique.*  
— *Jeux et récréations scientifiques.*  
**Lacroix-Danliard. *La plume des oiseaux.*  
— *Le poil des animaux et fourrures.*  
**Larhalétrier (A.). *Les engrais.*  
**Leblond et Bouvier. *La gymnastique.*  
**Lefèvre (J.). *Les nouveautés électriques.*  
— *Le chauffage.*  
— *Les moteurs.*  
**Locard. *Manuel d'ostréiculture.*  
— *La pêche et les poissons d'eau douce.*  
**Londe (A.). *Aide-mémoire de Photographie.*  
**Montillot (L.). *L'éclairage électrique.*  
— *L'amateur d'insectes.*  
— *Les insectes nuisibles.*  
**Montserrat et Brissac. *Le gaz.*  
**Moreau (H.). *Les oiseaux de volière.*  
**Moquin-Tandon. *Botanique médicale*  
**Piessé (L.). *Histoire des parfums.*  
— *Chimie des parfums et essences.*  
**Pertus (J.). *Le chien.*  
**Poutiers. *La menuiserie.*  
**Reller (L.). *Guide pratique de l'élevage du cheval.*  
**Riobe (A.). *L'art de l'essayeur.*  
— *Monnaies, médailles et bijoux.*  
**Rémy Saint-Loup. *Les oiseaux de parcs.*  
— *Les oiseaux de basse-cour.*  
**Rouvier. *Hygiène de la première enfance.*  
**Schrihaux et Nanot. *Botanique agricole.*  
**Sauvaigo (E.). *Les cultures méditerranéennes.*  
**Saint-Vincent (D' de). *Médecine des familles.*  
**Tassar. *L'industrie de la teinture.*  
— *Les matières colorantes.*  
**Thierry. *Les vaches laitières.*  
**Vignou (L.). *La soie.*  
**Vilmorin (Ph. de). *Manuel de floriculture.***

## Les Secrets de la science et de l'industrie.

Recettes, formules et procédés d'une utilité générale et d'une application journalière, par A. HÉRAUD, pharmacien en chef de la marine, professeur à l'École de médecine navale de Toulon. 1888, 1 vol. in-16 de 336 pages, avec 163 figures, cartonné..... 4 fr.

L'électricité ; les machines ; les métaux ; le bois ; les tissus ; la teinture ; les produits chimiques ; l'orfèvrerie ; la céramique ; la verrerie ; les arts décoratifs ; les arts graphiques.

---

## Les Secrets de l'économie domestique,

à la ville et à la campagne. Recettes, formules et procédés d'une utilité générale et d'une application journalière, par le professeur A. HÉRAUD. 1889, 1 vol. in-16 de 384 pages, avec 241 figures, cartonné..... 4 fr.

L'habitation ; le chauffage ; les meubles ; le linge ; les vêtements ; la toilette et l'entretien, le nettoyage et la réparation des objets domestiques ; les chevaux ; les voitures ; les animaux et les plantes d'appartements ; la serre et le jardin ; la destruction des animaux nuisibles.

---

## Les Secrets de l'alimentation. Recettes, formules

et procédés d'une utilité générale et d'une application journalière, par le professeur A. HÉRAUD. 1890, 1 vol. in-16 de 428 pages, avec 221 figures, cartonné..... 4 fr.

Le pain, la viande, les légumes, les fruits ; l'eau, le vin, la bière, les liqueurs, la cave, la cuisine, l'office, le fruitier, la salle à manger, etc.

---

Ces trois ouvrages de M. le professeur Héraud contiennent une foule de renseignements que l'on ne trouverait qu'en consultant un grand nombre d'ouvrages différents. C'est une petite encyclopédie qui a sa place marquée dans la bibliothèque de l'industriel et du campagnard. M. Héraud met à contribution toutes les sciences pour en tirer les notions pratiques qui peuvent être utiles. De là, des recettes, des formules, des conseils de toute sorte et l'énumération de tous les procédés applicables à l'exécution des diverses opérations que l'on peut vouloir tenter soi-même.

---

## Jeux et récréations scientifiques. Applications

usuelles des mathématiques, de la physique, de la chimie et de l'histoire naturelle, par le professeur A. HÉRAUD. 1893, 1 vol. in-16 de 636 pages, avec 297 figures, cartonné..... 4 fr.

Les infiniment petits, la microscopie, récréations botaniques, illusions des sens, les trois états de la matière, les propriétés des corps, les forces et les actions moléculaires, équilibre et mouvement des fluides, la chaleur, le son, la lumière, l'électricité statique, le magnétisme, l'électricité dynamique, récréations chimiques, les gaz, les combustions, les corps explosifs, la cristallisation, les précipités, les liquides colorés, les décorations, les écritures secrètes, récréations mathématiques, propriétés des nombres, le jeu du Taquin, récréations astronomiques et géométriques, jeux mathématiques et jeux de hasard.

Ouvrages recommandés par le Ministre de l'Instruction publique pour les bibliothèques populaires.

---

## L'Élevage du Cheval et du Gros Bétail

en Normandie, par G. GUÉNAUX, répétiteur à l'Institut national agronomique. 1 vol. in-16 de 300 pages, avec 70 figures, cart. 4 fr.

La Normandie a toujours été au premier rang pour l'élevage des animaux et les produits qui en dérivent. Les chevaux et les bovidés principalement s'y trouvent comme dans leur cadre naturel et y viennent à merveille.

La Normandie est bien, ainsi qu'elle a été surnommée, le haras de la France et l'on peut dire qu'elle a été aussi celui de maints pays étrangers, qui lui doivent ce qu'ils ont de meilleur en races chevalines; elle élève admirablement, non seulement son propre bétail, mais engraisse encore celui des pays voisins, et livre à la boucherie des viandes estimées; la vache normande est l'égale des meilleures, le lait qu'elle fournit, le beurre et le fromage qui en proviennent sont justement renommés. Ces différentes productions, qui tiennent une place si importante dans l'agriculture de la France, font l'objet de l'ouvrage de M. GUÉNAUX. *L'élevage du cheval et du gros bétail en Normandie.*

Dans la première partie, *l'élevage du cheval de demi-sang*, M. Guénaux décrit les méthodes suivies aujourd'hui par les principaux éleveurs normands et montre les résultats réalisés pour l'obtention des sujets destinés aux divers services. La question de l'entraînement des trotteurs, parmi lesquels l'administration des haras choisit ses étalons, et celle de la remonte militaire, sont étudiées avec soin.

Dans la deuxième partie, *l'élevage des bovidés*, M. Guénaux fait connaître les pratiques usitées pour la reproduction et l'engraissement du gros bétail et insiste sur l'exploitation raisonnée des vaches laitières dans les pays d'Auge et le Cotentin pour la production du lait, du beurre et des fromages de Camembert, de Pont-l'Évêque et de Livarot.

---

## Manuel pratique d'Alimentation du Bétail

par R. DUMONT, professeur d'agriculture du département du Nord, 1902, 1 vol. in-16 de 350 pages, avec figures, cart... 4 fr.

Principes généraux sur lesquels repose l'alimentation du bétail. — Des aliments et de leur digestibilité. — Des rations. — Classification et valeur alimentaire des principaux ouvrages. — Des condiments et des boissons. — Préparation des aliments. — Alimentation des animaux de l'espèce chevaline: poulain, jument, étalon, cheval de course, cheval de trait. — Alimentation de l'espèce bovine: veau, vache laitière, taureau, bœuf. — Alimentation de l'espèce ovine et porcine. — Élevage et engraissement du lapin et des oiseaux de basse-cour.

---

## Les Fleurs du Midi

par M. GRANGER, directeur du Jardin botanique de la Marine à Toulon, 1902, 1 vol. in-16 de 371 pages, avec 158 figures, cartonné... 4 fr.

C'est par milliers que les végétaux de tous les coins du globe ont été entassés dans cet espace relativement restreint compris entre la mer et les pieds des rochers que forment les derniers contreforts des Alpes. A la flore indigène déjà si riche est venue s'ajouter une flore nouvelle que toutes les contrées de la terre ont contribué à fournir et qui a fait de ce coin de notre pays le plus beau jardin de l'Europe.

La première partie du volume de M. GRANGER est consacrée aux généralités: Climatologie méridionale. — Les abris. — Etablissement des cultures. — Les engrais. — Insecticides et préservatifs contre les parasites végétaux. — Cueillette, emballage et expédition des fleurs. — La deuxième partie est une revue, par ordre alphabétique, des plantes à cultiver pour la production hivernale de fleurs sur le littoral méditerranéen. Pour chaque fleur l'auteur étudie ses variétés, sa culture et la cueillette. La troisième partie est consacrée aux arbres, arbustes et arbrisseaux à floraison hivernale; la quatrième, aux feuillages et verdure.

---

## Constructions agricoles et architecture

rurale, par J. BUCHARD, ingénieur-agronome, 1889, 1 vol.  
in-16 de 392 pages, avec 143 figures, cartonné..... 4 fr.

Matériaux de construction; préparation et emploi; maison d'habitation, hygiène rurale, étables, écuries, bergeries, porcheries, basses-cours, granges, magasins à grains et à fourrages, laiteries, cidreries, presses, magnaneries, fontaines, abreuvoirs, citernes, pompes hydrauliques agricoles; drainages; disposition générale des bâtiments, alignements, moyenneté et servitudes; devis et prix de revient.

