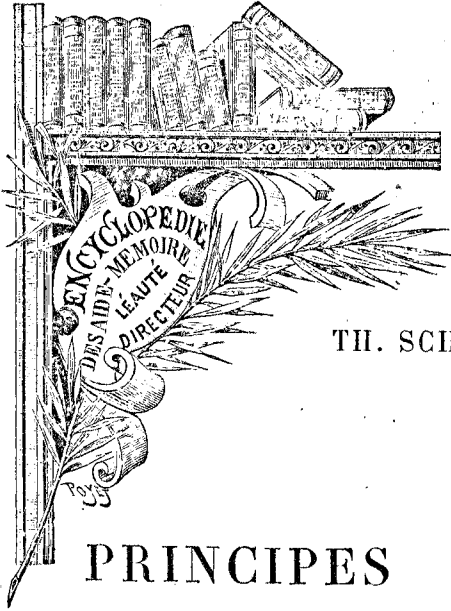


Section du Biologiste



TH. SCHLOESING FILS

PRINCIPES

DE

CHIMIE AGRICOLE

DEUXIÈME ÉDITION

MASSON ET C^o

GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section du Biologiste

MM.

Arloing (S.).
 Arsonval (d').
 Artault.
 Auvard.
 Azoulay.
 Ballet (Gilbert).
 Bar.
 Barré (G.).
 Barthélemy.
 Baudouin (M.).
 Bazy.
 Beauregard (H.).
 Beille.
 Bérard (L.).
 Bergé.
 Bergonié.
 Bérillon.
 Berne (G.).
 Berthault.
 Blanc (Louis).
 Blanchard (H.).
 Bodin (E.).
 Bonnaire.
 Bonnier (P.).
 Brault.
 Brissaud.
 Broca.
 Brocq.
 Brun.
 Brun (H. de).
 Carrion.
 Castex.
 Catrin.
 Casal (du).
 Cazeneuve.
 Chantemesse.
 Charrin.
 Charvet.
 Chatin (J.).
 Cornevin.
 Cristiani.
 Critzman.
 Cuenot (L.).
 Dallemagne.
 Dastre.
 Dehérain.
 Demmler.
 Demelin.
 Desmoulins (A.).
 Dubreuilh (W.).
 Duval (Mathias).
 Ehlers.
 Etard.

MM.

Fabre-Domergue.
 Faisans.
 Féré.
 Fernbach (A.).
 Feulard.
 Florand.
 Filhol (H.).
 Foex.
 François-Franck (Ch)
 Galippe.
 Gamaieta.
 Gariel.
 Gasser.
 Gautier (Armand).
 Gérard-Marchant.
 Gilbert.
 Girard (Aimé).
 Girard (A.-Ch.).
 Giraudeau.
 Girod (P.).
 Gley.
 Gombault.
 Grancher.
 Gréhan (N.).
 Guerne (J. de).
 Haller.
 Hallion.
 Hanot.
 Hartmann (H.).
 Henneqny.
 Henocque.
 Houdaille.
 Jacquet (Lucien).
 Joffroy.
 Kayser.
 Köstler.
 Labat.
 Labit.
 Lalesque.
 Lamy.
 Langouzy.
 Langlois (P.).
 Lannelongue.
 Lanoix.
 Lapersonne (de).
 Larbalétrier.
 Laulanié.
 Lavarenne (de).
 Laveran.
 Lavergne (D^r).
 Layet.
 Le Dantec.
 Lesage.

MM.

Letulle.
 L'Hôte.
 Loir (Ad.).
 Loubié (H.).
 Loverdo.
 Magnan.
 Malpeaux.
 Marfan.
 Marie (A.).
 Martin (A.-J.).
 Mayrier.
 Mégnin (P.).
 Merklen.
 Meunier (Stanislas).
 Meunier (Victor).
 Meyer (D^r).
 Monod.
 Moussous.
 Napias.
 Nocard.
 Nogués.
 Olivier (Ad.).
 Olivier (L.).
 Ollier.
 Patouillard.
 Peirare.
 Perrier (Edm.).
 Peyrot.
 Poix.
 Polin.
 Pouchet (G.).
 Pozzi.
 Prillieux.
 Ravaz.
 Reclus.
 Roché (G.).
 Roger (H.).
 Roux.
 Séglas.
 Segond.
 Serieux.
 Straus.
 Talamon.
 Testut (Léo).
 Tissier (D^r).
 Thoulet (J.).
 Trouessart.
 Trousseau.
 Vallon.
 Viala.
 Weill-Mantou (J.).
 Weiss (G.).
 Wurtz.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

SCHLESING — Chimie Agricole

1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire; F. Lafargue, ancien
élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général,
169, boulevard Malesherbes, Paris.*

N° 24 B₂.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

PRINCIPES

DE

CHIMIE AGRICOLE

PAR

TH. SCHLÖESING FILS

Ingénieur des Manufactures de l'État

DEUXIÈME ÉDITION



PARIS

MASSON ET C ^{ie} , ÉDITEURS	GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE	IMPRIMEURS-ÉDITEURS
Boulevard Saint-Germain, 120	Quai des Grands-Augustins, 55

(Tous droits réservés)

AVERTISSEMENT

L'agriculture a essentiellement pour but la production végétale. Il est facile de comprendre que la chimie doive l'aider à développer cette production.

Que l'on considère, en effet, une graine qui vient d'être mise en terre. Elle produit, au bout d'un certain temps, un végétal dont le poids représente des milliers ou des millions de fois celui de la semence. Un apport considérable de matières a eu lieu par l'air et le sol. Les principes empruntés à ces deux milieux ont été transformés en des substances parfaitement définies et caractérisées, par exemple en sucre, amidon, cellulose, graisses, huiles, essences, résines, matières azotées, acides et alcalis organiques, composés minéraux divers. Or, toutes les fois qu'une industrie comporte des transformations dans la composition des matières mises en œuvre, elle

appelle le secours de la chimie, qui ne peut manquer de lui être utile. L'industrie agricole ne fait pas exception à cette règle.

Sans doute, le pouvoir de l'homme, même armé de la chimie, sur le développement des végétaux est restreint : des synthèses mêmes d'où résulte ce développement et dont la chaleur et la lumière du soleil, l'atmosphère, la nature du sol, sont les facteurs principaux, il n'est que spectateur. Mais par le travail de la terre, par les engrais, par les soins donnés aux plantes, par le choix et l'association des cultures, il peut indirectement exercer sur ces synthèses une très réelle influence, en leur préparant, autant qu'il dépend de lui, les meilleures conditions ; et la chimie l'éclaire et le seconde puissamment dans cette multiple action.

Au reste, les faits, qui fournissent toujours les plus solides démonstrations, prouvent jusqu'à l'évidence le profit qu'il est possible de tirer du concours de la chimie en matière agricole. On peut dire que cette science a été l'instrument de la plupart des progrès réalisés par l'agriculture depuis un demi-siècle. C'est elle qui a fait connaître les aliments des plantes, les sources où ils sont puisés et celles où il convient de les chercher quand naturellement ils sont trop rares. C'est elle qui a appris à déterminer les principes fertilisants contenus dans un engrais,

le degré d'utilité et, par suite, la valeur vénale de chacun d'eux, qui a acquis des notions certaines sur les assolements et la fertilité des terres, qui a proclamé la grande loi de la restitution, c'est-à-dire la nécessité de rendre au sol les substances qu'en emportent les récoltes. C'est elle encore qui sert de guide dans l'alimentation du bétail.

Ces considérations suffiront peut-être à montrer l'intérêt des études que nous allons faire.

La chimie agricole comprend nécessairement l'examen d'un certain nombre de questions, parmi lesquelles figurent l'étude de la nutrition végétale, celle de l'atmosphère considérée sous le rapport des aliments qu'elle offre aux plantes et celle du sol ; ce seront les trois sujets dont nous aurons à nous occuper ⁽¹⁾. Il n'y a pas un ordre rigoureusement déterminé dans lequel il faille les traiter. Nous adopterons celui qui vient d'être indiqué ; il est suffisamment logique : connaissant les aliments dont les plantes ont besoin, nous examinerons les deux milieux où elles se nourrissent et les ressources qu'elles y trouvent.

(1) Pour être complet, cet ouvrage devrait traiter de plusieurs autres questions telles que celles des engrais et amendements, des assolements, des méthodes d'analyse ; mais ces questions, très importantes par elles-mêmes, font l'objet d'autres ouvrages de l'*Encyclopédie*.

Les pages qui vont suivre présentent un résumé de l'étude, au point de vue chimique, de ces questions, résumé qui, sur bien des points, est réduit aux seuls faits fondamentaux. Elles s'adressent aux personnes qui, possédant déjà certaines connaissances en chimie, veulent être mises à même de comprendre les travaux dont la chimie agricole a été et est constamment l'objet, soit pour en tirer judicieusement les applications pratiques qui en découlent, soit pour entreprendre elles-mêmes des recherches sur la matière.

PREMIÈRE PARTIE

NUTRITION DES PLANTES

1. — Il n'y a pas longtemps qu'on possède des notions exactes sur la nutrition des plantes (1). Au commencement de ce siècle, les sources véritables de leurs aliments étaient encore presque ignorées. On était loin de croire que la principale de ces sources dût être placée dans l'atmosphère. Toute la substance végétale était considérée comme tirée du sol et spécialement de la matière organique, de l'humus, qu'il contient. On voyait les champs fertilisés par les fumiers et les débris animaux; on en concluait volontiers qu'une

(1) Les végétaux, comme chacun sait, se composent de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de petites quantités de soufre et de phosphore et enfin de matières minérales. Le carbone forme environ la moitié de la matière végétale sèche.

matière devait avoir eu vie pour devenir un engrais.

Diverses découvertes conduisirent à une théorie différant complètement de ces idées, dite de l'alimentation minérale, dont Liebig fut le principal promoteur (*Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*, 1840). Dans une leçon célèbre, concertée avec Boussingault et faite à l'École de médecine en 1841, Dumas l'exposa d'une manière remarquable (*Essai de statique chimique des êtres organisés*, Paris, 1844). Elle se résume ainsi : les plantes empruntent à l'air et à l'eau l'azote, le carbone, l'oxygène et l'hydrogène dont elles ont besoin ; elles transforment ces corps minéraux en matière organique, qui sert ensuite à l'alimentation animale ; après la vie, cette matière organique est décomposée et ses éléments font retour au règne minéral où la végétation les puisera de nouveau ; les principes minéraux qu'on trouve dans les plantes sont seuls empruntés au sol ; les plantes sont des appareils de synthèse chargés d'organiser la matière minérale pour les besoins des animaux. L'écllosion de cette théorie imprima une puissante impulsion à l'agriculture, dont elle guida les recherches. L'honneur en revient aux divers savants dont les découvertes ont fait avancer l'étude de la vie végétale, mais surtout à Boussingault qui, dans

cette voie, produisit les plus importants travaux, et à Liebig qui sut rassembler les faits acquis en une théorie précise (1).

Si nous connaissons la source de la matière organique des plantes, nous sommes encore loin de connaître les réactions successives pour lesquelles cette matière se constitue. Nous avons à peu près tout à apprendre sur le travail intime qui s'accomplit au sein de la cellule végétale. Mais, pour la pratique de l'agriculture, cette ignorance n'a pas de graves conséquences. L'essentiel est de connaître les besoins des plantes et les moyens de satisfaire ces besoins.

(1) Bernard Palissy, dès 1560, avait compris l'importance qu'il faut attacher aux matières minérales dans l'alimentation des végétaux ; il ne fit pas école. Lavoisier eut plus tard sur le même sujet des idées très nettes, qui devançaient son temps d'une manière extraordinaire et auxquelles il n'y aurait presque rien à changer aujourd'hui ; il n'eut pas le temps de les développer entièrement (*Chimie et Physiologie appliquée à l'agriculture et à la sylviculture*, par L. GRANDJEAN, Paris, 1879).

CHAPITRE PREMIER

GERMINATION

2. Généralités. — Une graine est un embryon à l'état de repos, enfermé dans une enveloppe protectrice et pourvu de matières de réserve destinées à lui fournir sa première nourriture. La germination consiste dans le développement de cet embryon aux dépens de la substance de la graine.

Dans toutes les graines, on trouve des matières ternaires, des matières azotées et des matières minérales.

Les matières ternaires sont essentiellement des hydrates de carbone, cellulose, amidon, fécules, gommes, sucres et corps gras. Ces divers principes sont, d'ailleurs, associés dans des proportions extrêmement variables. C'est tantôt l'amidon qui domine, comme dans le blé, tantôt une huile, comme dans les graines oléagineuses, tantôt une graisse, comme dans le cacao.

La matière azotée est nécessaire au développement de l'embryon. Elle varie avec la nature des graines ; dans le blé, elle constitue le gluten, dans les pois et les haricots, la légumine. C'est d'elle que procède, dans les cellules qui se forment, le protoplasme, substance essentiellement vivante du végétal.

Les sels alcalins et les phosphates forment la partie la plus importante des matières minérales. D'une graine à une autre, ils varient beaucoup en quantité ; mais ils ne font jamais complètement défaut.

On a connu de tous temps deux conditions de la germination : une certaine quantité d'eau et une certaine température.

L'eau dissout les principes nutritifs et les transporte vers l'embryon : en distendant la graine tout entière, elle facilite leur circulation. Elle permet, d'ailleurs, des réactions qui solubilisent des matières insolubles, dont l'embryon n'aurait pu profiter, si elles étaient restées immobilisées par leur état solide. C'est ainsi que l'amylase, diastase découverte et étudiée par Payen, agissant par l'intermédiaire de l'eau sur les principes amylicés, amidon ou fécule, les dissout et les convertit en dextrine et sucre.

La température nécessaire à la germination est très variable suivant les espèces végétales.

Le blé ne germe pas au-dessous de 5 ou 6° ; d'autres plantes exigent plus de chaleur, d'autres moins. Au-dessus de certaines températures, la germination devient également impossible ; le plus souvent, elle cesse de se produire entre 35° et 45°.

Th. de Saussure, considérant qu'il convient d'enfouir à une certaine profondeur la plupart des graines pour assurer la germination, fut amené à chercher si l'obscurité exerce quelque influence sur le phénomène. L'expérience lui montra que cette influence est nulle. Si les graines placées à la surface du sol ne germent pas en général, c'est que, dans ces conditions, elles ne prennent ni ne conservent l'humidité voulue.

3. Phénomènes chimiques de la germination. — Si l'on enferme des graines sous une cloche contenant de l'air humide, on constate que, ces graines ayant germé, une proportion plus ou moins grande de l'oxygène gazeux a disparu dans l'atmosphère de la cloche et a été remplacée par de l'acide carbonique. Le carbone de la graine a été en partie brûlé. En même temps le poids des graines, supposées sèches, a très notablement diminué. Lorsqu'on substitue à l'air de l'hydrogène, de l'azote ou tout autre gaz inerte, la germination n'a pas lieu ; les graines pourrissent et l'embryon meurt. Ainsi

l'oxygène est nécessaire à l'accomplissement du phénomène (¹).

Boussingault a appliqué à l'étude de la germination l'analyse élémentaire. Les graines sur lesquelles il opérait étaient partagées en deux lots de même poids. Un des lots était immédiatement analysé après dessiccation à 110° ; l'autre était abandonné pendant un certain temps à la germination à l'air libre, puis desséché et analysé. De la comparaison des résultats fournis par les deux lots, on déduisait les modifications survenues dans la composition élémentaire du second au cours de la germination. Cette méthode est indirecte ; elle ne s'appuie pas sur l'examen et la mesure des produits mêmes qui ont pris naissance. Néanmoins, elle a rendu de précieux services. Elle permet aisément de constater que la germination fait perdre aux graines du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène ; mais, pour en tirer tout le parti qu'il est possible, il convient d'y ajouter un perfectionnement.

Une difficulté spéciale se rencontre dans les recherches sur la germination. Pour mesurer ses effets, il y a intérêt à la prolonger le plus possible. Mais alors, bien avant qu'elle ait pris fin, des phénomènes inverses ont lieu, qui ten-

(¹) SAUSSURE. — *Recherches chimiques sur la végétation.*

dent à masquer ces effets. Quand la plante embryonnaire est encore loin d'avoir épuisé tout l'approvisionnement de la graine et continue à lui emprunter des aliments, elle a déjà poussé au dehors des parties vertes qui prélèvent certains de ces mêmes aliments sur l'atmosphère. Les analyses ne mènent à une conclusion que si la germination a été suspendue avant la production des phénomènes inverses dont il s'agit ; ce qui diminue la durée des expériences et par suite l'exactitude des mesures.

On tourne la difficulté en maintenant à l'obscurité les graines sur lesquelles on opère. Dans ces conditions, les fonctions d'assimilation ne s'exercent plus et la germination peut être prolongée jusqu'à ce que les graines (y compris les nouveaux organes qui se forment) aient perdu la moitié de leur poids (Boussingault)⁽¹⁾.

Opérant comme il vient d'être dit sur du froment, des pois, des haricots, Boussingault a trouvé que les poids d'hydrogène et d'oxygène disparus correspondaient à peu près à un départ d'eau. La combustion du carbone s'était faite, par suite, aux dépens de l'oxygène extérieur. Ainsi, dans la germination prolongée, les pertes

(1) Il faut reconnaître qu'en prolongeant outre mesure la germination, on s'éloigne des conditions naturelles.

de la graine peuvent être considérées comme consistant essentiellement en eau et en carbone. Il n'en est pas complètement de même pour toutes les graines: Avec le maïs géant, la perte d'hydrogène, est un peu moindre, relativement à la perte d'oxygène, que celle qui correspondrait à une perte d'eau. « L'hydrogène et l'oxygène, dit Boussingault, ne sont plus éliminés dans un rapport aussi simple pendant le développement à l'obscurité de plantes provenant de graines riches en matières grasses et en huiles ».

Sous le rapport de leur composition immédiate, les graines subissent au cours de la germination d'importantes modifications. Voici, par exemple, celles que Boussingault a constatées sur le maïs géant. Après trois semaines, les graines ayant donné à l'obscurité des tiges de 8 à 10 centimètres et des feuilles de 8 à 30 centimètres de longueur, l'analyse fournit les résultats suivants : l'amidon, dont les grains contenaient au début 74 %, avait presque entièrement disparu ; une partie avait dû fournir le carbone qui avait été brûlé ; le reste s'était transformé en d'autres principes, particulièrement en sucre et en cellulose. Les plantes peuvent, en effet, suivant leurs besoins, solubiliser l'amidon ou inversement changer le sucre en une matière insoluble, la cellulose. Nous ne savons reproduire que la première de ces transformations. On conçoit que

les plantes doivent opérer la seconde, puisque leurs cellules ont à se multiplier et que celles-ci sont constituées en grande partie par la cellulose. On peut remarquer que ces réactions s'accomplissent sans le concours de la lumière. La proportion d'huile avait passé, dans les graines de notre expérience de 5,4 à 1,7 % ; cette diminution s'explique encore par la combustion du carbone ; une partie de l'huile a pu, d'ailleurs, servir comme l'amidon à faire de la cellulose ; et, en effet, les graines oléagineuses, qui ne renferment pas d'amidon, fournissent à l'obscurité des plantes où l'on retrouve plus de cellulose qu'il n'y en avait primitivement dans ces graines mêmes ; il n'y a guère alors que les éléments de l'huile qui ont pu constituer l'excès de la cellulose. Quant à la matière azotée, estimée d'après le taux d'azote, elle n'a pas varié en quantité (1) ; mais elle s'est transformée, passant d'abord en majeure partie de l'état colloïdal et non diffusible à celui d'asparagine, cristalloïde et soluble (Boussingault, Schulze), puis quittant la graine pour se répandre dans la plante et y former le

(1) Par une méthode précise, fondée sur la mesure et l'analyse de l'atmosphère au sein de laquelle s'effectue la germination, on a constaté récemment que les graines (blé, lupins) ne perdaient pas, en germant, une trace appréciable d'azote à l'état gazeux (Th. Schloësing fils, *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, 1895).

protoplasme des cellules qui ont pris naissance. On le voit, les diverses matières organiques constituant les réserves ont subi une véritable *digestion*. Les matières minérales n'ont naturellement pas changé, aucune source de ces matières n'étant supposée ici à la portée des graines.

Dans la germination des graines oléagineuses (radis, pavot, colza), les corps gras neutres sont saponifiés assez rapidement (Müntz); on constate la mise en liberté d'acides gras, en même temps que la production d'hydrates de carbone.

La germination des tubercules et des bulbes présente des caractères analogues à celle des graines (phénomènes de combustion, de solubilisation). L'évolution des bourgeons, chez les plantes vivaces, se rapproche aussi de la germination; les réserves qu'elle utilise au début de la végétation annuelle, sont logées dans les couches ligneuses, qui remplacent alors les cotylédons ou le péricarpe.

CHAPITRE II

ORIGINE ET ASSIMILATION DU CARBONE DES PLANTES

4. Constatation des faits. Historique. —
Au premier rang des aliments des végétaux se trouve le carbone. Ce corps entre dans toutes les combinaisons organiques, dont il est comme le noyau essentiel. Certains principes immédiats sont exempts d'hydrogène, d'autres d'oxygène, d'autres d'azote ; il n'en est pas qui ne renferme de carbone. L'assimilation de cet élément est un phénomène d'un haut intérêt, dont la découverte est due aux efforts de plusieurs savants illustres.

En 1749, Bonnet, naturaliste genevois, ayant plongé des feuilles vertes dans de l'eau ordinaire, les vit se couvrir de bulles gazeuses. Il constata que le phénomène ne se produisait pas si l'on employait de l'eau bouillie et en conclut que, lorsque les bulles se formaient, elles provenaient des gaz tenus en dissolution dans l'eau.

Priestley démontra, en 1771, que le gaz émis par les parties vertes des plantes consistait en oxygène. Il vit nettement le rôle que joue par là la végétation dans la purification de l'air souillé par la vie animale et les combustions. L'une de ses expériences était la suivante : Un jet de menthe était introduit sous une cloche où une chandelle, après avoir brûlé quelque temps, s'était éteinte. Au bout de dix jours, l'air de cette cloche redevenait propre à la combustion ; une chandelle pouvait y brûler de nouveau. Priestley comprit qu'il avait découvert l'une des plus belles harmonies de la nature. « Le tort, dit-il, que font continuellement à l'air la respiration d'un si grand nombre d'animaux et la putréfaction de tant de masses de matière végétale et animale, est réparé, du moins en partie, par la création végétale ».

Mais les expériences telles que la précédente ne réussissaient pas toujours. Une condition du phénomène était encore à déterminer. Ingenhousz la découvrit en 1780. Il vit que la lumière solaire était nécessaire à la formation d'oxygène (on sait aujourd'hui que la lumière électrique peut produire le même effet ; la lumière du gaz d'éclairage le produit aussi, mais à un moindre degré) ; dans l'obscurité les feuilles viciaient l'air. Il vit de plus que l'intensité du dégagement d'oxygène variait avec la nature de l'eau

où les feuilles étaient immergées ; l'eau de source donnait plus de gaz que l'eau de rivière.

Enfin Senebier, de Genève, montra que l'oxygène émis par les feuilles provient de la décomposition de l'acide carbonique dissous dans l'eau. Dès lors on comprend que, dans les expériences d'Ingenhousz, l'eau de source, plus riche en acide carbonique que l'eau de rivière, ait fourni plus d'oxygène. L'acide carbonique devait donc favoriser le développement des végétaux. Percival confirma le fait ; il observa qu'une menthe végétait mieux dans de l'air mêlé d'acide carbonique qu'à l'air libre.

L'origine du carbone des végétaux se déduit de ces découvertes. L'atmosphère renferme de l'acide carbonique, comme chacun sait. Sous l'influence de la lumière, les végétaux décomposent cet acide, en rejetant de l'oxygène et fixant du carbone.

Cette fonction n'appartient qu'aux parties vertes ; elle résulte de l'action de la chlorophylle, substance à laquelle ces parties doivent leur coloration (1) ; on la désigne souvent sous le nom de fonction chlorophyllienne.

(1) L'intensité de la coloration est due à la fois à la proportion de chlorophylle (substance azotée, mélange de plusieurs espèces, soluble dans l'alcool, avec lequel elle donne une dissolution dichroïque, verte par transmission et rouge par réflexion) et à celle de carotène

Les végétaux ou parties de végétaux dépourvue de chlorophylle sont incapables d'effectuer la décomposition de l'acide carbonique (1). Ils se nourrissent par intussusception de matières élaborées par des organes à chlorophylle.

5. Expériences de mesure. — Th. de Saussure entreprit le premier des expériences de mesure sur l'assimilation du carbone par les végétaux. Il fit diverses cultures dans des appareils renfermant 8 % d'acide carbonique, proportion qu'il jugeait la plus convenable à la suite d'essais préliminaires et détermina au moyen de l'analyse, en fin d'expérience, d'une part, le carbone fixé par les plantes et, d'autre part, celui qui correspondait à l'acide carbonique disparu des atmosphères gazeuses. Il obtint une concordance suffisante entre les deux résultats et donna ainsi

(matière rouge, découverte dans les feuilles par M. Arnaud, soluble dans l'éther de pétrole et le sulfure de carbone). Voir sur la préparation, la composition et les propriétés des chlorophylles les importants travaux de M. A. Gautier et de M. Étard (*Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, 1879 et 1892).

(1) Cette proposition n'est plus absolument générale. « Certaines matières colorantes, distinctes de la chlorophylle à la fois par leur couleur et par la nature des radiations qu'elles absorbent, donnent au protoplasme qu'elles imprègnent la propriété de décomposer l'acide carbonique à la lumière et de dégager l'oxygène en assimilant le carbone » (VAN TIEGHEM. — *Traité de Botanique*, I, p. 667).

sinon une mesure très exacte de l'assimilation du carbone dans les conditions de ses essais, du moins une preuve directe du phénomène. Pour que la végétation s'accomplît dans une atmosphère de composition normale, il opéra encore autrement. Il sema des fèves dans un sol artificiel composé de silex et par conséquent exempt de principes carbonés (1). Ce sol, entretenu en état convenable d'humidité, était contenu dans un pot de verre qui fut placé en plein champ. Après trois mois, les plantes furent arrachées et analysées ; on y trouva plus de deux fois autant de carbone qu'il y en avait au début dans les graines employées. L'excès de carbone ne pouvait provenir que de l'acide carbonique aérien. Quoique moins directe que les précédentes, cette expérience était à peu près aussi probante quant à l'origine du carbone fixé.

Boussingault fit pénétrer dans un ballon un rameau d'une vigne en pleine végétation et dosa comparativement l'acide carbonique dans de l'air ayant traversé le ballon et dans l'air extérieur.

Il trouva, dans le premier, deux fois moins

(1) Saussure, un des premiers, fit usage de sol stérile dans des recherches sur la végétation. Ce moyen d'étude a été largement mis à profit après lui et a rendu les plus grands services.

d'acide carbonique que dans le second, quand le ballon était exposé au soleil. La nuit, la différence était en sens inverse; on en aura bientôt la raison.

De toutes les recherches exécutées sur le sujet qui nous occupe, il résulte que les végétaux empruntent la plus grande partie de leur carbone à l'acide carbonique atmosphérique. Ils en empruntent bien quelque peu au sol en absorbant par les racines des carbonates ou des liquides tenant en dissolution de l'acide carbonique ou même des substances organiques; mais ce qui leur vient de cette source est probablement peu de chose, en général, du moins pour les végétaux à chlorophylle et non parasites.

L'atmosphère ne renferme qu'une minime proportion d'acide carbonique (3 dix-millièmes en volume, ainsi qu'on le verra plus loin). On est tenté de s'étonner que les plantes en soutiennent tant de carbone. Mais on s'explique qu'il en puisse être ainsi dès qu'on songe à l'agitation continuelle qu'elle subit et qui renouvelle incessamment les portions d'air en contact avec les feuilles, à la rapidité de l'absorption (Dehérain et Maquenne) et aussi à l'énorme développement du système feuillu des végétaux. Boussingault a calculé pour un certain nombre de cultures et par hectare la surface des feuilles et des tiges qui constituent les parties vertes. Voici ses

chiffres (ils comprennent les deux faces ⁽¹⁾ des feuilles); ils sont intéressants à connaître pour diverses questions :

Végétaux	Mètres carrés
Topinambours	$\left. \begin{array}{l} 136000 \\ 6410 \end{array} \right\} 142410$
$\left. \begin{array}{l} \text{Surface des feuilles en septembre.} \\ \text{Surface des tiges (hauteur 2 à} \\ \text{3 mètres)} \end{array} \right\}$	
Froment, en fleur, 19,5 plants par mètre carré.	35490
Pommes de terre, en fleur; les plants	$\left. \begin{array}{l} 36610 \\ 3031 \end{array} \right\} 39641$
$\left. \begin{array}{l} \text{espacés de } 0^m,60. \\ \text{feuilles} \\ \text{tiges vertes.} \end{array} \right\}$	
Betteraves champêtres en terrain très riche, premiers jours d'octobre; plants espacés de 0 ^m ,60.	49921

6. Influence de l'intensité lumineuse et de la coloration de la lumière constatée sur des plantes aquatiques. — Cloëz et Gratiolet ⁽²⁾ ont étudié la décomposition de l'acide carbonique par les plantes aquatiques plongées dans l'eau et maintenues par conséquent dans les conditions normales de leur existence.

L'intensité de la décomposition était estimée par la quantité d'oxygène produit. Les mesures gagnent beaucoup en exactitude lorsqu'on opère

(1) En réalité, les deux faces n'assimilent pas également le carbone; l'assimilation se fait surtout par la face supérieure, dans les cellules en palissade riches en grains de chlorophylle.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 1851.

au sein de l'eau et non plus dans l'air ordinaire. En effet, un litre d'eau ordinaire contient seulement en dissolution une dizaine de centimètres cubes d'oxygène, soit environ vingt fois moins qu'un égal volume d'air; il y aura donc dans les appareils vingt fois moins d'oxygène préexistant s'ils sont remplis d'eau que s'ils sont remplis d'air. Par suite, la variation de l'oxygène, c'est-à-dire l'oxygène provenant de la décomposition de l'acide carbonique, pourra être bien mieux appréciée.

Les expériences de Cloëz et Gratiolet ont donné lieu à plusieurs observations très intéressantes.

L'influence de l'intensité de l'action lumineuse et l'instantanéité de cette action sont remarquables; l'ombre d'un léger nuage passant dans l'atmosphère suffit pour ralentir aussitôt le dégagement gazeux, qui reprend son activité dès que l'ombre a cessé. On produit aisément ces alternatives avec un écran.

La coloration de la lumière influe à un haut degré sur la fonction chlorophyllienne. On s'en rend compte en enfermant les appareils sous des cages de verre diversement coloré ⁽¹⁾.

La lumière verte a peu d'action. On doit considérer ce fait comme une des causes qui nuisent

(1) Voir les travaux plus récents de Timiriaseff, Rejnke, Engelmann (*Ann. agr.* t. VIII, IX, X, XII).

à la végétation sous le couvert des arbres ; car, dans ces conditions, les plantes ne reçoivent guère que des rayons ayant traversé des feuillages situés au-dessus d'eux.