---

## Le Matériel agricole, Machines, outils, instruments

employés dans la grande et la petite culture, par J. BUCHARD, 1891,  
1 vol. in-16 de 384 p., avec 142 figures, cartonné..... 4 fr.

Sbarres, scarificateurs, herses, rouleaux, semoirs, sarclouses, bineuses, moissonneuses, faucheuses, faneuses, batteuses, rateaux, tarares, trieurs, bache-paille, presses, coupe-racines, appareils de laiterie, vinification, distillation, cidrerie, huilerie, scieries, machines hydrauliques, pompes, arrosages, brouettes, charrettes, porteurs, manèges, roues hydrauliques, moteurs aériens, machines à vapeur.

---

## Les Vaches laitières, choix, entretien, production,

élevage, maladies, produits, par E. THIERRY, directeur de l'École  
pratique d'agriculture de l'Yonne, 1895, 1 vol. in-16 de 349 pages  
avec 75 figures, cartonné..... 4 fr.

M. Thierry vient de réunir en un volume de 350 pages tout ce qui peut intéresser le<sup>s</sup>  
propriétaires de vaches laitières.

L'ouvrage débute par des notions sommaires d'anatomie et de physiologie des bovidés,  
et par l'étude de la connaissance de l'âge. Vient ensuite l'examen des principales races  
françaises et étrangères utilisées comme laitières. Les chapitres suivants sont consacrés  
à la production du lait, au choix des vaches laitières, à leur amélioration. L'hygiène de  
la vache laitière est longuement traitée, tant au point de vue de l'habitation, du passage  
que de l'alimentation aux pâturages et à l'étable. Après avoir parlé de la traite, des  
causes de variation de la production du lait, puis de l'engraissement de la vache laitière,  
M. Thierry entre dans des considérations étendues sur tout ce qui concerne la production  
(choix des reproducteurs, rut, chaleur, monte, gestation, parturition, etc.) et l'élevage  
(allaitement, sevrage, castration, régime, etc.). Puis il donne quelques conseils pratiques  
sur l'achat de la vache laitière. Il passe en revue les maladies qui peuvent affecter la  
vache et le veau. Enfin il termine par l'étude du lait, de la laiterie et des industries  
laitières.

Ce livre résumant les travaux les plus modernes sera tout particulièrement utile aux  
cultivateurs et aux vétérinaires.

---

## L'industrie laitière, le lait, le beurre et le fromage, par

E. FERVILLE, 1888, 1 volume in-16, de 384 pages, avec 88 figures,  
cartonné..... 4 fr.

Le lait; essayage; vente; lait condensé; le beurre; la crème; système Swartz, écré-  
meuses centrifuges; harattage; délaitage mécanique; margarine; fromages frais et  
affinés, fromages pressés et cuits; construction des laiteries; comptabilité; enseignement.

A mesure que l'industrie des céréales est devenu moins rémunératrice, l'attention  
des propriétaires et des fermiers s'est préoccupée davantage des heureux résultats  
produits par les spéculations laitières. Ce livre expose les nouvelles méthodes adoptées  
dans les laiteries perfectionnées.

---

## Histoire des parfums et Hygiène de la

**toilette**, Poudres, vinaigres, dentifrices, fards, teintures, cosmétiques, etc., par S. PIESSE, chimiste-parfumeur à Londres. *Édition française*, par F. CHARDIN-HADANCOURT et H. MASSIGNON parfumeurs à Paris, et G. HALPHEN, chimiste au Laboratoire du Ministère du Commerce, 1890, 1 vol. in-16 de 371 pages, avec 70 figures, cartonné..... 4 fr.

La parfumerie à travers les siècles; histoire naturelle des parfums d'origine végétale et d'origine animale; hygiène des parfums et des cosmétiques; hygiène des cheveux et préparations épilatoires; poudre et eaux dentifrices; teintures, fards, rouges, etc.

## Chimie des parfums et Fabrication des

**essences**, extraits d'odeurs, eaux aromatiques, pommades, etc., par S. PIESSE, chimiste-parfumeur à Londres. *Édition française*, par F. CHARDIN-HADANCOURT, H. MASSIGNON, et G. HALPHEN, 1897. 1 vol. in-16 de 376 pages, avec 67 figures, cartonné... 4 fr.

Extraction des parfums; propriétés, analyses, falsifications des essences, essences artistiques; applications de la chimie organique à la parfumerie; fabrication des savons; étude des substances employées en parfumerie; formules et recettes pour essences; extraits, bouquets, eaux composées, poudres, etc.

## Les Matières grasses

, caractères, falsifications et essai des huiles, beurres, graisses, suifs et cires, par le Dr BEAUVISAGE, professeur agrégé à la Faculté de Lyon, 1891, 1 vol. in-16 de 324 pages, avec 90 figures, cartonné..... 4 fr.

Matières grasses en général, caractères généraux, usages, origine et extraction, procédés physiques et chimiques d'essai, huiles animales, huiles végétales diverses, huiles d'olive, beurres, graisses et suifs d'origine animale, beurres végétaux, cires animales, végétales et minérales.

## L'Olivier et l'Huile d'olive

, histoire naturelle de

l'olivier, culture de l'olivier, préparations, falsifications et usages des produits, par P. D'AYGALLIERS, professeur à l'École d'agriculture d'Oraison (Basses-Alpes), 1900, 1 vol. in-16 de 350 pages avec 64 fig., cartonné..... 4 fr.

Cet ouvrage est consacré à décrire les caractères et l'histoire de l'olivier, les meilleurs procédés à employer pour sa culture et l'obtention de ses produits, les méthodes perfectionnées pour déceler les fraudes dont ceux-ci sont l'objet, etc.

Pour relever l'oléiculture, il faut assurer un prix rémunérateur à ses produits. Lorsque les oléiculteurs seront certains de vendre leur huile un prix convenable, ils n'hésiteront plus à prodiguer leurs soins aux oliviers. Il faut donc, d'abord, améliorer la qualité de l'huile par une fabrication plus soignée, ensuite frapper de peines sévères les fraudeurs qui vendent, sous le nom d'*huile d'olive*, des mélanges plus ou moins savants d'huiles inférieures. Aujourd'hui, grâce aux travaux des chimistes, il est devenu facile de la déceler et de livrer ceux qui la pratiquent aux tribunaux chargés de la réprimer.

**Le Vin et l'Art de la vinification**, par V. CAMBON, ingénieur des arts et manufactures, vice-président de la Société de viticulture de Lyon, 1892, 1 vol. in-16 de 324 pages, avec 75 figures, cartonné..... 4 fr.

Le raisin et le moût, la fermentation, la vinification, composition et analyse du vin, vinifications spéciales, maladies du vin, altérations et sophistications des vins, l'outillage vineaire, production du vin dans le monde, achat, livraison et transport du vin, etc.

**L'Essai commercial des vins et vinaigres**, par J. DUJARDIN, ingénieur des arts et manufactures, 1892, 1 vol. in-16, de 368 pages, avec 169 figures, cartonné..... 4 fr.

Examen des raisins. — Essai du moût. — Dosage de l'alcool, de l'extrait sec des cendres, du sucre, du tanin, de la glycérine, etc. — Recherche du vin de raisins secs, du plâtre, de l'acide salicylique, de la saccharine, des colorants, etc. — Examen microscopique des vins malades. — Analyse et essai des vinaigres.

**Les Eaux-de-vie et la Fabrication du cognac**, par A. BAUDOIN, directeur du Laboratoire de chimie agricole et industrielle de Cognac, 1893, 1 vol. in-16 de 278 pages, avec 39 figures, cartonné..... 4 fr.

Les eaux-de-vie. — L'eau-de-vie dans les Charentes. — La distillation. — Composition et vieillissement de l'eau-de-vie. — Analyse des vins et des eaux-de-vie. — Maladies, altérations et falsifications. — Manipulations commerciales. — Pesage métrique des eaux-de-vie. — Tables de mouillage. — Installation d'une maison de commerce. — Usage. — Les eaux-de-vie devant la loi, le fisc et les tribunaux.

**La Fabrication des liqueurs**, par J. de BREVANS, chimiste principal du Laboratoire municipal de la ville de Paris, Préface par CH. GIRARD, directeur du Laboratoire municipal, 2<sup>e</sup> édition, 1897, 1 vol. in-16, de 456 pages, avec 93 fig., cart. 4 fr.

L'alcool ; la distillation des vins et des alcools d'industrie ; la purification et la rectification ; les liqueurs naturelles ; les eaux-de-vie de vins et de fruits ; le rhum et le tafia ; les eaux-de-vie de grains ; les liqueurs artificielles ; les matières premières ; les essences ; les esprits aromatiques, les alcoolats, les teintures, les alcoolatures, les eaux distillées, les sucs, les sirops, les matières colorantes ; les liqueurs par distillation et par infusion ; les liqueurs par essences ; vins aromatisés et hydromels ; punches ; les conserves ; les fruits à l'eau-de-vie, et les conserves de fruits ; analyse et falsifications des alcools et des liqueurs ; législation et commerce.