7. Divers faits relatifs à l'assimilation du carbone. — Boussingault a cherché à savoir si la présence de l'oxygène est une condition nécessaire de l'assimilation du carbone (1). A cet effet, il a introduit des feuilles dans des cloches renfermant de l'acide carbonique et les y a laissées séjourner en présence de bâtons de phosphore, en les maintenant à l'obscurité jusqu'à ce que le phosphore eût cessé d'être lumineux. On était ainsi assuré que l'atmosphère était parfaitement privée d'oxygène. Les cloches étaient exposées au soleil pendant quelque temps, puis de nouveau portées dans l'obscurité. On voyait alors luire le phosphore ; c'était la preuve que de l'oxygène, provenant de la décomposition de l'acide carbonique, s'était produit. En quelques minutes, la phosphorescence disparaissait ; on recommençait les mêmes opérations et l'on constatait les mêmes faits. Ainsi l'assimilation du carbone peut avoir lieu en l'absence absolue de l'oxygène.

La décomposition de l'acide carbonique, com-

(1) L'absence prolongée d'oxygène tueerait infailliblement toute plante ; on va le voir à propos de la respiration.

mencée dans ce gaz pur, s'accélère progressivement. Cette accélération ne paraît pas tenir à l'apparition d'oxygène, mais au fait que l'acide carbonique dilué est plus facilement assimilable. Elle s'observe quand on remplace l'oxygène par un gaz inerte, hydrogène, azote ou oxyde de carbone. En étudiant divers mélanges d'acide carbonique avec un gaz inerte, Boussingault a reconnu que cet acide est décomposé avec une intensité maxima lorsque sa proportion dans l'atmosphère en contact avec les parties vertes des plantes est voisine de 15 %. Saussure, nous l'avons vu au § 5, avait trouvé un chiffre inférieur, environ 8 d'acide carbonique pour 92 d'air. Mais la proportion dont il s'agit peut bien varier avec la nature des plantes et avec diverses circonstances des expériences.

Enfin, il y a lieu de se demander si les plantes possèdent la faculté d'absorber l'acide carbonique d'une manière indéfinie ou si cette faculté s'épuise à mesure qu'elle s'exerce. Boussingault ayant soumis les mêmes feuilles plusieurs fois de suite au contact d'une atmosphère riche en acide carbonique, constata que les quantités d'acide décomposé allaient chaque fois en diminuant. Il mesura ces quantités et établit ainsi des différences notables entre les feuilles des diverses espèces. Mais il ne faut pas se hâter de tirer des conclusions de ces résultats, car ils

ont été fournis par des parties végétales qui n'étaient pas dans les conditions ordinaires de la vie. Cette remarque explique le ralentissement observé dans l'assimilation du carbone. Une feuille isolée ne saurait sans cesse assimiler du carbone ; il faudrait, pour cela, qu'elle pût accumuler ce corps indéfiniment. Mais lorsqu'elle tient à la plante, elle est régulièrement débarrassée de l'excès de ses principes carbonés. On conçoit par là qu'elle puisse, dans les conditions naturelles, exercer pendant toute la durée de la végétation la fonction assimilatrice.

RESPIRATION DES PLANTES

8. — Les végétaux n'ont pas seulement la faculté de décomposer l'acide carbonique sous l'action de la lumière pour fixer du carbone et rejeter de l'oxygène. Saussure leur a reconnu une faculté inverse, en vertu de laquelle ils absorbent l'oxygène et émettent de l'acide carbonique. Il a montré que l'oxygène absorbé par les feuilles se combinait dans leur tissu. En effet, soumises à l'action du vide au sortir des appareils avec lesquels on avait constaté l'absorption de ce gaz, elles n'en émettaient pas une trace.

Le phénomène de l'absorption, de l'inspiration d'oxygène est nécessaire à la vie végétale, car si l'on abandonne des feuilles dans de l'hydro-

gène ou de l'azote, elles ne tardent pas à mourir. Elles résistent plus ou moins longtemps, suivant les espèces, à cette sorte d'asphyxie ; les unes continuent à vivre une douzaine d'heures, les autres plusieurs jours ; mais après un séjour suffisamment prolongé dans des milieux exempts d'oxygène, toutes meurent ; on le reconnaît à ce qu'elles deviennent incapables d'accomplir la fonction essentiellement vitale des végétaux, la décomposition de l'acide carbonique.

L'inspiration de l'oxygène est une fonction normale de la vie ; elle cesse après la désorganisation des tissus des plantes ; elle n'a plus lieu pour des parties végétales qui viennent d'être broyées.

L'ensemble de ces faits a conduit Saussure à assimiler l'absorption de l'oxygène et l'émission de l'acide carbonique par les végétaux au phénomène de la respiration animale.

Toutes les parties de la plante respirent. Saussure l'a prouvé par des expériences directes. L'intensité de la respiration est très variable suivant les parties ; mais toutes, et notamment les racines, ont besoin d'oxygène gazeux.

La respiration s'accomplit à la lumière et à l'obscurité. On l'observe sans difficulté avec une plante placée à l'obscurité ; mais pour la constater lorsque la plante est exposée à la lumière, il faut suspendre la fonction chlorophyllienne qui,

produisant des effets inverses et généralement plus marqués, la masque complètement. Dans ce but, on peut simplement enfermer la plante en vase clos avec de l'air dépouillé d'acide carbonique par de la baryte ou de la potasse (1). Le volume de l'atmosphère interne diminue par suite de la disparition progressive de l'oxygène, lequel est remplacé par du gaz carbonique qu'absorbe le réactif ; mais, pour divers motifs, cette diminution ne donne pas une mesure parfaite de la respiration. MM. Bonnier et Mangin ont procédé autrement. Pour étudier la respiration des végétaux à la lumière, ils ont fait usage d'anesthésiques (chloroforme, éther), supprimant la fonction chlorophyllienne (2).

La respiration est une fonction indépendante de l'assimilation du carbone ; car elle s'accomplit en l'absence de toute assimilation, et réciproquement (§ 7). Elle est beaucoup plus intense chez les très jeunes organes que chez les organes adultes. Elle est extrêmement active pour les bourgeons (Garreau, Moissan). Elle croît avec la température.

Elle est inférieure, dans ses effets, à l'assimila-

(1) GARREAU. — *Annales des Sciences naturelles*, 1851.

(2) Au sujet du rapport de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé dans la respiration, consulter Dehérain et Moissan, Dehérain et Maquenne, Bonnier et Mangin (*Annales des Sciences naturelles*, 1874, 1884 et 1885).

tion du carbone ; la résultante de ces deux opérations contraires se traduit par une fixation de matière, et il faut bien qu'il en soit ainsi pour que la plante se développe. Pendant la nuit, la respiration se produisant exclusivement, la plante perd du carbone à l'état d'acide carbonique ; mais, le matin, il peut suffire de trente minutes d'insolation pour réparer entièrement cette perte (1).

Des organes végétaux qu'on prive d'oxygène continuent durant quelque temps à émettre de l'acide carbonique ; dans ces conditions, ils fournissent eux-mêmes les deux éléments, carbone et oxygène, de ce gaz. Cette sorte de respiration des cellules végétales en l'absence d'oxygène gazeux est dite respiration intracellulaire ; elle est analogue à celle de la levure de bière (Pasteur) (2).

9. — On a beaucoup étudié, tant pour la fonction chlorophyllienne que pour la fonction respiratoire, le rapport $\frac{CO^2}{O}$, représentant

$\frac{\text{volume d'acide carbonique absorbé}}{\text{volume d'oxygène émis}}$ (ou $\frac{A}{B}$) pour la première fonction et $\frac{\text{volume d'acide carbonique émis}}{\text{volume d'oxygène absorbé}}$ (ou $\frac{a}{b}$)

(1) CORENVINDER. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1858.

(2) L'analogie va plus loin ; car, dans ces conditions, les cellules de fruits sucrés (Lechartier et Bellamy), des racines (Van Tieghem) ou de l'ensemble d'une plante entière (Müntz) peuvent donner, avec du gaz carbonique, de l'alcool.

pour la seconde. Cette étude offre de l'intérêt au point de vue de la recherche des réactions premières et fondamentales de la synthèse végétale. Il nous est impossible de nous y arrêter ici. Nous rappellerons seulement que Boussingault a exécuté de nombreuses déterminations du rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$ correspondant à l'ensemble des deux fonctions (soit $\frac{A}{B} = \frac{a}{b}$ ou r) pour des feuilles exposées au soleil ; il a trouvé que ce rapport était à très peu près égal à l'unité (1).

Toutes les expériences relatives à cette question avaient porté sur des parties de plantes, le plus souvent séparées des sujets auxquels elles appartenaient, et n'avaient eu qu'une durée très limitée. Des recherches récentes, qu'on a réussi à mener à bien avec des plantes entières et pendant une longue période de leur existence, ont conduit, pour le rapport r , concernant l'ensemble des deux fonctions, à des chiffres tout différents de ceux de Boussingault, nettement inférieurs à l'unité et compris entre 0,75 et 0,90. Le même résultat a été obtenu avec des algues vertes. Ce dernier fait est digne d'attention. En effet, afin d'expliquer que, pour la totalité d'une plante supérieure, le rapport r soit plus petit que l'unité, on peut être tenté de supposer : 1° que,

(1) BOUSSINGAULT. — *Agronomie*, t. III, 1859.

pour les parties vertes, il y ait, suivant les expériences de Boussingault, égalité entre l'acide carbonique décomposé et l'oxygène émis par les deux fonctions chlorophyllienne et respiratoire, et 2° que, pour les parties non vertes, l'acide carbonique dégagé, dans la respiration, l'emporte de beaucoup sur l'oxygène absorbé. Mais, outre que, dans cette seconde partie, l'hypothèse est très discutable, elle est, dans son ensemble, inutile. Car nous venons de constater chez des algues, c'est-à-dire chez des cellules élémentaires à chlorophylle, la propriété de fournir pour le rapport r une valeur inférieure à l'unité. La même propriété peut appartenir aux cellules à chlorophylle d'une plante supérieure et, pour l'ensemble de la plante, être due au fonctionnement de ces seules cellules, sans intervention appréciable des parties non vertes. On serait, d'après cela, en présence d'une propriété générale des cellules à chlorophylle (¹).

Ainsi les plantes dégagent plus d'oxygène qu'elles n'absorbent d'acide carbonique. Leur pouvoir de purifier l'atmosphère, découvert par Priestley, est donc encore plus grand qu'on le pensait. En y réfléchissant, d'ailleurs, on voit qu'il est utile qu'elles fonctionnent comme nous

(¹) TH. SCHLÆSING fils. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, 1892, 1893 et *Ann. Agr.*, 1893.

venons de le reconnaître. On peut, en effet, les considérer, en se plaçant au point de vue de l'entretien de la vie animale, comme chargées de faire disparaître de l'air l'acide carbonique qu'y déverse incessamment la combustion de la matière organique répandue à la surface du globe et de substituer à cet acide carbonique de l'oxygène. Mais la combustion de la matière organique consomme plus d'oxygène qu'elle ne dégage d'acide carbonique (1). Il convient donc que, pour en contrebalancer les effets, les plantes dégagent plus d'oxygène qu'elles n'absorbent d'acide carbonique. Par là, elles remplissent mieux la fonction qui leur incombe dans l'économie du monde.

(1) En effet, la matière végétale contient dans son ensemble moins d'oxygène qu'il n'en faut pour brûler la totalité de son seul hydrogène (§ 10). Sa combustion complète exige un prélèvement d'oxygène sur l'atmosphère correspondant à l'oxydation non seulement de son carbone, mais d'une partie de son hydrogène, et, en outre, de son azote, c'est-à-dire un volume d'oxygène supérieur à celui de l'acide carbonique produit.

CHAPITRE III

ORIGINE DE L'HYDROGÈNE ET DE L'OXYGÈNE DES PLANTES

10. — Les végétaux empruntent leur hydrogène à l'eau. Boussingault leur a, du moins, reconnu la faculté de le puiser à cette source. Il a cultivé des plantes dans un sol absolument dépouillé de matière organique, ne renfermant que des substances minérales exemptes d'hydrogène et arrosé avec de l'eau distillée. Les plantes ont acquis de l'hydrogène ; elles n'ont pu prélever cet élément que sur l'eau.

L'assimilation de l'hydrogène doit être corrélative de celle du carbone. On n'a jamais observé l'une dans des conditions où l'autre ne pût avoir lieu. En effet, dans toutes les expériences où du carbone a été fixé, cette fixation s'est produite en présence de l'eau de végétation, laquelle est nécessaire à la vie des plantes, et de l'hydrogène a été aussi assimilé. Et, d'autre part, Saussure

n'est pas parvenu à constater une assimilation d'hydrogène en l'absence d'acide carbonique.

Plusieurs faits tendent à montrer qu'avec le carbone et l'hydrogène, de l'oxygène passe dans les plantes et que les quantités de ces deux derniers corps qui prennent part au phénomène sont dans le rapport où ils constituent l'eau.

Des expériences de Von Mohl, Nægeli, Sachs, confirment cette manière de voir. Quand une plante est exposée à la lumière solaire depuis plusieurs heures, ses feuilles contiennent de l'amidon ; si on la maintient ensuite quelque temps à l'obscurité, l'amidon disparaît. L'épreuve peut être renouvelée un grand nombre de fois ; elle donne toujours le même résultat. L'amidon, hydrate de carbone, serait donc l'un des premiers produits de l'assimilation du carbone et de l'eau, produit que la plante utiliserait et décomposerait ensuite sans le concours nécessaire de la lumière ; le carbone et l'eau seraient ainsi fixés dans une même synthèse. Dans certains cas, on constate la formation, puis la disparition, non plus d'amidon, mais de sucre ; la conclusion est la même.

En cultivant une plante (tabac) sous cloche, on peut obtenir des parties vertes d'une richesse extraordinaire (20 %) en amidon. Si l'amidon s'accumule alors en si grande quantité, il faut l'attribuer à ce que, par suite des conditions

particulières de la culture, telles que diminution de l'évaporation et, par conséquent, de l'apport de matières minérales, il ne se transforme que lentement en principes immédiats. C'est encore une preuve qu'il doit être un des premiers produits de l'assimilation du carbone et de l'eau (1).

Des faits du même ordre se produisent vraisemblablement dans la culture maraîchère sous châssis et rendent compte de l'abondance des principes sucrés qu'on rencontre dans certaines primeurs.

En résumé, il y a lieu de penser que, sous l'influence de la lumière, les parties vertes des végétaux doivent fixer du carbone en même temps que de l'hydrogène et de l'oxygène, ces deux derniers éléments dans le rapport où ils s'unissent pour former l'eau. S'il en est bien réellement ainsi, c'est-à-dire si, d'une part, les phénomènes d'assimilation correspondent à une fixation de carbone et d'eau, il est nécessaire que, d'autre part, la plante perde une certaine quantité d'oxygène ; car, dans son ensemble, comme l'analyse l'a montré à Boussingault,

(1) On tend aujourd'hui à penser que le premier produit formé dans la cellule à chlorophylle est l'aldéhyde méthylique, dont les hydrates de carbone, sucres, puis amidon, etc., résulteraient par polymérisation ; mais il manque encore, sur ce point, de bonnes démonstrations.

il y a longtemps ⁽¹⁾, la plante renferme ordinairement moins d'oxygène qu'il n'en faudrait pour constituer de l'eau avec son hydrogène. Cette nécessité subsiste en dehors de toute hypothèse sur le mode d'élimination de l'oxygène.

Quant à l'origine de l'oxygène de la plante, elle n'est pas complètement expliquée par ce qui précède. En effet, ajoutons à l'oxygène faisant partie de l'acide carbonique absorbé par le jeu des deux fonctions chlorophyllienne et respiratoire celui qui, d'après le poids d'hydrogène de la plante, a dû entrer avec l'eau ; retranchons de cette somme l'oxygène total qui est sorti (nous pouvons faire le calcul grâce aux chiffres des expériences, citées plus haut, sur les échanges gazeux des plantes entières). Il arrivera que nous trouverons comme reste une quantité d'oxygène inférieure à celle qui existe réellement dans la plante. Il faut donc qu'une partie de l'oxygène de la plante ait une autre origine que l'acide carbonique et l'eau ; il convient de placer cette origine dans les sels oxygénés, sulfates, phosphates et surtout azotates, venant du sol, sels qu'on a trop négligés jusqu'ici en étudiant la synthèse végétale ⁽²⁾.

(1) BOUSSINGAULT. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, 1838. A cette date, Boussingault parle déjà de la réduction de l'eau par la plante.

(2) TH. SCHLÆSING fils. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, 1892 et 1893.

CHAPITRE IV

ORIGINE DE L'AZOTE DES PLANTES

11. — Le rôle de l'azote dans les phénomènes de la vie est des plus importants. Cet élément entre dans la constitution des matières protéiques diverses, depuis le protoplasme, qui forme le corps vivant de la cellule végétale, jusqu'aux combinaisons les plus essentielles de l'organisme animal : fibrine, albumine, caséine. Et les matières azotées de cet organisme proviennent exclusivement des plantes alimentaires et des fourrages. On comprend donc l'intérêt de premier ordre qui s'attache à la recherche de l'origine de l'azote chez les végétaux.

12. Prélèvement sur le sol. — Le sol renferme plusieurs sources d'azote auxquelles puisent les végétaux : les nitrates, les sels ammoniacaux, la matière organique azotée.

Proust, Pusey, Kuhlmann, ont montré l'efficacité des nitrates employés comme engrais. Boussingault en a donné une démonstration rigoureuse par des expériences comparatives faites

avec des sols artificiels pourvus ou privés de nitrates. Dans une longue et importante série d'expériences, MM. Hellriegel et Wilfarth, cultivant des graminées sur du sable additionné de doses variées de nitrate de chaux, ont obtenu des récoltes dont les poids étaient sensiblement proportionnels aux quantités de nitrate mises en œuvre.

H. Davy, Schattenmann (1836), ont mis en évidence l'utilité de l'ammoniaque ⁽¹⁾ et des sels ammoniacaux. Boussingault confirma leurs résultats dans des essais analogues à ceux qui se rapportent aux nitrates.

La matière organique azotée des sols est certainement aussi une source d'azote pour les végétaux. C'est à elle qu'il faut faire remonter les propriétés si éminemment fertilisantes du fumier. Cette matière se décompose incessamment (on reviendra sur ce sujet à propos de la nitrification). Lorsqu'elle s'est transformée en ammo-

(1) L'ammoniaque est, comme on verra, rapidement transformée en nitrates dans les sols, le plus généralement. L'efficacité des engrais ammoniacaux était-elle attribuable à l'ammoniaque même ou aux nitrates qui en résultent ? Par des expériences dans lesquelles étaient complètement écartés les ferments, agents nécessaires de la transformation dont il s'agit, M. Müntz a montré que l'ammoniaque est directement utilisée par les végétaux et produit, à dose égale d'azote, à très peu près les mêmes effets que les nitrates.

niaque ou en nitrates, il résulte de ce qui vient d'être dit qu'elle est utilisée par les plantes, Mais, en dehors de pareilles transformations, à l'état de matière organique, peut-elle servir à la végétation ? Il y a lieu de pencher pour la négative, si l'on s'en rapporte à une expérience de Bous-singault ayant montré que les taux d'azote organique, tout en diminuant progressivement, restaient égaux entre eux dans deux lots d'une même terre, l'un cultivé, l'autre sans culture. Il résulte de cette importante expérience que, si la matière organique des sols sert directement à l'alimentation azotée des plantes, elle ne doit le faire que dans une mesure extrêmement restreinte. Cette conclusion ne saurait, d'ailleurs, être étendue à toutes les plantes, en particulier aux parasites, aux plantes sans chlorophylle (¹).

13. Prélèvement sur l'atmosphère. Fixation de l'azote libre. — L'atmosphère concourt avec le sol à fournir de l'azote aux végétaux. Le fait est hors de doute en ce qui concerne un grand nombre de prairies et les forêts, qui ne reçoivent jamais de fumure azotée et dont la

(¹) Dans tous les cas, il semble bien nécessaire que les matières organiques du sol, qui sont très généralement colloïdales, soient d'abord transformées en cristalloïdes pour pouvoir traverser les membranes revêtant les organes d'absorption des plantes. — Voir les travaux de Frank pour le cas des plantes pourvues de mycorhises, *Berichte der deutsch. bot. Gesellsch.*

végétation se poursuit néanmoins indéfiniment. Boussingault l'a d'ailleurs nettement établi quand il a montré qu'il y avait sur une exploitation agricole n'important pas d'engrais plus d'azote à la fin d'une rotation (y compris l'azote des produits exportés) qu'au commencement.

L'atmosphère renferme, nous le verrons, de l'ammoniaque (1) et de l'acide nitrique (et nitreux) qu'elle offre aux végétaux soit directement, soit par l'intermédiaire des pluies et du sol. Mais elle renferme aussi, à côté de ces composés azotés qui y sont répandus en proportions minimes, une réserve immense d'azote libre. Ce gaz est-il susceptible d'être assimilé par les plantes? Telle est la grande question que depuis cinquante ans la science agricole cherchait encore à résoudre, il y a peu de temps.

Cette question, comme toutes celles qui touchent à la connaissance des lois de la production, a certainement un intérêt pratique. Si les végétaux sont capables de puiser de l'azote libre dans l'atmosphère, qui en est une source indéfinie, peut-être le degré d'utilité des engrais azotés sera-t-il reconnu moindre qu'on le croit aujourd'hui et l'emploi s'en restreindra-t-il. Qu'on n'oublie pas cependant les expériences

(1) Quant à l'utilisation de l'ammoniaque aérienne par les plantes, voir SCHLÆSING. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXVIII, 1874.

qui ont établi l'efficacité de ces engrais pour bien des cultures ; qu'on n'oublie pas surtout la sanction qu'elles ont reçue et qu'elles reçoivent incessamment dans nos champs. Il y a là de fortes raisons de penser que, quelle que soit la solution du problème énoncé, l'usage ne diminuera pas des matières fertilisantes susceptibles d'enrichir les sols en azote. Aussi dirons-nous que l'intérêt de la question de l'azote semble aujourd'hui plus théorique que pratique (1).

Les expériences les plus anciennes et les plus célèbres qu'on ait faites en vue de savoir si les végétaux fixent l'azote gazeux de l'atmosphère, sont de Boussingault. Bien qu'elles aient conduit à des conclusions qu'on ne doit plus regarder comme exactes, il est impossible de les passer sous silence. Dans des pots contenant du sable lavé, calciné, parfaitement exempt d'azote, Boussingault (1837-38) sema diverses graines (trèfle, pois, froment, avoine); après plusieurs mois, il analysa les plantes obtenues et compara leur azote à celui de lots de graines identiques aux graines semées. Il trouva : 1° que le trèfle et les pois avaient acquis une quantité d'azote appréciable à l'analyse ; 2° que le froment

(1) Nous n'entendons nullement par là restreindre l'importance des théories bien établies ; on ne peut jamais prévoir les applications qui découleront d'une vérité en apparence purement théorique.

et l'avoine n'en avaient pas gagné. Mais, bien que les pots eussent été maintenus dans une serre, on pouvait attribuer à un apport de poussières extérieures, le faible gain d'azote constaté pour les deux premières plantes; on pouvait aussi l'attribuer à une absorption d'ammoniaque aérienne. Aussi de nouvelles expériences furent-elles entreprises (1851-52). Les cultures eurent lieu en atmosphère confinée, dépourvue d'ammoniaque et de poussières; l'acide carbonique nécessaire à la végétation était fourni artificiellement; le sol était toujours exempt d'azote. Diverses dispositions d'appareils furent employées. Boussingault trouva qu'aucune plante, légumineuse ou autre, parmi celles qu'il avait étudiées, ne fixait d'azote gazeux. Enfin, opérant sur des plantes cultivées en atmosphère, non plus confinée, mais incessamment renouvelée et privée d'ammoniaque ainsi que de poussières, il arriva encore à ce dernier résultat.

M. G. Ville soutint des idées contraires, appuyées sur des expériences commencées en 1849. Il objecta d'abord aux recherches de Boussingault que la non-fixation d'azote gazeux qu'elles avaient fait constater, tenait à ce que la végétation avait eu lieu en atmosphère confinée (1),

(1) Cette objection tombe devant les résultats des expériences de MM. Schloësing fils et Laurent, dont il est question plus bas.

condition qui exclut un développement normal ; des essais exécutés avec renouvellement de l'atmosphère lui donnaient jusqu'à quarante fois plus d'azote dans la récolte que dans la graine ; c'est à la suite de ces essais que Boussingault fit usage d'atmosphère renouvelée. Plus tard, M. G. Ville fut amené à cette opinion, que la faculté d'assimiler l'azote gazeux ne se manifestait chez les plantes qu'à partir d'un certain développement ; on pouvait, d'après lui, par une petite addition de nitrates au sol, les conduire jusqu'à un degré d'accroissement convenable, au delà duquel elles acquéraient la propriété en question (1).

Voulant lever le doute qui subsistait à la suite des travaux précédents, MM. Lawes, Gilbert et Pugh exécutèrent des recherches à Rothamsted suivant une méthode rappelant celle qu'avait employée Boussingault en dernier lieu ; ils n'obtinrent pas de gain sensible d'azote. Dès lors la doctrine de la non-fixation de l'azote prévalut dans l'esprit de la plupart des savants.

L'opinion admise alors a été dans la suite quelque peu ébranlée. Sous l'influence de l'ef-

(1) Au fond, on va bien le voir tout à l'heure, quand M. G. Ville affirmait qu'il y a des plantes qui fixent l'azote libre de l'air, il avait raison contre Boussingault. Mais ses expériences ne parurent pas irréprochables et n'emportèrent pas la conviction.

fluve électrique, M. Berthelot a réussi à fixer l'azote gazeux sur des composés binaires et ternaires, la benzine, l'essence de térébenthine, la cellulose, la dextrine (1). Étendant ce résultat aux végétaux, il a émis l'avis que leurs matières ternaires sont capables de réaliser la même fixation par l'effet des effluves qui traversent incessamment l'atmosphère ; si Boussingault n'est jamais parvenu à la constater, c'est qu'il a opéré *in vitro*, à l'abri des influences électriques.

Des expériences de M. L. Grandcau avaient semblé confirmer le fait que l'électricité joue un rôle important dans les phénomènes de la végétation ; mais, répétées par d'autres savants, elles ont conduit à des résultats différents, en sorte qu'on dut en regarder les conséquences comme douteuses.

La question en était là, quand furent publiées les belles recherches de MM. Hellriegel et Wilfarth (2). Ces recherches ont enfin fait la lumière sur le grave sujet que nous examinons, du moins en ce qui concerne une famille végétale des plus intéressantes, celle des Légumineuses.

Elles l'ont faite de la manière la plus inattendue et dans un ordre d'idées absolument nouveau.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. X, 1877.

(2) HELLRIEGEL et WILFARTH. — Traduction française dans les *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, t. 1^{er}, 1890.

Elles ont compris un nombre d'expériences extrêmement considérable qui leur donne une force de démonstration peu commune.

Les études de MM. Hellriegel et Wilfarth ont porté spécialement sur des graminées et des légumineuses. Ces dernières présentaient un intérêt capital. De tout temps, on a remarqué que, loin d'épuiser le sol, elles l'enrichissaient. Caton leur reconnaît formellement cette propriété : *Segetem stercorant faba, lupinus, vicia*. Virgile parle de l'utilité qu'il y a à les faire alterner avec le blé pour avoir de bonnes récoltes de cette céréale. C'était donc un fait établi depuis des siècles que les légumineuses étaient des plantes *améliorantes*. Précisant cette donnée, Boussingault avait montré dans ses recherches sur les assolements que les cultures qui fournissaient le plus d'azote en excès sur celui des engrais et par suite qui en prélevaient le plus sur l'atmosphère *sous une forme ou une autre*, étaient précisément les légumineuses. Enfin on savait que les engrais azotés étaient sans effet sur ces plantes. Il y avait, par suite, lieu de penser qu'elles se comportaient d'une manière particulière sous le rapport de leur alimentation azotée ; il devait être éminemment instructif de les étudier sous ce rapport comparativement avec d'autres.

De l'orge et de l'avoine furent cultivées à l'air libre dans du sable lavé, additionné d'eau et de

sels minéraux convenables qui comprenaient des doses variées de nitrate de chaux. On trouva régulièrement, nous avons déjà eu occasion de le dire (§ 12), que les plantes prenaient un développement d'autant plus grand et assimilaient d'autant plus d'azote qu'on leur avait offert plus d'engrais azoté ; il y avait presque une exacte proportionnalité entre l'azote de l'engrais et le poids de la récolte sèche ; un gramme d'azote à l'état de nitrate rendait de 90 à 100 grammes de récolte ; mais l'azote des plantes en excès sur l'azote des graines était toujours un peu inférieur ⁽¹⁾, jamais supérieur à celui du nitrate. Dans des conditions de culture semblables, les pois se comportèrent tout autrement ; aucune relation ne put être saisie entre l'azote donné au sol à l'état de nitrate de chaux et le développement des plantes ou leur teneur en azote ; l'azote de la récolte en excès sur celui des graines était tantôt inférieur, tantôt très supérieur à celui du nitrate ; il arriva même que l'expérience où la plante prospéra le mieux et assimila le plus d'azote, fut justement une de celles qui avaient été faites sans le concours d'engrais azoté.

(1) Il y a à cela deux raisons : l'azote de l'engrais n'est pas assimilé en totalité et, de plus, les plantes laissent dans le sol de menus débris qu'il est impossible d'en séparer.

Les botanistes avaient remarqué depuis longtemps que les légumineuses présentent fréquemment sur leurs racines de petits tubercules ou nodosités. L'attention ne s'était pas assez portée sur cette particularité. MM. Hellriegel et Wilfarth virent que les nodosités manquaient aux pois quand ils n'avaient pas donné d'excédent d'azote, qu'ils en étaient pourvus dans le cas contraire. De plus, le microscope leur fit apercevoir à l'intérieur des nodosités de petits corps bactériiformes, qu'ils considérèrent comme des êtres organisés.

La production des excédents d'azote paraissait corrélative de l'existence des nodosités ; on pouvait, de plus, se demander si l'existence des nodosités n'était pas elle-même corrélative de la présence des petits êtres observés.

Pour vérifier ces hypothèses, il fallait faire des cultures en présence et en l'absence de ces êtres. Ceux-ci devant vraisemblablement exister dans la terre végétale, MM. Hellriegel et Wilfarth songèrent à les introduire dans leur sable de culture en l'arrosant simplement avec un peu de délayure de terre. Des légumineuses (serradelle, lupin, pois) furent cultivées dans du sable ainsiensemencé ; elles portèrent des nodosités sur leurs racines et fournirent toutes des excédents d'azote. Avec des sables stériles, nonensemencés ou bienensemencés au moyen de

délayure stérilisée par la chaleur, point de nodosités, point de fixation d'azote. On s'expliquait maintenant l'inconstance des résultats obtenus dans les premiers essais sur les légumineuses : quand on avait observé des excédents d'azote sans avoir fait d'ensemencement, c'est que les sols s'étaient accidentellement ensemencés d'eux-mêmes, et tel était probablement aussi le fait survenu dans les anciennes expériences de Bous-singault où un excédent d'azote avait été trouvé avec le trèfle et le pois.

M. Bréal apporta une nouvelle preuve en faveur de l'influence des petits êtres ou bactéroïdes, dont il a été parlé, sur la production des nodosités et celle des excédents d'azote chez les légumineuses (1). Il réalisa, en effet, cette double production en inoculant les plantes avec le contenu des nodosités fraîches.

Ainsi, les légumineuses étaient susceptibles de renfermer plus d'azote en excès sur celui des graines, et cela en proportion considérable, que ne leur en avait fourni le sol qui les avait portées; elles acquéraient cette propriété sous l'influence d'êtres microscopiques contenus dans les nodosités de leurs racines.