**L'Alcool**, au point de vue chimique, agricole, industriel, hygiénique et fiscal, par A. LARBALETRIER, professeur à l'École pratique d'agriculture du Pas-de-Calais, 1888, 1 vol. in-16 de 312 pages, avec 62 figures, cartonné..... 4 fr.

Propriétés physiques, Caractères chimiques. Dérivés. Matières alcoolisables. Fermentation alcoolique. Distillation. Alcools d'industrie. Purification et rectification. Spiritueux et liqueurs alcooliques. Altérations et falsifications. Action sur la santé. Usages. Impôts.

## Guide pratique de l'élevage du cheval,

par L. RELIER, vétérinaire principal au Haras de Pompadour, 1889,  
1 vol. in-16 de 382 pages, avec 128 figures, cartonné..... 4 fr.

M. RELIER a résumé, sous une forme très concise et très claire, toutes les connaissances indispensables à l'homme de cheval. Organisations et fonctions, extérieur (régions, aplombs, proportions, mouvements, allures, âge, robes, signalements, examen du cheval en vente); hygiène, maréchalierie; reproduction et élevage; art des accouplements. Ce livre est destiné aux propriétaires, cultivateurs, fermiers, ainsi qu'aux palefreniers des haras, qui y trouveront les renseignements dont ils ont sans cesse besoin dans l'accomplissement de leur tâche.

## Les Maladies du jeune cheval, par P. CHAM-

PETIER, vétérinaire en premier de l'armée. 1896, 1 vol. in-16 de  
348 pages, avec 8 planches en couleurs..... 4 fr.

Les maladies du jeune cheval par leur fréquence, la mortalité qu'elles occasionnent et les pertes qui en sont la conséquence sont de celles qu'il importe aux vétérinaires et aux éleveurs de connaître le mieux dans leurs causes et leur traitement, afin de les conjurer et de les guérir plus sûrement.

M. Champetier passe successivement en revue la gourme, la scarlatinoïde, la variole (Horse Pox), la pneumonie infectieuse, l'entérite diarrhémique, l'arthrite des poulains, le muguet, les affections vermineuses et les insectes cavitaires.

On trouvera dans ce livre, outre les traitements rationnels et méthodiques, les procédés pratiques permettant d'en éviter les désastreuses conséquences.

## Le cheval anglo-normand, par A. GALLIER, mé-

decin vétérinaire, inspecteur sanitaire de la ville de Caen. 1900,  
1 vol. in-16 de 320 pages avec figures, cartonné..... 4 fr.

L'anglo-normand. Ses origines; histoire de la famille normande; l'anglo-normand considéré comme reproducteur, comme cheval de guerre et comme cheval de service; l'administration des haras. Son rôle, son système; encouragements à l'industrie chevaline; courses, concours.

## L'âge du cheval et des principaux ani-

maux domestiques, âne, mulet, bœuf, mouton, chèvre,  
chien, porc et oiseaux, par MARCELIN DUPONT, médecin-vétéri-  
naire, professeur à l'École d'agriculture pratique de l'Aisne, 1894,  
1 vol. in-16, avec 36 planches dont 30 coloriées..... 4 fr.

## Le Chien, Races. — Hygiène. — Maladies, par J. PERTUS,

médecin-vétérinaire, 1893, 1 vol. in-16 de 298 pages, avec 77 figures,  
cartonné..... 4 fr.

Différentes races, espèces et variétés; valeur relative et choix à faire suivant le service, — extérieur et détermination de l'âge, — hygiène de l'alimentation et de l'habitation, — accouplement et parturition. — Etude des maladies: maladies contagieuses, maladie du jeune âge, rage, tuberculose, etc., — maladies de la peau, démangeaisons, eczéma, herpès, plaies et brûlures, parasites, gale, etc., — de l'appareil respiratoire, — du tube digestif, constipation, diarrhée, gastrite, vers intestinaux, etc., — de l'appareil génito-urinaire et des mamelles, — des yeux et des oreilles, — accidents de chasse, — maladies chirurgicales, — pansements, bandages et sutures, — administration des médicaments et formulaire.

**Les Animaux de la ferme**, par E. GUYOT, agronome  
éleveur, 1892, 1 vol. in-16, de 344 pages, avec 146 fig. cart... 4 fr.

Résumer tout ce que l'on sait sur nos différentes espèces d'animaux domestiques, cheval, bœuf, mouton, porc, chien, chat; poules, dindons, pigeons, canards, oies, lapins, abeilles, et leurs nombreuses races, sur leur anatomie, leur physiologie, leur utilisation et leur amélioration, leur hygiène, leurs maladies, etc., était une œuvre difficile; aussi ce livre pourra-t-il être très utilement placé dans les bibliothèques rurales.

**L'Art de conserver la santé des animaux dans les campagnes**, par FONTAN, médecin-vétérinaire, lauréat de la Société des agriculteurs de France. Nouvelle médecine vétérinaire domestique à l'usage des agriculteurs, fermiers, éleveurs, propriétaires ruraux, etc. *Ouvrage couronné par la Société des agriculteurs de France*, 1894, 1 vol. in-16 de 378 pages, avec 100 figures, cartonné..... 4 fr.

Cet ouvrage s'adresse à la grande famille des agriculteurs et des éleveurs, à tous les propriétaires d'animaux domestiques. Il comprend trois parties:

1° *L'hygiène vétérinaire*; M. Fontan a réuni les règles à suivre pour entretenir l'état de santé chez nos animaux; 2° *Médecine vétérinaire usuelle*: Il donne une idée générale des maladies les plus faciles à reconnaître et du traitement à leur opposer en attendant la visite du vétérinaire; 3° *Pharmacie vétérinaire domestique*: Le traitement indiqué à propos de chaque maladie se compose de moyens excessivement simples et inoffensifs, que le propriétaire peut employer lui-même impunément. Tout ce qui concerne la préparation, l'application ou l'administration de ces moyens se trouve détaillé.

**Nouveau manuel de médecine vétérinaire homéopathique**, par GUNTHER et PROST-LACUZON, 1892, 1 vol. in-16 de 396 pages, cartonné..... 4 fr.

Maladies du cheval, — des bêtes bovines, — des bêtes ovines, — des chèvres, — des porcs, — des lapins, — des chiens, — des chats. — des oiseaux de basse-cour et de volière.

**L'Aquarium d'eau douce**, et ses habitants, animaux et végétaux, par HENRI COUPIN, licencié ès-sciences, préparateur à la Sorbonne, 1893, 1 vol. in-16 de 348 pages, avec 228 figures, cartonné..... 4 fr.

L'eau et son aération. — Les plantes dans l'aquarium. — Chasse et transport des animaux. — Les protozoaires. — Les coelentérés. — Les spongiaires. — Les vers. — Les crustacés et les insectes. — Les mollusques. — Les batraciens et les reptiles.

Ce livre s'adresse aux jeunes naturalistes et aux gens du monde qui s'intéressent aux choses de la nature. L'auteur s'est efforcé de montrer que, sans grandes connaissances scientifiques préalables, et en ne se servant presque jamais du microscope, on peut faire, avec le plus simple des aquariums, une multitude d'observations aussi variées qu'intéressantes.



**L'Amateur d'oiseaux de volière**, espèces indigènes et exotiques, caractères, mœurs et habitudes, reproduction en cage et en volière, nourriture, chasse, captivité, maladie, par HENRI MOREAU, 1891, 1 vol. in-16 de 432 pages, avec 51 figures, cartonné..... 4 fr.

Le livre est l'œuvre d'un amateur qui a cherché, par la description la plus exacte possible, à rendre la physionomie et le plumage des principaux oiseaux de volière, à retracer avec ses observations personnelles, leur genre de vie. Le lecteur y trouvera des détails complets sur l'habitude, les mœurs, la reproduction, le caractère, les qualités et la nourriture de chaque oiseau.

**Les Oiseaux de basse-cour**, par RÉMY SAINT-LOUP, maître de conférences à l'école pratique des Hautes-Études, secrétaire de la Société nationale d'acclimatation, 1895, 1 vol. in-16 de 368 pages, avec 105 figures, cartonné..... 4 fr.

*Première partie.* — Classification des oiseaux de basse-cour. — Variation du type dans les principales races. — Sélection. — Organisation des oiseaux. — Incubation naturelle et artificielle. — Élevage des poulets, des dindons, des canards et des oies. — Aménagement du local. — Bénéfices de l'industrie avicole. — Maladies des oiseaux de basse-cour. — Parasites.

*Deuxième partie.* — Descriptions des races. — I. Coqs et poules ; II. Pigeons ; III. Dindons ; IV. Pintades ; V. Canards ; VI. Oies.

**Les Oiseaux de parcs et de faisanderies.**  
Histoire naturelle. Acclimatation. Élevage, par RÉMY SAINT-LOUP, 1896, 1 vol. in-16 de 354 pages avec 48 figures, cartonné.... 4 fr.

Sans doute il est bon de faire multiplier les oiseaux de basse cour, il est attrayant d'obtenir dans ces espèces des centaines de races et de variétés, mais la naturalisation des nombreux oiseaux exotiques plus rares, au plumage plus éclatant, est inconcevablement plus intéressante. Enfin le repeuplement des chasses offre à l'activité des amateurs d'oiseaux des sujets de recherches et d'expériences que l'on doit faciliter et dont l'étude doit être indiquée par des livres spéciaux. Aussi était-il intéressant d'exposer ce qui a été fait et de signaler les résultats obtenus en un livre pouvant servir de guide à la fois pour la connaissance zoologique et pour l'éducation des oiseaux de parc et de faisanderie.

**Canards, oies et cygnes**, Palmipèdes de produit, de chasse et d'ornement, par A. BLANCHON. 1896, 1 vol. in-16 de 348 pages avec 73 figures, cartonné..... 4 fr.

La première partie de ce volume est consacrée à l'installation, à la nourriture, à l'incubation, à l'élevage, à l'éjointage, aux maladies, à l'acquisition et au transport des oiseaux et des œufs.

Dans la deuxième partie, M. Blanchon passe en revue les différentes races de cygnes, oies et bernaches et autres anséridés, canards, sarcelles et autres anatidés : il donne, à propos de chaque espèce, les caractères distinctifs, la distribution géographique, les migrations, le nid, la ponte, l'incubation, les mœurs, la nourriture, les produits, la chasse, la vie en captivité, la longévité.

---

## Les Pêcheries et les Poissons de la Méditerranée, par P. GOURRET, docteur ès sciences

sous-directeur de la Station zoologique de Marseille, 1894, 1 vol. in-16 de 360 pages, avec 108 figures, cartonné..... 4 fr.

Configuration des côtes. Nature et densité des fonds. Profondeurs. Vents et courants. Régime des poissons. Poissons sédentaires et voyageurs. Engins et filets de pêche. Pêches avec appâts au moyen de lignes ou au moyen de casiers. Pêches au harpon, à la lumière ou au fustier, au large, à la grappe. Filets trainants. Filets flottants ou dérivants. Filets fixes. Modifications des côtes et des fonds; jets à la mer; vases des fleuves; animaux voraces. Mesures protectrices.

---

## La Pisciculture en eaux douces, par A. GOBIN

professeur départemental d'agriculture, 1889, 1 vol. in-16 de 360 pages, avec 90 figures, cartonné..... 4 fr.

M. Gobin étudie d'abord les poissons au point de vue de l'anatomie et de la physiologie : puis il passe en revue les milieux dans lesquels les poissons doivent vivre. Des chapitres sont consacrés aux ennemis et aux parasites des poissons, à leurs aliments végétaux et animaux, à leurs mœurs, aux circonstances de leur reproduction, aux modifications de milieux qu'ils peuvent supporter pour une reproduction plus économique, etc. à la production naturelle; aux procédés de la pisciculture, à l'exploitation des lacs; aux eaux saumâtres; à l'acclimatation des poissons de mer en eaux douces et inversement; l'ouvrage se termine par la faunule des poissons d'eau douce de la France.

---

## La Pisciculture en eaux salées, par ALPH. GOBIN.

1881, 1 vol. in-16, de 353 pages, avec 105 figures, cart. .... 4 fr.

Les eaux salées, reproduction naturelle, poissons migrateurs (maquereau, hareng, morue, thon, sardine, anchois, etc.), poissons sédentaires (barhuc, sole, raie, bar, grondin, daurade, etc.), étangs salés, réservoirs et viviers, homards et langoustes, moules et huîtres.

---

## La Pêche et les poissons des eaux douces,

Par ARNOULT LOCARD, 1891, 1 vol. in-16, de 352 pages, avec 174 fig. cartonné..... 4 fr.

Dans la première partie de cet ouvrage, sont décrites toutes les espèces de poisson qui vivent dans nos eaux douces, fleuves ou rivières, ruisseaux, lacs ou étangs.

Dans la deuxième partie, on passe en revue la ligne et ses nombreux accessoires, les diverses amorces ou appâts susceptibles d'attirer le poisson; enfin tous les genres de pêche, à la ligne, au filet, à la nasse, au trident, etc.

---

## Manuel d'Ostréiculture. Histoire naturelle, culture industrielle, hygiène alimentaire des Huîtres et des Mollusques comestibles. 1900, 1 vol. in-16, de 382 pages, avec 97 fig., cart. 4 fr.

L'auteur donne d'abord un aperçu général sur les mollusques comestibles. Il étudie ensuite en détail l'ostréiculture, et donne des renseignements sur la mytiliculture, la domestication des clovisses, escargots, etc. Enfin, il nous présente des considérations intéressantes sur l'influence physiologique de la domestication, le repeuplement malacologique des côtes, et les ennemis et maladies des mollusques. L'ouvrage se termine par un chapitre concernant l'hygiène alimentaire et les mollusques.

---

**Le Petit jardin, Manuel pratique d'horticulture, par D. BOIS,**  
 assistant de la chaire de culture au Muséum, 2<sup>e</sup> édition. 1899, 1 vol.  
 in-16 de 360 pages, avec 200 figures, cartonné..... 4 fr.

La première partie de ce manuel est consacrée à la *création* et à l'*entretien du petit ardin*. On y passe en revue : la constitution du sol ; les opérations culturales : multiplication des plantes, plantations, taille des arbres et arbrisseaux, etc.

Dans la deuxième partie on traite du *jardin d'agrément*, en indiquant la culture et les emplois des plantes et arbrisseaux le plus généralement cultivés.

Le *Potager-Fruitier* est le sujet de la troisième partie. On y traite tour à tour : de la création du potager-fruitier ; de la taille et de la culture des diverses sortes d'arbres et des principales formes auxquelles on peut les soumettre. On y trouvera également un choix des variétés les plus recommandables classées par ordre de maturité. Les légumes usuels font l'objet d'un chapitre étendu.

La quatrième partie énumère les travaux à exécuter chaque mois de l'année. Enfin, dans la cinquième, on traite des *maladies des plantes* et des *animaux nuisibles*.

Cette seconde édition présente de nombreuses modifications. Le texte a été refondu. Le nombre des figures a été sensiblement augmenté.

---

**Les Plantes d'appartement et les plantes de fenêtres, par D. BOIS, 1891, 1 vol. in-16 de 388 pages, avec 169 figures, cartonné..... 4 fr.**

Principes de culture appliqués aux plantes d'appartement et de fenêtres : caisses et pots, fleurs, plantations, arrosage, lavage des plantes, rempotage, multiplication, maladies. Règles à observer dans l'achat des plantes d'appartement.

Les palmiers, les fougères, les orchidées, les plantes aquatiques ; les corbeilles et les bouquets ; les plantes de fenêtres ; le jardin d'hiver ; culture en pots ; conservation des plantes en hiver ; choix des plantes et arbrisseaux d'ornement suivant leur destination, leur exposition à l'ombre et au soleil ; ornementation des fenêtres et des appartements.

---

**Les Orchidées, Manuel de l'amateur, par D. BOIS, 1893, 1 vol. in-16, de 323 pages, avec 119 figures, cartonné..... 4 fr.**

Caractères botaniques. — Distribution géographique. — Les orchidées ornementales. — La Vanille et les orchidées utiles. — Culture des orchidées. — Serres à orchidées. — Multiplication des orchidées. — Orchidées hybrides.

Le livre de M. Bois contient un choix des Orchidées les plus ornementales. Un tableau synoptique, accompagné de figures explicatives, des descriptions claires et précises, permettront d'arriver à en trouver les noms corrects, ainsi que l'indication de leur origine et le genre de culture qui leur est favorable. L'amateur d'Orchidées trouvera dans ce livre les notions qui lui sont indispensables pour suivre la culture de ses collections et se rendre compte des procédés de plantation, d'arrosage et de multiplication.

---

**Les Arbres fruitiers, par G. BELLAIR, jardinier en chef de l'Orangerie de Versailles, 1891, 1 vol. in-16, de 318 pages, avec 132 figures, cartonné..... 4 fr.**

Arboriculture générale : Le matériel et les procédés de cultures : l'arbre fruitier, ses organes, leur fonctionnement, le sol et les engrais ; les outils de culture ; aménagement du jardin fruitier ; ameublissement du sol ; multiplication des arbres ; plantation ; taille et direction ; principales formes données aux arbres. Cultures spéciales : la vigne ; les roseilliers ; le poirier ; le pommier ; le cognassier ; le néflier ; le pêcher ; le prunier ; l'abricotier ; le cerisier ; l'amandier ; le noyer ; le framboisier ; le figuier ; le châtaignier ; le noisetier. Description des espèces et variétés. Culture. Maladies. Insectes nuisibles ; restauration des arbres fruitiers ; conservation des fruits.

---

**Manuel de viticulture pratique**, par E. DURANI

professeur à l'École d'agriculture d'Ecullly (Rhône), 1900, 1 vol. in-16 de 400 pages, avec 146 figures, cartonné..... 4 f.

La vigne ; influences présidant à la production du vin ; encépagement des vignobles ; constitution d'un vignoble par le greffage ; greffage de la vigne ; préparation du sol ; plantation ; appareils de soutien ; taille de la vigne ; taille sèche ; étude des systèmes et des formes de taille ; vignes basses et moyennes, vignes hautes ; travaux du sol ; engrais de la vigne ; les ennemis de la vigne.