Leurs excédents d'azote ne pouvaient avoir été empruntés qu'à de l'azote existant, *sous une*

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1888.

forme ou sous une autre, dans l'atmosphère. Il n'était guère à penser que les composés azotés compris en si minime quantité dans l'air normal pussent être pour elles une source d'azote si abondante ; c'était donc l'azote gazeux, libre, que fixaient les légumineuses. MM. Hellriegel et Wilfarth exécutèrent d'ailleurs des expériences qui tendaient à le prouver : ils obtenaient des excédents d'azote importants avec des cultures faites dans des appareils où l'intervention des composés azotés de l'air était négligeable.

Il restait, après ces travaux, à donner une preuve *directe* de l'origine des excédents d'azote. Il fallait faire pousser des légumineuses, dans des conditions où elles dussent fixer de l'azote, en présence d'un volume exactement connu de ce gaz, et constater, après leur développement, une diminution du volume employé, en même temps qu'une fixation d'azote correspondante dans le tissu des plantes obtenues. Telle est l'expérience, décisive à nos yeux quant à la détermination de la véritable origine de l'azote trouvé en excédent chez les légumineuses, qui a été réalisée peu après les précédentes (1). Elle a conduit au résultat attendu, démontrant définitivement l'absorption de l'azote *libre* de l'air et sa fixation

(1) TH. SCHLÖESING fils et EM. LAURENT, — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2^e semestre, 1890.

dans la matière végétale de légumineuses. Dans cette expérience, l'ensemencement des bactéroïdes avait été pratiqué avec le contenu de nodosités fraîches de légumineuses (1).

En résumé, les légumineuses ont la faculté de fixer à haute dose l'azote gazeux de l'atmosphère ; cette fixation est corrélative de l'existence, sur leurs racines, de nodosités auxquelles donnent naissance et où se développent des êtres microscopiques particuliers (pouvant varier notablement d'une légumineuse à une autre) ; la terre végétale, surtout celle où l'on a cultivé des légumineuses, contient les germes de ces microbes (2) ; les légumineuses qui poussent dans une terre ainsi habitée portent naturellement des nodosités et fixent de l'azote gazeux ; si elles rencontrent dans le sol d'abondantes réserves de nitrates, elles en assimilent l'azote, portent moins de nodosités et prélèvent sur l'atmosphère une moindre quantité d'azote.

(1) Voir sur les microbes des nodosités, EM. LAURENT. — *Annales de l'Institut Pasteur*, 1891. Voir aussi Beyerinck et Prazmowsky.

(2) Il paraît prouvé qu'on réussit à rendre certains sols plus aptes à donner de bonnes récoltes de légumineuses en y introduisant une proportion sensible d'une terre ayant porté ces mêmes plantes et par conséquent riche en microbes ou en germes des microbes produisant les nodosités ; à chaque légumineuse correspond une variété spécifique de microbes fixateurs lui convenant mieux que les autres.

De nouvelles expériences ⁽¹⁾ exécutées, comme celles de 1890 dues aux mêmes auteurs, à la fois par la méthode directe fondée sur la mesure de l'azote gazeux et la méthode indirecte consistant dans l'analyse des graines, des sols et des récoltes ont encore confirmé les résultats précédents relatifs aux légumineuses. Elles ont, de plus, montré que, dans les conditions où elles ont eu lieu, l'avoine, la moutarde, le cresson, la spergule, le colza, diverses graminées, n'ont point fixé d'azote gazeux.

Enfin elles ont mis hors de doute un fait, annoncé déjà par M. B. Frank mais insuffisamment prouvé à nos yeux, à savoir qu'il y a des algues capables d'opérer pareille fixation. Parmi elles se remarquent les Nostocacées. Certaines ont fixé l'azote libre de l'air en quantité considérable. En raison de leur universelle diffusion, les algues doivent être regardées comme un élément important dans l'étude de la statique de l'azote en agriculture. Nous rappellions plus haut que Boussingault avait trouvé un excédent d'azote en fin de rotation sur un domaine ne recevant pas d'engrais du dehors. On doit sans doute attribuer cet excédent aux légumineuses et à l'apport de

(1) TH. SCHLÖESING fils et EM. LAURENT. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2^e semestre, 1891 et 1892, et *Annales de l'Institut Pasteur*, 1892 et 1893.

composés azotés de l'atmosphère. Nous pensons qu'il faut compter les algues comme y ayant une part très notable.

Les auteurs de ces dernières recherches se sont posé, sans être à même de la résoudre, la question de savoir si les algues effectuaient à elles seules la fixation de l'azote libre ou si, pour la réaliser, elles avaient besoin du concours de bactéries. Il paraît bien résulter d'expériences récentes dues à M. Kossowitch (1) qu'en l'absence de bactéries la fixation n'a pas lieu (2).

Revenons aux plantes supérieures. Il n'est pas absolument impossible que certaines de ces plantes, en dehors des légumineuses, soient capables de fixer l'azote libre ; s'il y en a, parmi celles qu'on cultive en grand dans nos champs, qui soient douées de cette faculté, elles doivent la posséder à un degré moindre que les légumineuses ; le contraire eût été probablement révélé déjà par la pratique agricole.

(1) Bot. Zeitung. — *Originalabhandlungen*, 1^{re} p. fasc. V, 1894.

(2) DUCLAUX. — *Annales de l'Institut Pasteur*, t. VIII, p. 728.

CHAPITRE V

MATIÈRES MINÉRALES CONTENUES DANS LES PLANTES

14. Nature des matières minérales des végétaux. — Lorsqu'on brûle un végétal ou l'une de ses parties, on obtient comme résidu des cendres, c'est-à-dire des matières qu'une température élevée n'a pas détruite, des matières minérales. La préparation des cendres peut se faire en produisant l'incinération dans tel récipient qu'on voudra où l'accès de l'air est facile, par exemple dans une capsule de platine. On cherchera, en général, à la conduire de manière que la température s'élève le moins possible, afin d'éviter les pertes de corps légèrement volatils, tels que les chlorures.

L'analyse montre que les cendres de végétaux les plus divers se composent essentiellement d'un certain nombre de substances, qui sont toujours les mêmes, mais qui se présentent dans

des proportions très variables, et dont voici la liste :

Acide carbonique.	Potasse.
// sulfurique.	Soude.
// chlorhydrique.	Chaux.
// phosphorique.	Magnésie.
// silicique.	Oxydes de fer et de manganèse.

Les cendres renferment aussi, le plus souvent, du sable et des matières terreuses. Mais ces substances ne font pas partie des végétaux. Elles proviennent de poussières de l'air ou de projections de terre faites par la pluie et les vents, déposées et collées sur les divers organes.

Les carbonates résultent de la décomposition des sels à acides organiques, opérée lors de l'incinération. Ils ne peuvent préexister dans la plante, dont les sucs sont d'ordinaire en majorité acides. Exceptionnellement, on trouve dans les cellules végétales de petits cristaux de carbonate de chaux (*cystolithes*).

La potasse, la soude, la chaux, se trouvent dans les cendres en grande partie à l'état de carbonates ; pour la magnésie, elle est généralement libre, son carbonate ne résistant pas à la température de l'incinération.

Les petites quantités d'ammoniaque et l'acide nitrique que renferment les végétaux, ne se retrouvent plus dans leurs cendres ; la combustion

les a fait disparaître. L'acide nitrique est encore une cause de production d'acide carbonique au cours de l'incinération ; on sait que, chauffés au contact d'une matière organique, les nitrates fournissent des carbonates.

L'analyse ne donne que la composition brute des cendres. La manière dont les composés trouvés sont associés dans la plante, ne peut être déterminée d'une manière positive. Pourtant dans certains cas, et pour quelques corps seulement, elle est presque manifeste. Ainsi, il y a des graines qui contiennent beaucoup d'acide phosphorique et très peu de bases autres que la potasse, la chaux et la magnésie ; ces trois bases y existent vraisemblablement à l'état de phosphates. De même, dans la paille, la proportion des acides, en dehors de la silice, est suffisante pour saturer les bases ; la silice doit y être libre. Les études microchimiques (réactions observées au microscope) promettent de précieuses indications sur ce sujet.

Les substances que nous avons énumérées, sont, pour ainsi dire, fondamentales dans les cendres ; sauf peut-être le manganèse, elles n'y font jamais défaut. A côté d'elles, on en trouve d'autres, en proportions très faibles, dont la présence est purement accidentelle (*rubidium, lithium...*) et tient à ce que toute matière soluble d'un sol peut passer dans un végétal qui la trouve

à sa portée. Il peut aussi y en avoir, en dehors de la liste ci-dessus, qui existent normalement, en quantité minime, dans certaines cendres. On sait que le zinc se rencontre toujours dans les cendres d'une moisissure, l'*Aspergillus niger* (Raulin).

15. Répartition des matières minérales dans les diverses parties des végétaux.

Variations selon l'âge, l'espèce, le sol. —

Les matières minérales sont très inégalement distribuées dans la plante, comme l'a montré Saussure ⁽¹⁾. Ainsi dans le froment, le taux de cendres est trois ou quatre fois plus élevé pour la paille que pour le grain ; chez les arbres, il peut être trente fois plus fort pour l'écorce et les feuilles que pour le bois. Non-seulement la quantité totale, mais aussi la composition de ces matières est très variable.

L'âge entraîne des variations considérables pour chaque individu. Le taux des cendres diminue notablement, dans l'ensemble de la plante, à mesure que le développement se poursuit ; l'assimilation des matières minérales, tout en se continuant, se ralentit et se laisse dépasser par la formation des principes immédiats.

Les principes minéraux accomplissent dans

⁽¹⁾ Voir les tableaux d'analyses de Saussure (*Recherches chimiques sur la végétation*).

les divers organes du végétal une migration continue qui est des plus remarquables (Corenwinder, I. Pierre). Certains d'entre eux se portent, au moment voulu, vers les organes de la reproduction. La potasse et l'acide phosphorique abondent dans les graines, les bourgeons et les jeunes pousses (1). Ils se retirent des feuilles lorsque l'époque de leur chute approche ; ils sont alors remplacés par les sels terreux et la silice. La potasse se retire également d'autres parties caduques comme l'écorce. Il y a là une heureuse disposition naturelle, d'après laquelle les principes nutritifs les plus précieux sont placés à la portée des jeunes organes pour en favoriser le développement et sont ensuite rappelés et comme mis en réserve dans d'autres parties lorsque ces organes vieillissent ne fonctionnent plus d'une manière active et utile pour la plante et qu'ils sont près de tomber.

D'une espèce végétale à une autre, les principes minéraux varient, en quantité, entre des limites très éloignées. Par exemple, le froment à maturité donne environ 3,5 % de cendres, la ficoïde glaciale 50, certains lichens 60. D'une manière générale, les plantes herbacées en fournissent plus

(1) Les herbivores recherchent ces organes pour leur alimentation, parce qu'ils sont particulièrement riches tant en matières minérales qu'en matières organiques des plus utiles.

que les grands végétaux, ce qui est attribuable à une plus forte transpiration ; nous avons vu (§ 10) que, dans des conditions où l'évaporation par les feuilles avait été de beaucoup diminuée, un plant de tabac n'avait absorbé qu'une portion (la moitié) des matières minérales qu'il aurait prises s'il avait été cultivé à l'air libre.

La composition des cendres est également très variable d'une espèce à l'autre ; mais, dans une même espèce, elle présente une constance relative (1)). Chaque espèce a une avidité spéciale pour chaque principe minéral et l'absorbe en raison de cette avidité. Ce n'est là qu'une figure, une manière de traduire en langage vulgaire le résultat brut des phénomènes complexes intervenant dans l'absorption des principes minéraux par les plantes.

Le sol, source de la matière minérale qui passe dans les végétaux, exerce naturellement son influence sur la quantité et surtout la composition de cette matière. Il ne peut donner beaucoup des principes dont il contient peu. Il offre, au contraire, généreusement ceux qu'il renferme en abondance ; et alors même que les plantes n'ont pas grande avidité pour ces derniers, elles en prennent néanmoins une certaine quantité qui

(1) MALAGUTI et DUROCHER — *Annales de Chimie et de Physique*, t. LIV, 1858.

est entraînée dans le courant de la sève ascendante. Ainsi Saussure a trouvé deux fois plus de chaux dans des feuilles (rhododendron, aiguilles de pin) venues sur terrain calcaire que dans des feuilles semblables venues sur terrain granitique. Citons encore le tabac ; suivant les terrains qui l'ont produit, il peut contenir de 0,2 à 5 % de potasse.

Ainsi une plante n'a pas besoin de proportions rigoureusement déterminées de principes minéraux ; elle peut s'accommoder de terrains très différents. S'il en était autrement, la production des plantes cultivées serait limitée à de bien petites étendues. La même latitude s'observe en ce qui concerne les principes organiques : la betterave peut renfermer tantôt de grandes, tantôt de petites quantités de sucre ; dans les deux cas, elle acquiert son développement complet et présente toutes les apparences d'une bonne végétation.

Il y a une partie du végétal qui, malgré les causes de variation signalées, offre dans sa composition, tant organique que minérale, une constance remarquable ; c'est la graine. Les principes nutritifs qu'elle renferme, sont, en effet, de première utilité pour le développement de l'embryon et la proportion de chacun d'eux répond à un besoin véritable.

16. Nécessité des matières minérales pour les végétaux. — Contrairement à l'opi-

nion reçue jusqu'au commencement du siècle, la présence des matières minérales existant dans les végétaux n'est pas purement accidentelle et par conséquent inutile. La plupart d'entre elles sont des aliments de première nécessité ; de nombreux travaux l'ont établi.

Pour savoir si une plante a besoin d'un certain principe, on la cultive comparativement dans un milieu qui contient, outre tous les autres principes déjà reconnus nécessaires, celui qu'on étudie et dans le même milieu exempt dudit principe. On juge de l'utilité du principe d'après l'état des deux cultures ; un des milieux dont on a fait le plus d'usage, est l'eau.

Opérant avec des dissolutions étendues de substances variées, dissolutions dont le titre était compris ordinairement entre 2 et 5 millièmes (Sachs, Nobbe, Stohman, Knop), on a démontré d'une manière définitive la nécessité pour les plantes de la potasse, de la chaux, de la magnésie, de l'acide sulfurique, de l'acide phosphorique et de l'oxyde de fer ⁽¹⁾. En l'absence de l'un de ces ali-

(1) Le fer est un agent de la formation de la chlorophylle (E. et A. Gris). L'acide sulfurique et l'acide phosphorique sont les sources du soufre et du phosphore de la matière végétale ; ces éléments sont peut-être fournis aussi par les composés sulfurés et phosphorés du sol sur lesquels MM. Berthelot et André ont attiré l'attention.

ments, on ne réussit pas à obtenir, après l'épuisement de la graine, un développement satisfaisant de la plante. La soude ne paraît pas, en général, nécessaire ; elle ne saurait remplacer la potasse, qui mérite bien son nom d'alcali végétal. Le chlore n'est pas indispensable ; cependant, d'après Nobbe et Siébert, il jouerait un rôle essentiel dans la formation des graines du sarrasin. La silice n'est pas un aliment essentiel de la plante ; elle peut même manquer aux céréales, qui la contiennent d'ordinaire en si grande abondance ; néanmoins elle fortifie leurs pailles et contribue par là à empêcher la verse.

17. Restitution au sol des matières minérales enlevées par les récoltes. — Les récoltes et tous les produits qui sortent d'une exploitation agricole (lait, viande, eaux souterraines, etc.) emportent avec eux une certaine quantité de matières minérales. Du moment qu'il est établi que ces matières jouent un rôle de premier ordre dans la nutrition végétale, il faut les restituer au sol qui les a perdues ; autrement il s'appauvrit. Pour avoir ignoré cette grande loi de la restitution, les Anciens ont rendu stériles des régions d'une admirable fertilité.