Cet ouvrage expose, au point où elles en sont arrivées de leur évolution, les diverses questions que comprend la culture, la reconstitution des vignobles sur des bases nouvelles, la lutte contre les maladies, et groupe en un faisceau les connaissances qui est nécessaire de posséder pour entreprendre la constitution et l'exploitation d'un domaine viticole.

**La Pratique de la viticulture**, Adaptation de

cépages franco-américains aux vignobles français, par M<sup>me</sup> la duchesse de FITZ-JAMES, 1894, 1 vol. in-16 de 380 pages, avec 92 figures, cartonné..... 4 f.

L'auteur s'occupe d'abord des vignobles reconstitués qui se divisent eux-mêmes en deux grandes fractions, ceux qui donnent des résultats rémunérateurs et ceux qui n'en donnent pas ; l'auteur y passe en revue le choix des cépages et les procédés de multiplication, le rôle favorable ou défavorable du terrain, des racines et des affinités respectives entre porte-greffes et greffons.

La deuxième partie traite des vignobles en voie de perdition : vignobles menacés de courte échéance par le manque d'adaptation et la chlorose, et vignobles menacés d'un façon plus ou moins lointaine. La question de la reconstitution par le provinage franco-américain est longuement traitée. Ce volume résume les travaux de MM. FOX, P. VIAL, MUNTZ, PRILLIEUX, MARÉS, etc.

**Les Ennemis de la vigne**, moyens de les détruire

par E. DUSSUC, lauréat de la Société des agriculteurs de France, ex-stagiaire au Laboratoire de viticulture de Montpellier, 1894, 1 vol. in-16 de 368 pages, avec 139 figures, cartonné..... 4 f.

La vigne est attaquée par une foule d'ennemis dont plusieurs sont des plus redoutables. Ce sont ces ravageurs de la vigne et les moyens de les combattre que M. Dussuc mettant à profit l'expérience qu'il avait acquise au Laboratoire de viticulture de l'École d'agriculture de Montpellier, a exposé en un volume que la Société des agriculteurs de France vient de couronner.

M. Dussuc étudie successivement les insectes souterrains et aériens nuisibles à la vigne (Phylloxera, Pyrale, Cochylys, etc.), les maladies cryptogamiques (Mildiou, Oïdium, Anthracnose, Black-Rot, Rot-Blanc, Brunissure, maladie de Californie, Pourridié, etc.) et les altérations organiques (Chlorose, etc.).

**Les Maladies de la vigne** et les meilleurs cépages

français et américains, par JULES BEL, 1890, 1 vol. in-16 de 306 pages, avec 111 figures, cartonné..... 4 f.

Ce volume sera consulté avec profit par tous ceux qu'intéressent les questions se rapportant à la viticulture. A côté des études personnelles de l'auteur, ils y trouveront de remarquables importantes dues aux savants les plus compétents, les résultats obtenus dans les écoles départementales de viticulture, ainsi que les essais faits chez les viticulteurs les plus éminents du midi de la France.

---

**Manuel d'Apiculture**, Organes et fonctions des abeilles, éducation et produits, miel et cire, par MAURICE GIRARD, ancien président de la Société entomologique de France, 3<sup>e</sup> édition, 1896, 1 vol. in-16, de 320 pages, avec 84 figures..... 4 fr.

L'abeille est l'objet de soins de jour en jour plus attentifs, en raison de l'intérêt qui s'attache à son étude et des avantages que procure son éducation. Il manquait en France un livre qui mit à la portée de l'éleveur l'ensemble des connaissances qu'il a besoin de posséder. M. Girard a exposé les manipulations agricoles, les procédés d'extraction, la composition chimique du miel et de la cire, il a décrit les organes, les fonctions, les maladies, les ennemis de l'abeille.

---

**L'Amateur de Coléoptères**, guide pour la chasse, la préparation et la conservation, par H. COUPIN, préparateur à la Sorbonne, 1894, 1 vol. in-16 de 352 pages, avec 217 fig., cart. 4 fr.

Depuis longtemps grand amateur de Coléoptères, l'auteur a voulu faire profiter les néophytes de son expérience, en leur offrant ce livre, destiné à les guider dans la recherche et la conservation des insectes.

Après avoir donné des renseignements généraux sur l'équipement du chasseur et les instruments qu'il doit porter avec lui, dans ses pérégrinations, il étudie séparément les différentes chasses auxquelles il pourra se livrer.

Les nombreuses figures d'insectes distribuées dans le texte seront très utiles aux commençants et les aideront à se mettre sur la voie des déterminations des genres et des espèces.

Enfin, il étudie avec figures et détails circonstanciés, la préparation des Coléoptères et leur rangement en collection.

---

**L'Amateur de Papillons**, guide pour la chasse, la préparation et la conservation, par H. COUPIN, 1895, 1 vol. in-16 de 334 pages, avec 246 figures, cartonné..... 4 fr.

Les papillons en général : organisation, classification, biologie, classification, habitat, les chenilles, les chrysalides. Équipement du chasseur. Chasse : aux papillons adultes, aux chenilles, sur les plantes basses, sur les arbres, dans les fruits et les graines, dans la maison. Élevage des chenilles. Chasse aux chrysalides. Récolte des œufs. Préparation et rangement en collection.

---

**L'Amateur d'Insectes**, caractères et mœurs des insectes, chasse, préparation et conservation des collections, par PH. MONTILLOT, membre de la Société entomologique de France. Introduction par le professeur LABOULBÈNE, ancien président de la Société entomologique de France, 1890, 1 vol. in-16 de 352 pages, avec 197 figures, cartonné..... 4 fr.

Organisation des insectes ; histoire, distribution géographique et classification ; chasse et récolte, ustensiles et procédés de capture ; description, mœurs et habitat des Coléoptères, des Orthoptères, des Névroptères ; des Hyménoptères, des Lépidoptères, des Hémiptères, des Diptères ; collections ; rangement et conservation.

## **Les insectes nuisibles**, par PH. MONTILLOT, 1891, 1 vol. in-16 de 308 pages, avec 156 figures, cartonné..... 4 fr.

Histoire et législation, les forêts, les céréales et la grande culture, la vigne, le verger et le jardin fruitier, le potager, le jardin d'ornement, à la maison.

Le livre de M. Montillot a pour but d'offrir, dans un cadre restreint, le plus possible de notions précises sur les insectes qui peuvent causer des dégâts.

L'auteur, dans son exposition, ne procède pas suivant les ordres et les familles entomologiques, mais par catégories de dévastateurs ; il examine successivement les insectes nuisibles aux forêts, aux céréales et à la grande culture, puis aux cultures spéciales, à la vigne, au verger, aux jardins potagers et d'ornement. Il ne néglige pas les insectes qui se trouvent dans nos maisons, attaquent nos meubles, nos vêtements, ceux qui se cachent dans nos cuisines et à l'office. Il termine par les parasites de l'homme et des animaux domestiques. Cette manière de procéder lui a permis des divisions nettes, où chacun peut trouver ce qui l'intéresse ; de simples renvois évitent les redites ou la confusion pour les espèces appartenant à plusieurs catégories.

---

## **L'Art de détruire les animaux nuisibles**, par H.-L.-A. BLANCHON, 1899, 1 vol. in-16 de 292 pages, avec 111 figures, cartonné..... 4 fr.

Le chasseur doit protéger son gibier, le pisciculteur le poisson de ses étangs, le cultivateur ses récoltes, ses troupeaux, sa basse-cour, le jardinier ses légumes, ses fruits et ses fleurs, la ménagère ses provisions, ses meubles, ses vêtements ; l'homme doit se défendre lui-même contre l'attaque de divers animaux et principalement des parasites qui, légion, le guettent sans cesse.

M. Blanchon indique les armes dont il faut se servir dans cette lutte constante, la manière de les employer, de les entretenir, de les fabriquer, lorsque leur construction est à la portée de tous.

S'il a traité d'une manière complète le *piègeage*, qui demande des connaissances étendues et une science particulière pour déjouer la défiance d'animaux rusés, il n'a pas négligé les procédés de chasse généralement employés.

Il s'est étendu sur l'empoisonnement qui donne des résultats excellents, quoiqu'il soit d'un emploi dangereux, et il a indiqué les précautions nécessaires pour éviter les accidents.

---

## **L'Art de découvrir les sources et de les capter**, par E.-S. AUSCHER, ingénieur des arts et manufactures. 1899, 1 vol. in-16 de 278 pages avec 79 figures, cart... 4 fr.

Ce livre a été écrit dans le but de mettre à la portée de tous les données les plus récentes sur la recherche et le captage des eaux. Toutes les municipalités, tous les propriétaires sont aujourd'hui en quête d'eaux saines et abondantes. Quatre livres divisent le travail :

Dans le premier, ce sont les propriétés de l'eau qui sont passées en revue : propriétés physiques, chimiques, température, nature géologique des terrains, variations des eaux, etc.

Dans le second, les eaux souterraines sont étudiées dans leurs relations avec les terrains : schistosité, cassures, failles, porosité, influence des pluies, régimes différents des eaux souterraines, puits artésiens et boit-tout, rivières souterraines, sources intermittentes, etc.

Dans le troisième, l'auteur s'attache à la recherche des sources et des eaux souterraines. Après un historique de la question (baguette divinatoire, sorciers, procédés scientifiques) il fixe les signes extérieurs qui révèlent aux savants les diverses connaissances de la géologie et de la topographie.

Dans un dernier livre, M. Auscher passe aux applications de la pratique hydrographique proprement dite. Il aborde le captage des eaux, ou ensemble des travaux qu'il est nécessaire d'effectuer pour arriver à utiliser les eaux des sources, des puits ou des puits artésiens ; d'où découle une étude détaillée du captage des eaux : 1° derrière un barrage ; 2° dans des galeries ou drains ; 3° dans des puits.

**Le Pain et la Viande**, par J. DE BRÉVANS, chimiste principal au Laboratoire municipal de Paris. Préface par M. E. RISLER, directeur de l'Institut national agronomique, 1892, 1 vol. in-16 de 360 pages, avec 97 figures cartonné..... 4 fr.

*Le Pain.* — Les Céréales. — La Meunerie. — La Boulangerie. — La Pâtisserie et la Biscuiterie. — Altérations et Falsifications. — *La Viande.* — Les Animaux de boucherie. — La Boucherie. — La Charcuterie. — Les Animaux de Basse-Cour. — Les Œufs. — Le Gibier. — Les Conserves alimentaires. — Altérations et Falsifications.

**Les Légumes et les Fruits**, par J. DE BRÉVANS.

Préface par M. A. MUNTZ, professeur à l'Institut national agronomique, 1893, 1 vol. in-16 de 324 pages, avec 132 figures, cart. 4 fr.

*Les légumes.* — La Pomme de terre. — La Garotte. — La Betterave. — Les Radis. — L'Oignon. — Le Haricot. — Le Pois. — Le Chou. — L'Asperge. — Les Salades. — Les Champignons, etc. — *Les Fruits.* — La Cerise. — La Fraise. — La Groseille. — La Framboise. — La Noix. — L'Orange. — La Prune. — La Poire. — La Pomme. — Le Raisin, etc. Origine, culture, variétés, composition, usages. Conservation. Analyse. Altérations et Falsifications. Statistique de la Production.

**Les Conserves alimentaires**, par J. DE BRÉVANS,

1896, 1 vol. in-16 de 396 pages, avec 72 figures, cart..... 4 fr.

M. de Brevans étudie tout d'abord les procédés généraux de conservation des matières alimentaires : par la concentration, par la dessiccation, par le froid, par la stérilisation et par les antiseptiques. Il examine ensuite les procédés spéciaux à chaque aliment.

A propos de la viande il traite de la conservation par dessiccation, des extraits de viande, des peptones, des conserves de soupes, de la conservation par le froid, des enrobages, de la conservation par la chaleur et l'élimination de l'air, par le salage et les antiseptiques. Vient ensuite l'étude des conserves de poissons, de crustacés et de mollusques. La conservation et la pasteurisation du lait, les laits concentrés, la conservation du beurre et des œufs terminent les aliments d'origine animale.

Il passe ensuite à l'étude de la conservation des aliments d'origine végétale : légumes, fruits, confitures, etc. L'ouvrage se termine par l'étude des altérations et des falsifications et par l'analyse des conserves alimentaires.

**Les Industries des abattoirs**, connaissance, achat

et abatage du bétail, préparation, commerce et inspection des viandes, produits et sous-produits de la boucherie et de la charcuterie, par L. BOURRIER, vétérinaire sanitaire du département de la Seine. 1897, 1 vol. in-16 de 356 pages, avec 77 fig., cart.. 4 fr.

Après une étude générale sur les abattoirs et le commerce de la boucherie, de la charcuterie et de la triperie, l'auteur passe successivement en revue le bœuf, le veau, le mouton, la chèvre et le cheval de boucherie, le porc : pour chacun il étudie l'achat et la connaissance des diverses races, l'abatage, la préparation des bêtes abattues, les abats, les issues, les suifs, les cuirs et les produits accessoires.

En dehors des parties comestibles, la bête abattue fournit des produits dont la valeur et l'emploi offrent une grande importance. Que deviennent les peaux, le sang, les suifs, les cornes, les os et les autres déchets de l'animal? M. Bourrier examine ensuite la viande abattue, les différentes catégories de viande, leurs qualités, leur conservation.

Il termine par l'inspection sanitaire des viandes.

---

**Manuel de Génie sanitaire**, par L.-A. BARRÉ, professeur à l'Association polytechnique, et P. BARRÉ. Préface par L. MASSON, inspecteur des travaux sanitaires de Paris. 1897, 2 vol. in-16, 723 pages, 258 figures, cartonnés..... 8 fr.  
I. *La Ville salubre*. 342 pages, 80 figures... 4 fr.

Dans la *Ville salubre*, les auteurs résument tout ce qu'il est essentiel de connaître en ce qui concerne l'assainissement. Ils étudient d'abord les principes généraux de l'hygiène urbaine, puis les moyens préconisés pour assainir le sol et l'air. Un important chapitre sur l'eau est suivi d'un exposé concis de la situation des eaux de Paris. Le chapitre suivant traite de l'utilisation des eaux d'égoût. Les établissements insalubres, puis les cimetières et la crémation forment des sections à part, et le premier volume se termine par des notices très intéressantes sur l'alimentation d'eau et les systèmes d'assainissement employés dans les principales villes de France et de l'étranger.

II. *La Maison salubre*. 381 pages, 178 figures... 4 fr.

Dans la *Maison salubre*, sont indiqués les meilleurs systèmes applicables à l'assainissement des habitations : appareils de filtrage, alimentation d'eau domestique, évacuation des eaux usées, water-closets, siphons, réservoirs de chasse, évier, systèmes de vidage, écoulement direct à l'égoût, égouts publics et privés, urinoirs, etc. Dans ce volume sont aussi indiquées les conditions exigibles de la *Maison idéale*, puis viennent les installations de bains, les lavoirs, les systèmes d'hydrothérapie et de buanderie, les appareils de chauffage et d'éclairage, la ventilation, les logements insalubres, etc.

---

**La Gymnastique et les Exercices physiques**, par le D<sup>r</sup> LEBLOND. Introduction par H. BOUVIER, membre de l'Académie de médecine. 1888, 1 vol. in-16 de 492 pages avec 80 figures, cartonné..... 4 fr.

Marche. — Course. — Natation. — Escrime. — Équitation. — Chasse. — Massage. — Exercices gymnastiques. — Applications au développement des forces, à la conservation de la santé, et au traitement des maladies.

---

**Physiologie et Hygiène des écoles, des collèges et des familles**, par J.-C. DALTON. 1888, 1 vol. in-16, de 534 pages, avec 67 figures, cartonné..... 4 fr.

Structure et mécanisme de la machine animale. — Les aliments et la digestion. — La respiration. — Le sang et la circulation. — Le système nerveux et les organes des sens. — Le développement de l'enfant.

---

**Premiers secours en cas d'accidents et d'indispositions subites**, par les D<sup>rs</sup> E. FERRAND, ancien interne des hôpitaux de Paris, et A. DELPECH, membre de l'Académie de médecine, 4<sup>e</sup> édition, 1891, 1 vol. in-16, de 339 pages, avec 106 figures, cartonné..... 4 fr.

Empoisonnés, noyés, asphyxiés, les blessés de la rue, de l'usine, de l'atelier : maladies à invasion subite; premiers symptômes des maladies contagieuses.

---



**Manuel de culture fourragère**, par DENAIFFE,

1896, 1 volume in-16 de 384 pages, avec 108 figures, cartonné. 4 fr.

Création des prairies. — Influence des climats et des sols. — Flore des différents terrains. — Fumure, semis, irrigation, et soins d'entretien des prairies. — Récolte, conservation, utilisation et valeur alimentaire des fourrages. — Graminées. — Légumineuses. — Plantes fourragères diverses. — Plantes nuisibles des prairies. — Ensilage. — Sidération. — Fourrages supplémentaires. — Fourrages à consommer en vert.

**Manuel de floriculture**, par PH. DE VILMORIN, 1900,

1 vol. in-16 de 324 pages, avec 208 figures, cartonné..... 4 fr.

Le développement prodigieux pris par le goût des fleurs a amené une révolution dans leur culture et leur commerce. D'où viennent toutes ces fleurs ? qui les cultive, les reçoit, les distribue ? quelle est la meilleure manière de les utiliser ? Ce sont toutes ces questions d'utilité pratique que M. de Vilmorin étudie. Il décrit la vente aux Halles, dans les marchés aux fleurs et dans les boutiques des fleuristes. Puis il énumère les principales plantes qui font l'objet des soins du producteur et, signalant les mérites des diverses espèces en même temps que leur culture, il traite des plantes annuelles, bisannuelles, vivaces, bulbeuses, de pleine terre, des orchidées et des plantes de serre, des arbres et arbustes fleurissant, des rosiers en particulier, enfin des plantes spéciales aux cultures du Midi et des accessoires des bouquets, verdure diverses, mousses et fougères.

**Les Cultures sur le littoral de la Méditerranée** (Provence, Ligurie, Algérie), par M. SAUVAIGO,

directeur du Muséum d'histoire naturelle de Nice. Introduction de CH. NAUDIN, de l'Institut, 1894, 1 vol. in-16 de 318 pages, avec 105 figures, cartonné..... 4 fr.

Ce livre sera le guide indispensable du botaniste, de l'amateur de jardin et de l'horticulteur, dans cette région privilégiée du Midi.