Il y a des cas où, par la décomposition spontanée des débris de roches qui le constituent, le sol gagne peu à peu autant de principes fertilisants minéraux qu'il lui en est ôté ; mais ce sont là des

conditions exceptionnelles, qui ne se présentent que pour quelques-uns des principes nécessaires et qui, d'ordinaire, ne se maintiennent pas indéfiniment.

L'acide sulfurique, l'oxyde de fer, existent très généralement dans les sols en proportions telles qu'il n'y a pas à s'occuper de leur restitution ; il n'en est pas de même de la potasse, de l'acide phosphorique, très souvent de la chaux et sans doute quelquefois de la magnésic. La potasse et l'acide phosphorique sont les principes dont il y a tout spécialement lieu d'assurer la conservation.

Le fumier fait au sol de précieux apports de principes minéraux ; mais il ne peut suffire à une restitution intégrale ; car il est lui-même, en général, un des produits du domaine qui l'emploie.

La restitution véritable se fait avec des éléments venus du dehors, remplaçant ceux qui ont été exportés.

M. E. Wolf a dressé des tables indiquant la composition complète d'un grand nombre de substances végétales et autres. On les utilisera avec le plus grand profit pour calculer la quantité de principes minéraux emportés par les récoltes ou importés par les engrais (1).

(1) Consulter aussi, dans le même but, l'*Économie rurale* de BOUSSINGAULT et l'important ouvrage de MM. A. MUNTZ et A.-CH. GIRARD, intitulé *Les Engrais*.

Nous ne saurions nous arrêter davantage sur l'étude de la restitution sans entrer dans celle des engrais, qui ne nous appartient pas. Il nous suffira d'avoir signalé la nécessité de rendre au sol les matières minérales qu'il perd de diverses manières, nécessité dont doit se préoccuper tout praticien prévoyant et dont la connaissance est une des plus utiles conquêtes de la science agricole (1).

(1) Il serait naturel d'étudier ici l'assimilation des matières minérales par les plantes. Mais c'est là une pure question de *Physiologie végétale*, qui ne nous paraît pas rentrer dans le cadre du présent ouvrage.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DE L'ATMOSPHERE CONSIDÉRÉE COMME SOURCE D'ALIMENTS DES PLANTES

18. — L'atmosphère joue un rôle des plus importants dans la nutrition des plantes; elle doit être étudiée au point de vue spécial des ressources alimentaires qu'elle leur offre.

Elle constitue un milieu sur lequel le cultivateur n'a aucune prise, aucun pouvoir. La connaissant mieux, il n'en sera pas plus maître. Mais de là ne résulte pas que l'étude en doive être pour lui sans intérêt et sans profit; on l'a déjà vu dans ce qui précède et on le verra encore par la suite.

L'eau est un des éléments de l'atmosphère qui interviennent le plus dans le développement des végétaux. Elle est d'abord un de leurs aliments nécessaires. Elle exerce en outre sur eux son

influence par les variations qu'elle entraîne pour diverses propriétés de l'air (degré de saturation, transmission des radiations lumineuses et calorifiques). L'étude de sa répartition, de ses transformations, de ses déplacements dans l'atmosphère mérite une sérieuse attention ; mais elle est du domaine de la météorologie ; nous la laisserons de côté.

Plusieurs des principes que les plantes puisent dans l'atmosphère, y sont contenus en très minimes proportions. Si certains d'entre eux jouent un rôle efficace dans la végétation, c'est qu'ils possèdent une extrême mobilité, tant à cause des mouvements incessants de la masse gazeuse où ils sont compris que par suite de leur propre faculté de se diffuser dans cette masse. Une racine située dans le sol à côté d'un fragment de phosphate qu'elle ne touche pas, n'en saurait profiter ; elle ne franchit pas, non plus que l'engrais, la distance qui les sépare. Mais les principes gazeux de l'atmosphère peuvent se rendre au-devant des plantes et leur apporter leur nourriture.

CHAPITRE PREMIER

OXYGÈNE, AZOTE ET ARGON

19. — L'air atmosphérique est essentiellement un mélange d'oxygène, d'azote et d'argon (1), renfermant en moyenne 21,00 volumes du premier gaz pour 79,00 des deux autres (2). La proportion d'argon étant de 1,19 pour 100 d'azote et argon (3), on a, pour la composition de l'air (débarrassé de son acide carbonique) :

Oxygène	21,00
Azote	78,06
Argon	<u>0,94</u>
	100,00

(1) Gaz découvert par Lord Rayleigh et M. Ramsay, en 1895. (RAMSAY. — *The gases of the atmosphere*).

(2) LEDUC. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 2^e semestre, 1896.

(3) TH. SCHLÖESING fils. — *Comptes rendus de l'Ac. des sc.*, 2^e semestre, 1895.

Regnault⁽¹⁾ a déterminé par l'analyse eudiométrique la composition d'un très grand nombre d'échantillons d'air, en vue de savoir si les proportions d'azote⁽²⁾ et d'oxygène étaient les mêmes en tout lieu. Les variations qu'il constata n'atteignaient guère que quelques dix-millièmes du volume de l'air analysé, c'est-à-dire qu'elles ne dépassaient guère les erreurs d'analyse possibles⁽³⁾.

Cette constance de la proportion de l'oxygène peut étonner si l'on considère qu'il y a bien des phénomènes qui doivent sans cesse la troubler : d'une part, la respiration des animaux, les combustions diverses, l'oxydation de certaines roches, tendent à abaisser le taux d'oxygène, d'autre part, la végétation tend à l'élever (§ 9). Ne pourrait-il arriver que, ces actions contraires ne se compensant pas exactement, la composition de l'atmosphère variât considérablement d'une région à une autre et n'en vint en certains points à sortir des limites entre lesquelles la vie est possible ? Les expériences de Regnault prou-

(1) REGNAULT. — *Annales de chimie et de physique*, 1853.

(2) Pour tous les travaux antérieurs à 1895, azote de l'air signifie mélange d'azote et d'argon.

(3) M. Leduc estime être arrivé dans le dosage de l'oxygène (dosage en poids), à une précision telle qu'il saisit avec certitude de très légères variations dépendant de l'altitude des lieux, de la direction du vent.

vent qu'il n'y a pas lieu de s'alarmer sur ce point. On s'explique le fait dès qu'on songe à l'existence des immenses courants qui sillonnent l'atmosphère, qui la brassent sans cesse et favorisent ainsi le mélange de ses diverses parties.

Mais à côté de ces variations temporaires, se produisant entre des points différents et qui, nous le voyons, n'ont aucune importance, il faut distinguer les variations permanentes ou séculaires que peut subir l'ensemble de notre atmosphère dans la suite des temps. Celles-ci, consistant par exemple dans la disparition d'une partie de l'oxygène, ne pourraient-elles devenir dangereuses et menacer de changer l'équilibre du monde vivant ? Dumas et Boussingault ont calculé que notre atmosphère contient un poids d'oxygène représenté par 134 000 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté et que, pendant un siècle, en supposant que les causes de pertes seules agissent, il s'en consumerait 15 ou 16 cubes (1). On voit par là qu'au bout de mille ans, on ne pourrait constater qu'une diminution d'un huit-centième de l'oxygène, et cette diminution serait à peine saisissable par nos moyens actuels d'analyse. Nous sommes donc loin de pouvoir connaître les variations séculaires du taux de l'oxygène aérien.

(1) DUMAS ET BOUSSINGAULT. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1841.

Quant à l'argon, on l'a déterminé aussi aux différents lieux et aux différentes altitudes (à 10 mètres, à 300 mètres, à 2 000 mètres, à 15 000 mètres) ⁽¹⁾; on l'a constamment trouvé dans la proportion, indiquée plus haut, de 1,19 pour cent d'azote et argon, soit 1,20 d'argon pour cent d'azote pur. L'argon n'est pas seulement présent dans toute notre atmosphère, on l'a rencontré dans des eaux minérales (Bouchard, Troost, Moureu) ⁽²⁾; il existe ordinairement, peut-être toujours, dans le grisou ⁽³⁾. Il paraît donc très généralement répandu dans la nature.

On sait de quel secours pour la végétation sont l'oxygène et l'azote. La part que prend l'argon, s'il en prend une, dans les phénomènes de la vie, est encore ignorée.

(1) TH. SCHLÆSING fils. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, 1895 et 1896. — CAILLETET, *même recueil*, t. CXXIV, p. 486, 1897.

(2) *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, 1895.

(3) TH. SCHLÆSING fils. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, 1896.

CHAPITRE II

—

ACIDE CARBONIQUE

20. — Si l'on fait barboter de l'air ordinaire dans de l'eau de baryte, on voit bientôt le liquide se troubler. Il s'est formé du carbonate de baryte. C'est un signe de la présence de l'acide carbonique dans l'atmosphère. Ce gaz nous intéresse particulièrement ; nous savons quel rôle il joue dans la nutrition des plantes, auxquelles il fournit leur élément fondamental, le carbone.

21. Dosage. — Thénard, Th. de Saussure, Brunner ⁽¹⁾, Boussingault, ont dosé l'acide carbonique existant dans l'atmosphère. Ils ont généralement trouvé des chiffres un peu trop forts. Des expériences exécutées par divers savants depuis une vingtaine d'années, ont conduit à des résultats tout à fait précis ; voici un résumé de ces expériences.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3^e série, t. III.

En Allemagne, M. Pettenkofer, puis M. Schulze ont eu recours à une méthode fondée sur l'emploi des liqueurs titrées. M. Schulze (1873) opérait sur un volume de 4 litres d'air seulement, qu'il laissait pendant 24 heures dans un flacon en contact avec de l'eau de baryte titrée. Il dosait ensuite la baryte demeurée libre au moyen d'une solution étendue et titrée d'acide oxalique, qui était introduite, avec un peu de teinture de curcuma, dans le flacon même contenant l'air en expérience. Il a obtenu comme moyenne générale de déterminations journalières poursuivies pendant plusieurs années 2,92 volumes d'acide carbonique dans 10 000 volumes d'air, avec un maximum de 3,44 et un minimum 2,25 (expériences faites sur le bord de la mer Baltique). Opérant par la même méthode à Calèves (Suisse), M. E. Risler est arrivé à une moyenne générale de 3,035 pour une période d'une année complète ⁽¹⁾.

M. Reiset fait barboter au moyen d'un grand aspirateur un volume très considérable d'air, desséché au préalable sur de la ponce sulfurique, dans une dissolution de baryte ; celle-ci est titrée, avec toutes les précautions convenables, avant et après l'expérience au moyen d'acide sul-

⁽¹⁾ RISLER. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1882.

furique. L'absorption de l'acide carbonique est, grâce à un barboteur particulier, tout à fait complète. La moyenne générale des dosages de M. Reiset a été, à Écorchebœuf (Seine-Inférieure), de 2,962 (max. 3,518, minim. 2,743) et, à Paris, de 3,057 (max. 3,516, minim. 2,913), avec oscillations normales entre 2,8 et 3,0.

Enfin MM. Müntz et Aubin ont institué une méthode ayant spécialement pour but de permettre l'étude de la répartition de l'acide carbonique aérien sur divers points du globe⁽¹⁾. D'après les chiffres qu'ils ont obtenus⁽²⁾, l'atmosphère de l'hémisphère nord (moyenne 2,82, extrêmement voisine de la moyenne obtenue en France par le même procédé) serait un peu plus riche en acide carbonique que celle de l'hémisphère sud (2,71).

22. Circulation de l'acide carbonique. —

Il résulte des recherches qui précèdent, que l'acide carbonique aérien est répandu, à toute altitude, en tout pays et à tout moment, en proportion à très peu près uniforme. Comme pour l'oxygène, cette uniformité se maintenant malgré les causes nombreuses qui tendent à la troubler (absorption d'acide carbonique par les végétaux,

(1) MÜNTZ et AUBIN. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1882.

(2) MÜNTZ et AUBIN. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1883.

dégagement du même gaz par les combustions, par les volcans, etc.), peut être attribuée au brassage incessant de l'atmosphère dû aux vents réguliers ou autres.

M. Schlœsing a fait voir que l'on pouvait, en outre, considérer les eaux marines comme jouant un rôle important dans le maintien de l'uniforme répartition de l'acide carbonique au sein de l'atmosphère. L'eau de mer renferme, en effet, une provision relativement considérable de bicarbonates susceptibles de se dissocier ou de se reconstituer suivant les cas. Si l'acide carbonique diminue dans l'atmosphère, les bicarbonates de la mer en fournissent ; s'il augmente, les carbonates neutres en absorbent (§ 44).

Ainsi, d'un côté, les mouvements de notre atmosphère et, de l'autre, l'intervention des eaux, marines nous défendent contre des variations relativement brusques du taux de l'acide carbonique aérien qui tiendraient à des causes momentanées ou locales. Mais les variations à longue échéance, lentes et continues, nous sont inconnues, et, s'il en existe, nous n'apercevons aucune influence qui les combatte. Il est fort probable que notre atmosphère a été, dans les temps primitifs, beaucoup plus riche en acide carbonique qu'elle ne l'est aujourd'hui. Son appauvrissement se continue-t-il, et, dans le cas de l'affirmative, ira-t-il jusqu'au point où il cause-

rait la ruine de la végétation et, par suite, la fin de toute vie à la surface du globe ? La solution de ces problèmes nous échappe absolument ; elle ne pourra être fournie que par des dosages exécutés avec une extrême précision à des intervalles de temps très considérables.

23. Influence de la pluie sur le taux de l'acide carbonique de l'atmosphère. — C'est une erreur trop fréquemment commise que de croire la pluie capable de dépouiller l'atmosphère d'une forte proportion de son acide carbonique. On dit : l'acide carbonique est soluble dans l'eau ; donc il doit s'absorber dans la pluie. Mais on oublie que sa tension dans l'air est au plus de $0^{\text{atm}},0003$ et que sa dissolution se fait en raison de cette tension. Considérons une pluie assez forte pour former sur le sol une couche d'eau de 50 millimètres ; supposons qu'elle soit tombée d'une hauteur de 500 mètres et qu'en traversant l'atmosphère, elle se soit saturée d'acide carbonique. Le coefficient de solubilité de l'acide carbonique étant sensiblement égal à 1 à la température ordinaire, elle aura pris de ce gaz un volume égal au sien multiplié par 0,0003, soit 0^{cm^3} , 15 par décimètre carré de la surface du sol qu'elle a arrosé. Or, dans le prisme d'air vertical reposant sur ce même décimètre carré et ayant 500 mètres de hauteur, il y avait avant la pluie, $5000^{\text{lit}} \times 0,0003$ ou 1500^{cm^3}

d'acidecarbonique. La pluie n'a donc pu prendre que $\frac{1}{10\,000}$ du gaz carbonique compris dans la couche d'air visitée par elle (1). C'est pour cette couche une perte insignifiante; encore sera-t-elle vite réparée par mélange avec les couches voisines.

(1) On arrive immédiatement à ce chiffre, si l'on considère qu'il y a dans un volume quelconque d'eau, saturée d'acide carbonique en présence de l'air, précisément autant de cet acide que dans un égal volume d'air: ce fait est une conséquence de la solubilité particulière de l'acide carbonique.

CHAPITRE III

—

ACIDE AZOTIQUE

24. — Il nous reste à rechercher dans l'atmosphère deux substances, l'acide azotique et l'ammoniaque, qui n'y sont contenues qu'en proportions tellement faibles qu'on a cru d'abord qu'elles n'y pouvaient jouer aucun rôle ; elles constituent pourtant une source, qui n'est pas absolument négligeable, de l'azote des végétaux. (§§ 13, 25 et 60).

On a constaté, il y a déjà longtemps, la présence de l'acide azotique dans les pluies d'orage (Liebig) ; plus tard, on a trouvé cet acide dans la plupart des pluies (Bence Jones, Barral).