L'auteur décrit les plantes décoratives et commerciales des jardins du littoral méditerranéen, indique les types les plus répandus, leur emploi et leur mode de culture ordinaire et intensive, les plantes à fruits exotiques, les plantes à parfums, les plantes potagères et les arbres fruitiers. Il passe en revue la constitution du sol, les opérations culturales, les meilleures variétés de plantes, les insectes nuisibles, les maladies les plus redoutables.

**Les Cultures coloniales**, par M. JUMELLE, profes-

seur à la Faculté des sciences de Marseille, 1901, 2 vol. in-16 de 350 pages, avec figures, cart. .... 8 fr.

*Chaque volume se vend séparément :*

I. — La culture des plantes alimentaires des colonies, 1 vol. in-16, avec figures, cartonné..... 4 fr.

Les plantes à tige ou racine alimentaire. — Les céréales. — Les légumes et les plantes potagères. — Les fruits. — Les plantes à sucre. — Les plantes à épices et à aromates. — Le café, le cacao, le thé.

II. — La culture des plantes industrielles et médicinales des colonies, 1 vol. in-16, avec figures, cartonné..... 4 fr.

Les plantes textiles. — Les plantes oléagineuses. — Les plantes à caoutchouc et à gutta. — Les plantes à parfums et à vernis. — Les plantes tinctoriales et tanantes. — Les plantes médicinales. — Le tabac, les plantes à narcotique et à masticatoires. — Les plantes fourragères.

**Eléments de botanique agricole**, à l'usage de écoles d'agriculture, des écoles normales et de l'enseignement agricole départemental, par SCHRIBAUX, professeur à l'Institut national agronomique et NANOT, directeur de l'École d'horticulture de Versailles. 1 vol. in-16, de 328 pages, avec 260 figures, 2 planches coloriées et carte, cartonné..... 4 fr

Ce livre est destiné à tous ceux qui, ayant déjà des connaissances scientifiques, désirent des notions plus complètes de botanique pour les appliquer à une exploitation rationnelle du sol.

Des chapitres spéciaux sont consacrés au greffage, au bouturage, au marcottage, à la transplantation. L'étude des fruits, notamment la question si importante de leur conservation, a reçu un développement particulier.

**Les Plantes potagères et la culture maraîchère**, par E. BERGER, chef des cultures de la ville de Bordeaux, 1893, 1 vol. in-16, de 408 pages, avec 64 figures, cartonné..... 4 fr

Ce travail, conçu sur un plan nouveau, peut aussi bien être consulté par l'amateur que le jardinier : chacun y trouvera des renseignements qui l'intéresseront. L'auteur n'a fait ressortir que le côté pratique des cultures, ce qu'il est nécessaire de connaître pour arriver à bien faire. Après avoir donné des idées générales sur la création et l'installation, à peu de frais, d'un jardin maraîcher, il donne pour chaque plante :

1° L'Origine ; 2° la Culture de pleine terre et la Culture de primeurs sur couches et sous châssis, appropriée aux différents climats ; 3° la description des meilleures variétés à cultiver ; 4° les Graines, les moyens pratiques de les récolter, de les conserver, leur durée germinative ; 5° les Maladies et Animaux nuisibles, les meilleurs moyens pour les détruire ; 6° les Usages et les Propriétés économiques et alimentaires des plantes.

Une dernière partie comprend un calendrier des semis et plantations à faire pendant les douze mois de l'année.

**Les Engrais et la fertilisation du sol**, par A. LARBALETRIER, professeur à l'École départementale d'agriculture du Pas-de-Calais, 1891, 1 vol. in-16, de 352 pages, avec 74 figures, cartonné..... 4 fr

L'alimentation des plantes et la terre arable. L'amendement, chaulages, marnage, plâtrages. Les engrais végétaux. Les engrais animaux, le guano. Les engrais organiques mixtes et le lumier de ferme. Les engrais chimiques, composition et emploi, préparation, achat, formules.

**Eléments de botanique médicale**, contenant la description des végétaux utiles à la médecine, et des espèces nuisibles à l'homme, vénéneuses ou parasites, précédés de considérations sur l'organisation et la classification des végétaux, par A. MC QUIN-TANDON, membre de l'Institut, professeur d'histoire naturelle à la Faculté de médecine de Paris, 3<sup>e</sup> édition, 1 vol. in-16 de 543 pages, avec 133 figures, cartonné..... 4 fr

## Nouvelle médecine des familles, à la ville et à la campagne,

à l'usage des familles, des maisons d'éducation, des écoles communales, des curés, des sœurs hospitalières, des dames de charité et de toutes les personnes bien-faisantes qui se dévouent au soulagement des malades, par le Dr A.-C. DE SAINT-VINCENT, 13<sup>e</sup> édition, complètement refondue et mise au courant des derniers progrès de la science, 1900, 1 vol. in-16 de 452 pages, avec 129 figures, cartonné..... 4 fr.

Remèdes sous la main; premiers soins avant l'arrivée du médecin et du chirurgien; art de soigner les malades et les convalescents.

Ce livre est le résultat d'une pratique de vingt ans à la campagne et à la ville. En le rédigeant, l'auteur a eu pour but de mettre entre les mains des personnes bienfaisantes qui se dévouent au soulagement de nos misères physiques, qui vivent souvent loin d'un médecin ou d'un pharmacien, et qui sont appelées non pas seulement à donner des consolations, mais encore des conseils, un ouvrage tout à fait élémentaire et pratique, un guide sûr pour les soins à donner aux malades et aux convalescents.

À la ville comme à la campagne, on n'a pas toujours le médecin près de soi ou au moins aussitôt qu'on le désirerait; souvent même on néglige de recourir à ses soins pour une simple indisposition, dans les premiers jours d'une maladie. Pour obvier à ces inconvénients l'auteur a donné la description des maladies communes; il en fait connaître les symptômes et les a fait suivre du traitement approprié, éloignant avec soin les formules compliquées dont les médecins seuls connaissent l'application.

## La Pratique de l'Homœopathie simplifiée,

par A. ESPANET, 4<sup>e</sup> édition, 1894, 1 vol. in-16 de 396 p., cart. 4 fr.

Signes et natures des maladies; traitement homœopathique; prophylaxie; mode d'administration des médicaments; soins aux malades et aux convalescents.

Cette nouvelle édition a subi de nombreux changements qui ont eu pour but de la rendre encore plus méthodique; elle a reçu des additions nécessitées par les progrès du diagnostic et de la thérapeutique.

## Conseils aux mères sur la manière d'élever les enfants nouveau-nés,

par le Dr A. DONNÉ, 8<sup>e</sup> édition, 1894, 1 vol. in-16, de 378 pages, cartonné..... 4 fr.

Hygiène de la mère pendant la grossesse; allaitement maternel; nourrices; biberons; sevrage; régime alimentaire; vêtements; sommeil; dentition; séjour à la campagne; accidents et maladies; développement intellectuel et moral.

## Conseils sur la manière de nourrir les enfants,

par le Dr BACHELET. Nouvelle édition, 1894, 1 vol. in-16 de 278 pages, cartonné..... 4 fr.

L'enfance et son régime. — Le lait, l'allaitement naturel et artificiel. — La bouillie et la panade. — Le sevrage. — Les dents et les maladies attachées à leur éruption. — Les vers chez les enfants. — Régime des nourrices. — Premiers symptômes des maladies contagieuses qui peuvent atteindre les jeunes enfants.

# ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

**G. WÉRY**

Sous-Directeur de l'Institut National Agronomique

**Introduction par P. REGNARD**

Directeur de l'Institut National Agronomique

22 volumes in-16 de chacun 400 à 500 pages illustrées de nombreuses figures.  
Chaque volume : 5 fr.

Les premiers volumes paraîtront en octobre 1902. L'ouvrage sera complet en 1903.

<i>Agriculture générale</i> .....	M. DIFFLOTH, professeur départemental d'agriculture à Valenciennes.
<i>Plantes Industrielles</i> .....	M. TROUDE, professeur à l'École nationale des industries agricoles de Douai.
<i>Céréales</i> .....	M. LAVALLEE, professeur à l'École supérieure d'agriculture d'Angers.
<i>Prairies naturelles et artificielles.</i>	} M. GAROLA, professeur départemental d'agriculture à Chartres.
<i>Engrais</i> .....	
<i>Drainage et irrigations</i> .....	} M. RISLER, directeur honoraire de l'Institut national agronomique.
<i>Cultures potagères</i> .....	
<i>Arboriculture</i> .....	} M. WÉRY, sous-directeur de l'Institut national agronomique.
<i>Sylviculture</i> .....	
<i>Viticulture</i> .....	} M. BUSSARD, chef des travaux à l'Institut national agronomique.
<i>Vinification, Vinaigre et Eau-de-olive.</i>	
<i>Zoologie agricole</i> .....	M. FRON, professeur à l'École forestière des Barres (Loiret).
<i>Zootéchnie générale</i> .....	} M. PACOTTE, chef des travaux à l'Institut national agronomique.
<i>Zootéchnie spéciale (Races)</i> .....	
<i>Machines agricoles</i> .....	M. GUÉNAUX, répétiteur à l'Institut national agronomique.
<i>Constructions rurales</i> .....	M. BAUDOIN, chef des travaux à l'Institut national agronomique.
<i>Économie agricole</i> .....	} M. COUPAN, préparateur à l'Institut national agronomique.
<i>Législation rurale</i> .....	
<i>Technologie agricole (Sucrierie, féculerie, meunerie, boulangerie)</i>	} M. DANGUY, directeur des études à l'École nationale d'agriculture de Grignon.
<i>Distillerie, Brasserie, Cidrerie.</i>	
<i>Aquiculture</i> .....	M. JOUZIER, professeur à l'École nationale d'agriculture de Rennes.
<i>Laiterie</i> .....	M. SAILLARD, professeur à l'École nationale des industries agricoles de Douai.
	M. BOULLANGER, chef de Laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille.
	M. DELONCLE, inspecteur général de l'enseignement de la pisciculture, chef de cabinet du Ministre de l'Agriculture.
	M. MARTIN, directeur de l'École nationale d'industrie laitière de Mamirolle.