L'acide azotique n'existe pas d'ordinaire à l'état libre dans l'atmosphère ; il s'y rencontre sous forme d'azotate d'ammoniaque, accompagné d'azotite. Il prend naissance dans l'atmosphère même par la combinaison directe de l'azote et de l'oxygène sous l'influence de décharges élec-

triques. On connaît l'expérience classique de Cavendish sur ce sujet.

L'azote et l'oxygène de l'air peuvent encore se combiner sous d'autres influences que celle de l'étincelle électrique. Chaque fois que les deux gaz se trouvent portés, l'un en présence de l'autre, à une haute température, ils s'unissent en partie ; c'est ce qui arrive dans la plupart des combustions vives. Mais l'acide azotique ainsi produit doit exister en bien faible quantité et pouvoir être négligé.

On n'a pas réussi jusqu'ici à doser convenablement l'acide azotique répandu dans l'atmosphère. Cela tient sans doute à ce qu'il y existe à l'état d'azotate d'ammoniaque, composé dénué de tension gazeuse à la température ordinaire et par suite impropre à se fixer sur des réactifs absorbants : on peut faire passer à travers une longue colonne d'eau des bulles d'air chargées artificiellement de fumée d'azotate d'ammoniaque ; on ne réussit pas à absorber cette fumée (Schlœsing).

25. Dosage de l'acide azotique dans les eaux météoriques. — La détermination de l'acide azotique dans les eaux météoriques est facilement réalisable. On doit, sur ce sujet, de précieuses observations à Boussingault (Est de la France), au colonel Chabrier (Provence), à MM. Lawes et Gilbert (Angleterre) et à bien d'au-

tres expérimentateurs, particulièrement en Allemagne. Boussingault a opéré sur les pluies, les rosées et les eaux provenant des brouillards, neiges et grêles. D'après ses résultats, une pluie prolongée dépouille peu à peu l'atmosphère d'une grande partie de son acide azotique ; car, à son début, elle contient, par litre, quatre fois plus d'acide que vers sa fin, du moins en moyenne ($0^{\text{mg}},94$ et $0^{\text{mg}},24$). La neige est plus riche en acide azotique que la pluie. Occupant sous un même poids un volume bien plus grand et présentant une surface bien plus étendue que les gouttes de pluie, tombant, en outre, avec lenteur, elle doit bien mieux dépouiller l'air de la poussière d'azotate d'ammoniaque qui y est suspendue (1).

L'ensemble de ces chiffres a conduit Boussingault à admettre que la quantité d'azote à l'état d'acide azotique tombant annuellement par hectare avec les eaux météoriques était, au Liebfrauenberg, de $0^{\text{kg}},33$.

MM. Lawes et Gilbert, à Rothamsted, ont trouvé, dans des expériences analogues, les chiffres de $0^{\text{kg}},86$ en 1855 et $0^{\text{kg}},81$ en 1856.

(1) Dans les eaux météoriques recueillies à 2881 mètres d'altitude (Pic du Midi), MM. Müntz et Aubin n'ont point trouvé d'acide azotique (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCV et XCVIII).

En 1870-71, le colonel Chabrier ⁽¹⁾ a exécuté de nombreux dosages sur des eaux de pluie tombées à Saint-Chamas (Provence). Il y a constaté, en même temps que la présence d'acide azotique, celle d'acide azoteux en proportion relativement importante. D'après ses analyses, l'acide azoteux ou azotique apporté annuellement au sol par les eaux de pluie, sous le climat de Saint-Chamas, équivaut à 2^{kg},8 d'azote par hectare.

La production des acides azoteux et azotique au sein de l'atmosphère est surtout intense dans les régions tropicales, où les décharges électriques ont une fréquence et une intensité extraordinaires. On devait prévoir que les eaux de pluie y seraient particulièrement chargées de ces acides. C'est ce qu'ont confirmé les recherches de MM. Müntz et Marcano. D'après ces savants, la quantité d'azote apporté annuellement à un hectare, sous forme d'acide azotique, par les eaux pluviales, est de 5^{kg},8 à Caracas (Vénézuëla) et de 6^{kg},9 à Saint-Denis (Ile de la Réunion) ⁽²⁾.

Les apports d'azote nitrique par les pluies sont peu de chose dans nos pays et n'y doivent guère influencer sur la végétation. Mais, sous les tropiques, ils peuvent constituer une fumure

(1) CHABRIER. — *Annales de Chimie et de Physique*, 4^e série, t. XXIII.

DEHÉRAIN. — *Annales agronomiques*, t. X, p. 83.

(2) *Comptes rendus de l'Ac. des Sciences*, t. CVIII.

azotée correspondant à environ 40 kilogrammes de nitrate de soude par hectare ; il est naturel de leur attribuer là une part d'influence sensible sur le magnifique développement des plantes.

CHAPITRE IV

AMMONIAQUE

26. Dosage. — La présence de l'ammoniaque dans l'atmosphère a été constatée par Th. de Saussure. Brandes la reconnut ensuite dans les eaux pluviales (1825).

De nombreux expérimentateurs ont essayé de doser l'ammoniaque atmosphérique (1). Pendant longtemps leurs efforts sont restés à peu près stériles (2). Toutes ou presque toutes les mé-

(1) Il ne faudrait pas que cette expression d'ammoniaque atmosphérique donnât à entendre qu'il existe dans l'air de l'ammoniaque libre. Une portion de l'alcali y est, nous l'avons vu, combinée à l'acide azotique ; le reste, c'est-à-dire la majeure partie, doit être carbonaté, attendu qu'il n'est, en poids, que la 25000^e partie de l'acide carbonique de l'atmosphère. Mais les combinaisons de l'ammoniaque avec l'acide carbonique sont toutes des substances douées de tension. Dans les divers phénomènes que nous étudierons, elles se comportent, ainsi que l'ammoniaque, à la manière des gaz.

(2) Seul, M. G. Ville avait donné des chiffres exacts.

thodes employées consistaient à faire barboter un volume connu d'air dans un liquide capable de fixer l'alcali, principe excellent; mais elles péchaient par l'insuffisance de ce volume.

M. Schlœsing a fait connaître, en 1875 (1), un procédé permettant des déterminations très précises. Ce procédé présente ceci de particulier qu'il comporte l'emploi, en peu de temps, d'énormes volumes gazeux (emploi rendu nécessaire par l'extrême rareté de la substance à doser), tout en admettant une grande exactitude dans les diverses mesures et dans les dosages.

Le barboteur, de forme spéciale, à travers lequel est aspiré l'air et où est arrêtée l'ammoniaque par de l'eau acidulée, laisse passer 1^{lit},5 de gaz par seconde, soit 5 400 litres à l'heure. Une expérience durant 12 heures, porte sur 60 ou 70 mètres cubes d'air. L'aspiration de l'air à travers le barboteur est produite par un jet de vapeur, s'échappant d'une petite chaudière sous pression constante, au moyen d'un appareil analogue au giffard.

On mesure l'air aspiré en déterminant le rapport existant entre le volume d'air et le poids de vapeur qui sortent en mélange du giffard et

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXX.

multipliant par ce rapport le poids de l'eau évaporée dans la chaudière pendant l'expérience.

L'ammoniaque est finalement dosée dans le liquide du barboteur avec une grande précision.

Voici les principaux résultats de dosages poursuivis sans interruption de juin 1875 à juillet 1876. Les poids d'ammoniaque sont exprimés ci-après en milligrammes et rapportés à 100 mètres cubes d'air, (ils n'ont point subi la correction qui consisterait, d'après des expériences de contrôle, à les multiplier par $\frac{11}{10}$) :

Moyenne générale pour l'année entière. . . .	2,25
Moyenne pour l'an- née entière. . . .	{ jour (6 ^h matin — 6 ^h soir) . . . 1,93 nuit (6 ^h soir — 6 ^h matin) . . . 2,57

MOYENNES PAR MOIS

Division du temps	Juin 1875	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier 1876	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Jour.	1,55	1,52	2,33	2,52	2,06	1,24	2,08	2,34	2,02	1,64	1,97	1,56	1,85
Nuit.	2,49	2,86	3,75	4,13	2,44	1,38	2,08	2,58	1,95	1,72	2,68	2,10	2,91

MOYENNES POUR LES QUATRE VENTS

Division du temps	Région S-O	Région O-N	Région N-E	Région E-S
Jour . . .	2,10	1,44	1,67	2,92
Nuit. . .	2,66	1,99	2,58	4,08

MOYENNES POUR DIVERS ÉTATS DE L'ATMOSPHÈRE

Moyenne des jours	}	pluvieux	1,73	
		sans pluie.	1,93	
Moyennes pour les temps	}	couverts .	jour	1,56
			nuit	1,98
	}	découverts	jour	1,73
			nuit	3,21

Ces observations ont été faites à Paris; des dosages effectués en plein champ ont donné des résultats du même ordre.

La pluie, on le voit par les chiffres ci-dessus, n'enlève d'ordinaire à l'atmosphère qu'une faible proportion de son ammoniacque, contrairement à une opinion trop répandue. Il arrive même qu'elle peut lui en céder, ainsi que l'a montré M. Schlœsing dans des recherches que nous n'avons pas à exposer (1).

MM. Müntz et Aubin ont exécuté des dosages, par le procédé dont il vient d'être question, au Pic du Midi (2880 mètres). Ils sont arrivés au chiffre moyen de 1^{mg},35 d'ammoniacque dans 100 mètres cubes d'air (2). Leurs expériences, sans fixer une moyenne très rigoureuse parce qu'elles ont été peu nombreuses, conduisent tout au moins à

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXI et LXXX, 1875 et 1876.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2^e semestre, 1882.

penser que l'ammoniaque existe dans l'atmosphère, comme l'acide carbonique, à toute altitude.

27. Ammoniaque des eaux météoriques.

— Nous nous contenterons de résumer les résultats obtenus par quelques observateurs des plus autorisés. Les chiffres ci-après représentent des milligrammes et sont rapportés à 1 litre d'eau :

RÉSULTATS DE BOUSSINGAULT, AU LIEBFRAUENBERG

Mai à octobre 1853. — Moyenne de 47 dosages sur eaux de pluie comprenant rosées et brouillards . . .	de 0,11 à 4,03 moy. 0,52
" Rosées seules	6
" Brouillards seuls	de 2 à 8
Brouillards excep- } Liebfrauenberg, novemb. 1853.	50
tionnels } Paris, janvier 1854	138
Apport d'ammoniaque par les pluies pour l'année entière et pour un hectare : 3 ^{kg} ,50.	

RÉSULTATS DE MM. LAWES ET GILBERT, A ROTHAMSTED

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1853	//	//	1,44	0,81	1,34	1,27	0,94	0,84	0,73	0,69	0,80	1,61
1854	0,88	0,95	0,95	0,97	0,47	//	//	//	//	//	//	//
Moyenne.											0,97	

RÉSULTATS DE MM. MUNTZ ET AUBIN
AU PIC DU MIDI

Analyse de 13 pluies.	0,08 — 0,34
" 7 neiges.	0,06 — 0,14
" 5 brouillards.	0,19 — 0,64

On voit combien est variable la quantité d'ammoniaque apportée aux sols par les eaux météoriques. Lorsqu'elle se réduit à quelques kilogrammes par an et par hectare, elle n'intervient que bien faiblement dans la végétation.

28. Circulation de l'ammoniaque à la surface du globe. — Pour expliquer que l'ammoniaque persiste au sein de l'atmosphère en dépit de la consommation qui s'en fait sur les continents (1), M. Schlœsing a émis l'idée que la mer en était une source permanente.

La mer renferme environ 0^{mg},4 d'ammoniaque par litre. A ce taux, son approvisionnement est infiniment supérieur à celui de l'atmosphère. En vertu de sa tension, l'ammoniaque marine peut passer dans l'air et en réparer les pertes.

Mais quelle est l'origine de l'ammoniaque dans les mers? M. Schlœsing l'attribue à la décomposition des nitrates qu'y apportent les fleuves en quantité considérable.

(1) Consommation provenant, pour M. Schlœsing, de l'absorption par les plantes et les sols.

Ainsi l'ammoniaque de l'air parcourrait le cycle suivant : absorption par les végétaux (directement ou après fixation par le sol), transformation en matière protéique, destruction et, pour la majeure partie, nitrification de cette matière après la mort des végétaux, transport des nitrates aux mers par les fleuves, retour à la forme d'ammoniaque au sein des eaux marines et restitution de cette ammoniaque à l'atmosphère.

Quoi qu'il en soit de cette conception, il est incontestable que la mer renferme une quantité considérable d'ammoniaque qui ne peut manquer d'intervenir dans la proportion qui s'en trouve au sein de l'atmosphère.

Nous arrivons ainsi à cette conclusion, qui n'est pas sans intérêt pour la statique chimique des êtres vivants, que la mer est le réservoir commun de l'eau, de l'acide carbonique et de l'ammoniaque circulant à la surface du globe.

CHAPITRE V

GAZ DIVERS CONTENUS DANS L'ATMOSPHÈRE

29. — Une étude complète de l'atmosphère comporterait encore la recherche de quelques gaz. Ainsi, il y a dans l'air de l'ozone⁽¹⁾. D'après de nombreuses observations faites à l'observation de Montsouris, ce gaz se rencontre en proportions très variables ; en moyenne, il y en a 1 milligramme environ dans 100 mètres cubes d'air ; l'air de la campagne en contient presque toujours des quantités de cet ordre ; l'air des villes en est à peu près exempt.

M. Müntz⁽²⁾ a signalé la présence dans l'atmosphère de la vapeur d'alcool. Ce corps se constaterait, d'après lui, par précipitation à l'état

(1) Il est possible que l'ozone prenne une part notable à la purification de l'atmosphère, soit en y oxydant certains composés chimiques, soit en y détruisant des microbes.

(2) Müntz. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, t. XCII.

d'iodoforme, soit dans les liquides provenant de la distillation de la terre végétale avec de l'eau, soit dans la pluie et l'eau de fusion de la neige. Il existerait donc en vapeur dans l'atmosphère.

MM. Müntz et Aubin (1) ont encore trouvé dans l'air normal de petites quantités de gaz carbonés combustibles ; en faisant passer sur de l'oxyde de cuivre chauffé au rouge de l'air entièrement privé d'acide carbonique, ils ont produit de l'air contenant, en volume, de 3 à 10 millièmes de cet acide à Paris et de 2 à 4,7 millièmes à la campagne. Suivant eux, les gaz carbonés ne risqueraient pas de s'accumuler dans l'atmosphère ; ils seraient peu à peu brûlés par l'étincelle électrique.

Le rôle que peuvent jouer dans les phénomènes de la végétation les différents gaz qui viennent d'être cités, étant jusqu'ici complètement inconnu, nous ne nous arrêterons pas davantage sur ce sujet.

À côté des gaz qui la constituent, il faut noter dans l'atmosphère la présence de poussières solides, minérales et organiques. Les premières ont peu d'importance ; en tombant sur le sol, elles ne lui apportent que des quantités de matières généralement négligeables, ne pouvant

(1) MÜNTZ et AUBIN, — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIX.

guère intervenir dans la végétation. Tout autre est l'intérêt qui s'attache à l'étude des poussières organiques; parmi elles figurent les pollens, les microbes bienfaisants ou nuisibles. Ces seuls mots éveillent l'idée de toute une série de phénomènes essentiels en agriculture. L'examen de ces phénomènes ne nous appartient pas. Mais nous ne pouvions manquer de rappeler qu'en dehors des aliments qu'elle leur fournit, l'atmosphère est, pour les végétaux, la source d'autres principes intéressant d'une manière capitale leur existence, principes de vie ou de destruction qu'elle charrie en abondance et disperse en tout lieu.

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DES SOLS AGRICOLES

30. — Le sol est le support des plantes et le magasin d'une partie de leurs aliments. C'est par lui principalement que le cultivateur peut agir sur la végétation, soit en lui donnant des façons, soit en y introduisant des engrais. L'autre milieu où les plantes puisent leur nourriture, l'atmosphère, nous échappe absolument. Mais le sol demeure entre nos mains ; il peut être soumis à l'expérimentation, enrichi, amendé, transformé peu à peu. On voit qu'il mérite une étude des plus attentives.