Les souscriptions aux 22 volumes sont reçues au prix de 100 francs.  
Jusqu'au 1<sup>er</sup> Octobre.

A.-E. BREHM

# Les Merveilles de la NATURE

Collection recommandée par le Ministère de l'instruction publique.  
Pour les bibliothèques de quartier et de professeurs dans les lycées et collèges  
et les distributions de prix.

## L'HOMME ET LES ANIMAUX

Description populaire des Races Humaines et du Règne Animal

*Caractères, Mœurs, Instincts, Habitude et Régime, Chasses, Combats  
Captivité, Domesticité, Acclimatation, Usages et Produits.*

10 volumes

### *Les Races Humaines*

Par R. VERNEAU

1 vol. gr. in-8, 792 pages avec 531 figures.  
12 fr.

### *Les Mammifères*

Édition française par Z. GERBE

2 vol. gr. in-8, 1636 pages avec 728 fig.  
et 40 pl. .... 24 fr.

### *Les Oiseaux*

Édition française par Z. GERBE

2 vol. gr. in-8, 1697 pages avec 482 fig.  
et 40 pl. .... 24 fr.

### *Les Reptiles et les Batraciens*

Édition française par E. SAUVAGE

1 vol. grand in-8, 762 pages avec 324 fig.  
et 20 pl. .... 12 fr.

2 volumes

### *La Terra, les Mers et les Continents*

Par P. PRIEM

1 vol. gr. in-8, 708 p. avec 757 fig. 12 fr.

3 volumes

### *Le Monde des Plantes*

Par P. CONSTANTIN

2 vol. gr. in-8 1584 p. avec 1752 fig. 24 fr.

Ensemble, 15 volumes grand in-8, ensemble 11854 pages, avec  
1129 figures intercalées dans le texte et 176 planches tirées sur papier  
teinté, 180 francs.

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT

Broché 12 fr. — Relié en demi-chagrin, plats toile, tranches dorées, 17 fr.

10 volumes

### *Les Poissons et les Crustacés*

Édition française par E. SAUVAGE  
et J. KUNCKEL D'HERCULAIS

1 vol. gr. in-8, 836 pages avec 789 fig.  
et 20 pl. .... 12 fr.

### *Les Insectes*

Édition française

Par J. KUNCKEL D'HERCULAIS

2 vol. gr. in-8, 1522 pages avec 2068 fig.  
et 36 pl. .... 24 fr.

### *Les Vers, les Mollusques*

Les Échinodermes, les Zoophytes, les  
Protozoaires et les Animaux des grandes  
profondeurs.

Édition française par A.-T. de ROCHEBRUNE

1 vol. gr. in-8, 780 pages avec 1302 fig.  
et 20 pl. .... 12 fr.

## LA TERRE

2 volumes

### *La Terre avant l'apparition de l'homme*

Par P. PRIEM

1 vol. gr. in-8, 715 p. avec 856 fig. 12 fr.

## LES PLANTES

3 volumes

### *La Vie des Plantes*

Par P. CONSTANTIN et d'HUBERT

1 vol. gr. in-8, 812 p. avec 1340 fig. 12 fr.

# **DICTIONNAIRE**

**D<sup>r</sup> Paul BONAMI**

Médecin en chef de l'hospice de la Bienfaisance, Lauréat de l'Académie de médecine

COMPRENANT

de **Médecine domestique**

LA MÉDECINE USUELLE  
L'HYGIÈNE JOURNALIÈRE

LA PHARMACIE DOMESTIQUE ET LES APPLICATIONS DES NOUVELLES  
CONQUÊTES DE LA SCIENCE A L'ART DE GUÉRIR

1 vol. gr. in-8 de 950 pages à 2 colonnes avec 700 figures intercalées dans le texte

Broché..... 16 fr. | Relié en toile rouge, fers spéciaux. 18 fr.

# **DICTIONNAIRE**

Par le professeur **A. HÉRAUD**

Pharmacien en chef de la marine

DESCRIPTION  
HABITAT ET CULTURE  
RÉCOLTE — CONSERVATION  
PARTIES USITÉES

des **Plantes médicinales**

COMPOSITIONS CHIMIQUES — FORMES PHARMACEUTIQUES ET DOSES  
ACTION PHYSIOLOGIQUE, USAGES DANS LE TRAITEMENT DES MALADIES. ÉTUDE  
DES PLANTES MÉDICINALES AU POINT DE VUE BOTANIQUE, PHARMA-  
CEUTIQUE ET MÉDICAL — CLEF DICHOTOMIQUE  
ET TABLEAU DES PROPRIÉTÉS MÉDICINALES

*Troisième édition revue et augmentée*

1 volume in-18 jésus de 652 pages avec 294 figures, cartonné.. 7 fr.

Le même, in-8, avec figures coloriées..... 20 fr.

# **DICTIONNAIRE**

**Émile LITTRÉ**

Membre de l'Académie française  
et de l'Académie de médecine

OUVRAGE CONTENANT

LA SYNONYMIE GRECQUE  
LATINE, ALLEMANDE, ANGLAISE  
ITALIENNE ET ESPAGNOLE

de **MÉDECINE**

**DE CHIRURGIE, DE PHARMACIE**

**DE L'ART VÉTÉRINAIRE ET DES SCIENCES QUI S'Y RAPPORTENT**

19<sup>e</sup> édition mise au courant des progrès des sciences médicales et  
biologiques et de la pratique journalière. 1902, 1 volume gr. in-8,  
1904 p. à 2 col. avec 600 fig., cartonné. .... 20 fr.

Relié en demi-marocain, plats toile..... 25 fr.

# Dictionnaire de l'Industrie

Illustré de nombreuses figures intercalées dans le texte  
*Matières premières — Machines et Appareils — Méthodes de fabrication*  
*Procédés mécaniques — Opérations chimiques*  
*Produits manufacturés*

Par **JULIEN LEFÈVRE**

DOCTEUR ÈS SCIENCES, AGRÉGÉ DES SCIENCES PHYSIQUES,  
PROFESSEUR AU LYCÉE DE NANTES

1899. 1 vol. gr. in-8 de 900 à 950 pages à 2 colonnes, avec environ  
800 figures..... 25 fr.

136018

D

UES

1895. 1 vol.

25 fr.

Dictionnaire 0

BOUAN

Les Applications aux Sciences

à l'Industrie

A L'USAGE DES CHIMISTES

D) FABRICANTS DE PRODUITS CHIMIQUES

DES MUNICIPALITÉS,  
DES ÉCOLES, DES UNIVERSITÉS, DES LABORATOIRES DE CHIMIE, ETC.

1 vol. gr.

250 pag

..... 25 fr.

Ouvrage recommandé par le Ministère de l'Instruction publique pour les bibliothèques des lycées.

ENVOI FRANCO CONTRE UN MANDAT SUR LA POSTE.





## ORIENTAÇÕES PARA O USO

Esta é uma cópia digital de um documento (ou parte dele) que pertence a um dos acervos que fazem parte da Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP. Trata-se de uma referência a um documento original. Neste sentido, procuramos manter a integridade e a autenticidade da fonte, não realizando alterações no ambiente digital – com exceção de ajustes de cor, contraste e definição.

**1. Você apenas deve utilizar esta obra para fins não comerciais.** Os livros, textos e imagens que publicamos na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP são de domínio público, no entanto, é proibido o uso comercial das nossas imagens.

**2. Atribuição.** Quando utilizar este documento em outro contexto, você deve dar crédito ao autor (ou autores), à Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP e ao acervo original, da forma como aparece na ficha catalográfica (metadados) do repositório digital. Pedimos que você não republique este conteúdo na rede mundial de computadores (internet) sem a nossa expressa autorização.

**3. Direitos do autor.** No Brasil, os direitos do autor são regulados pela Lei n.º 9.610, de 19 de Fevereiro de 1998. Os direitos do autor estão também respaldados na Convenção de Berna, de 1971. Sabemos das dificuldades existentes para a verificação se uma obra realmente encontra-se em domínio público. Neste sentido, se você acreditar que algum documento publicado na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP esteja violando direitos autorais de tradução, versão, exibição, reprodução ou quaisquer outros, solicitamos que nos informe imediatamente ([dtsibi@usp.br](mailto:dtsibi@usp.br)).