Nous examinerons successivement la formation des sols agricoles, leur constitution, leurs propriétés physiques et enfin les phénomènes chimiques qui s'y accomplissent.

Il importe de définir dès maintenant ce qu'on entend par sol proprement dit, sous-sol et couche

arable. Le sol est la couche superficielle d'un terrain, sensiblement homogène dans sa formation. Le sous-sol vient immédiatement au-dessous ; il diffère du sol par sa formation le plus souvent et par son état physique. Il faut d'ordinaire distinguer dans le sol lui-même deux couches : l'une pénétrée par la charrue et les engrais, d'une couleur plus foncée et particulièrement exploitée par la végétation, est dite « couche arable ou « sol actif » ; l'autre est le « sol inactif ». Cette distinction n'a, d'ailleurs, rien d'absolu ; car bien des plantes et tous les arbres enfoncent leurs racines dans le sol dit inactif et y puisent des aliments.

CHAPITRE PREMIER

FORMATION DES SOLS AGRICOLES

31. Destruction progressive des roches.

— Sous l'influence de plusieurs causes naturelles, les roches ont subi et subissent encore une destruction progressive. Ce sont leurs débris qui constituent les éléments minéraux des terrains agricoles.

Parmi ces causes de destruction les unes sont purement physiques ; ainsi l'eau, grâce aux alternatives de gelée et de dégel, désagrège les roches plus ou moins poreuses dans lesquelles elle s'infiltré ; les frottements qu'éprouvent les minéraux entraînés par les torrents et les fleuves produisent des effets analogues.

Les autres sont des causes chimiques. L'acide carbonique et l'oxygène de l'air, aidés de l'eau,

s'attaquent à la plupart des roches. Les roches silicatées perdent leurs bases, potasse, soude, chaux, magnésie, donnant des carbonates et de la silice soluble, qui sont éliminés par les eaux ; mais le silicate d'alumine qu'elles renferment, demeure intact et, en s'hydratant, forme l'argile ; quant à leur oxyde de fer, il reste avec l'alumine. Le granit subit une altération semblable ; des trois minéraux cristallisés qui le composent, quartz, feldspath et mica, le premier seul n'est pas attaqué ; les deux autres perdent leur état cristallin, deviennent terreux, friables et se transforment en argile kaolinique ; il y a des granits qui résistent bien aux agents atmosphériques, témoins ceux dont sont formés certains monuments qui remontent à une haute antiquité et qui sont néanmoins parfaitement conservés. Les schistes, en raison de leur structure, se détruisent et se délitent avec beaucoup de facilité. Les pierres calcaires offrent peut-être plus de résistance ; cependant, en présence de l'acide carbonique, elles se dissolvent dans l'eau lentement ; de plus, les causes mécaniques de destruction ont sur elles beaucoup d'effet.

32. Terrains de transport. — Ainsi se sont formés les débris minéraux qui entrent dans les sols. Quand la disposition des lieux s'y est prêtée, ces débris sont demeurés là où ils ont pris naissance. Ils ont constitué alors des terrains

dont la composition rappelle celle des roches situées au-dessous. Mais très souvent, ils ont été entraînés par les eaux, abandonnant seulement sur place les plus gros d'entre eux. Déposés en des lieux divers, ils ont formé des terrains dits de transport, qui n'ont rien de commun, quant à la composition chimique, avec les roches sous-jacentes.

33. Alluvions. — Les alluvions, ou dépôts abandonnés par les rivières et les fleuves, sont encore des terrains de transport. Elles se forment dans des circonstances variées. Tantôt les cours d'eau les laissent le long de leurs rives, tantôt ils les mènent jusqu'à leur embouchure. Suivant les régions auxquelles elles sont empruntées, les alluvions sont graveleuses ou limoneuses ; dans ce dernier cas, elles peuvent constituer des terrains agricoles extrêmement riches. On connaît assez les vertus fertilisantes des limons du Nil. Les alluvions limoneuses sont toujours les éléments les plus fins des terrains dont elles proviennent ; ces éléments sont aussi ceux qui renferment le plus de principes nutritifs, particulièrement de potasse et de phosphates.

Une grande partie des limons reste en suspension dans les eaux courantes, est emportée à la mer et dès lors ravie à la culture. La quantité de matières fertilisantes ainsi perdues est considérable. L'opération du colmatage permet de

tirer parti de ces limons que les fleuves n'abandonnent pas spontanément sur leurs rives.

Arrivés à la mer, les limons des fleuves sont précipités, parce qu'ils entrent dans un milieu qui, malgré l'agitation superficielle, est tranquille, et aussi parce qu'ils sont coagulés par les sels qu'ils rencontrent, en vertu d'une propriété dont il sera bientôt question. Tel est l'origine de nombreux atterrissements, dont la disposition est très variable, et en particulier des deltas. Ceux-ci ne se produisent sur les côtes que si la marée y est peu considérable. Autrement, les apports des fleuves disparaissent à mesure qu'ils se déposent. Quelquefois la mer rejette sur le rivage les alluvions qu'elle reçoit. C'est ainsi qu'ont été formés les polders de la Hollande, terres qui, comme certains deltas, sont d'une grande fertilité. Enfin, il y a des cas où la mer, aidée par les vents, accumule sur les côtes ses propres sables ; elle produit alors ce qu'on nomme des dunes. Ces terrains sont susceptibles de se déplacer ; ils sont naturellement stériles ; mais l'art de l'ingénieur parvient à les fixer, et l'art agricole les rend aptes à la culture.

34. Matière organique des sols. — On voit, par ce qui vient d'être dit de la destruction des roches, comment s'est formée la partie minérale des sols agricoles. Mais ces sols renferment encore, comme chacun le sait déjà et

comme nous allons bientôt le reconnaître, de la matière organique. Quelle est l'origine de cette matière? Elle consiste en débris de végétaux dans un état plus ou moins avancé de décomposition ; elle provient sur chaque sol des végétaux qu'il a antérieurement portés. Mais d'où ces végétaux, qui l'ont formée, en ont-ils tiré les éléments? L'étude de l'alimentation des plantes apprend que trois de ces éléments, carbone, hydrogène et oxygène, sont empruntés à l'atmosphère qui les fournit sous forme d'acide carbonique et d'eau ; quant au quatrième, l'azote, il provient partie de l'atmosphère où il existe à l'état d'azote libre, d'acide nitrique, d'acide nitreux, d'ammoniaque, partie de la matière organique des sols une fois nitrifiée ; et, comme cette matière a la même origine que celle des végétaux, en dernière analyse toute matière organique s'est constituée, par la synthèse végétale, aux dépens de l'atmosphère.

Les premiers végétaux, ne trouvant dans les sols aucune matière organique, ont nécessairement puisé directement dans l'atmosphère tout leur azote. La végétation se développant, la matière organique des sols s'est formée.

La constitution de matière organique dans les sols qui en sont dépourvus, est, d'ailleurs, un phénomène qui s'accomplit de nos jours. On le voit se produire en des terrains sableux et sté-

riles qu'une végétation spontanée envahit peu à peu (1). Mais il est toujours assez lent, car le développement des plantes sur des sols privés de matière organique est restreint.

(1) Les légumineuses et les algues, qui font de larges emprunts à l'azote libre de l'air, prennent sans doute une part importante à la formation première de la matière organique des sols.

CHAPITRE II

CONSTITUTION DES SOLS AGRICOLES

35. Distinction de divers éléments du sol. — Si l'on délaye un peu de terre végétale dans l'eau, puis qu'on laisse reposer, une partie des éléments se précipite en quelques instants ; c'est le *sable*. Qu'on décante ensuite le liquide et qu'on verse un acide sur le résidu solide. Très souvent on observera un dégagement de gaz plus ou moins abondant ; ce gaz est de l'acide carbonique ; il atteste la présence du carbonate de chaux ou *calcaire*. Jetons sur un filtre ce qui a résisté à l'action de l'acide et lavons-le complètement à l'eau distillée ; puis délayons-le dans un grand volume d'eau distillée et laissons reposer un ou deux jours. Il restera en suspension une matière, qui, isolée du liquide, durcit en séchant et devient plastique en prenant de l'eau, qui présente, en un mot, tous les caractères physiques de l'*argile* et qu'on désigne sous ce nom. Enfin,

si l'on chauffe de la terre en vase clos, elle noircit ou brunit tout au moins ; c'est le signe qu'elle renferme de la *matière organique* que la chaleur a carbonisée. Les quatre sortes d'éléments que nous venons de reconnaître, se rencontrent dans les sols en proportions extrêmement variables ; l'argile et le calcaire peuvent même y manquer. Nous allons faire de chacun de ces éléments une étude spéciale.

I. ARGILE (1)

36. Propriétés, origine. — L'argile des géologues est une roche tendre, délayable dans l'eau et formant avec elle une pâte plus ou moins liante, qui, en se desséchant, prend de la dureté, se contracte et se fendille. Elle est avide d'eau et happe à la langue. A l'état de pureté, elle est blanche ; le plus souvent, elle renferme des oxydes métalliques qui lui donnent des couleurs variées. Elle est grasse ou maigre, suivant qu'elle contient peu ou beaucoup de sable. Son eau de constitution peut varier entre 8 et 25 %.

L'argile provient, comme nous l'avons vu, de

(1) SCHLÖESING. — *Études sur la terre végétale*. Annales de Chimie et de Physique, 2^e série, t. II, p. 514, 1876.

la décomposition de roches silicatées, qui ont été détruites par les agents atmosphériques, humidité, oxygène, acide carbonique, et dont les bases alcalines et terreuses, transformées en carbonates, ont été éliminées par les eaux, en même temps qu'une partie de la silice, rendue libre et soluble. Elle consiste en silicate d'alumine hydraté, accompagné généralement d'une notable proportion d'oxyde de fer et de petites quantités d'autres substances, alcalis et terres, qui sont comme des témoins de son origine.

Telles sont aussi les propriétés et la provenance de l'argile qu'on trouve dans les sols agricoles. Pour la séparer des éléments qui l'accompagnent, on s'est longtemps contenté de recourir à une simple lévigation. M. Schlœsing a montré qu'on ne pouvait ainsi obtenir une séparation suffisante. En étudiant ce sujet, il a été conduit à des notions nouvelles que nous allons résumer.

37. Phénomènes de coagulation. — Les matières limoneuses que renferme la terre végétale, restent indéfiniment en suspension dans l'eau *distillée* ; mais dans de l'eau additionnée de certains sels, même à très petite dose, ces matières se coagulent et se précipitent rapidement. La faible quantité de sels calcaires contenus le plus souvent dans l'eau ordinaire suffit pour produire la précipitation. Ces faits peuvent se cons-

tater au moyen d'expériences extrêmement simples. On lave de la terre sur un filtre jusqu'à ce qu'elle soit débarrassée des sels calcaires qu'elle contient, ou mieux, on commence par la traiter à l'acide chlorhydrique, et on la lave parfaitement. On la délaye ensuite dans un grand volume d'eau distillée, on agite le mélange et on abandonne au repos. Les plus gros éléments se déposent les premiers ; après eux, il s'en déposera d'autres plus menus, et cela pendant assez longtemps, mais le liquide restera toujours limoneux. Si l'on sépare ce liquide trouble par décantation, qu'on y verse une petite quantité d'un sel calcaire et qu'on agite, on verra se former des flocons qui tomberont vite au fond du vase, et le liquide sera bientôt clarifié.

Un cinq-millième de chaux, libre ou engagée dans un sel, précipite les limons très rapidement ; un dix-millième, en quelques jours ; la dose d'un vingt-millième paraît inefficace. Ces chiffres n'ont d'ailleurs rien d'absolu, car ils varient avec les différents limons. Les sels de magnésie ont une action presque égale à celle des sels calcaires ; ceux de potasse produisent les mêmes effets sous des doses environ cinq fois plus fortes, ceux de soude sont moins actifs. Les acides minéraux produisent aussi la coagulation.

Toutes les argiles naturelles fournissent des

résultats semblables à ceux des limons des terres végétales.

Un limon ou une argile peut être successivement précipité par l'un des réactifs qu'on vient de voir, puis débarrassé de l'agent coagulateur par un lavage suffisamment prolongé, et ensuite remis en suspension. Il peut prendre, autant de fois qu'on voudra, l'état de matière, non pas dissoute, mais plutôt diffusée dans l'eau pure et l'état de coagulation, sans perdre la faculté de passer encore par ces alternatives. Il semble donc qu'on soit ici en présence d'une propriété purement physique des limons et des argiles.

On déduit des simples observations qui précèdent, l'explication de phénomènes naturels fort importants.

38. Maintien de l'ameublissement des sols. — Un des effets des labours est de diviser le sol en particules qui laissent entre elles des interstices où l'air, l'eau et les racines pénètrent sans difficulté. Pour qu'un tel état de division, si profitable à la végétation, puisse s'obtenir et persister, il est nécessaire que les éléments sableux de la terre soient agrégés par des substances jouant le rôle de ciment. L'argile est une de ces substances. Mais elle n'est capable de réunir entre eux des grains solides que si elle est coagulée. Ce sont les sels calcaires qui la maintiennent, dans les sols, en état de coagulation ;

sans eux elle se diffuserait dans l'eau, et les particules ne subsisteraient pas. L'expérience en donne la preuve. Qu'on arrose deux lots d'une même terre, l'un avec de l'eau ordinaire, l'autre avec de l'eau distillée ; on verra, dans le premier, les particules de terre demeurer bien agrégées ; dans le second, au contraire, si le lavage est suffisant pour éliminer les sels solubles, les particules s'écroulent et forment une pâte imperméable, qui intercepte le passage du liquide. Notons, d'ailleurs, que toutes les terres ne se prêteraient pas à l'expérience qui précède, parce qu'il en est dans lesquelles ce n'est point l'argile seule qui sert de ciment, mais une autre substance très différente que nous apprendrons à connaître.

Ainsi les dissolutions calcaires du sol donnent une certaine permanence aux effets mécaniques du labour. Cette permanence n'est pas indéfinie, puisqu'il faut chaque année soumettre plusieurs fois la terre à de nouveaux labours.

39. Influence de la coagulation des limons sur le degré de limpidité des eaux naturelles. — Suivant la nature des sols traversés par les eaux de pluie dont elles proviennent, les eaux de drainage et de source sont limpides ou troubles, limpides si les sols leur ont abandonné assez de sels calcaires pour coaguler les limons, troubles dans le cas contraire.

On conçoit qu'une fois coagulés, c'est-à-dire agglomérés en petites masses floconneuses, les limons soient retenus par le sol comme par un filtre ; mais, non coagulés, ils demeurent en suspension dans l'eau et passent à travers les sols sans s'y arrêter.

Certains fleuves, la Loire, la Garonne, sont habituellement limoneux ; l'analyse montre que leurs eaux sont pauvres en sels calcaires.

Il y a des sources, ordinairement limpides, qui donnent des eaux troubles à la suite de pluies persistantes ; c'est que, trop abondantes, ces eaux ne se sont pas chargées dans leur passage à travers le sol d'une quantité suffisante de sels calcaires. Les rivières sont dans le même cas au moment des crues ; elles reçoivent alors une très grande proportion d'eaux superficielles qui ont coulé rapidement sur le sol en y ramassant des limons, sans avoir le temps de dissoudre assez de sels pour les coaguler.

Les cours d'eau sortant des glaciers sont dépourvus de sels calcaires et par conséquent troubles.

Les ingénieurs chargés de pourvoir les villes d'eaux potables doivent rechercher des eaux contenant au moins 70 ou 80 milligrammes de chaux par litre pour qu'elles puissent être clarifiées dans des bassins de dépôt. Si la teneur en chaux descend au-dessous de 60 milligrammes, la clarification ne se fait pas.

40. Constitution des argiles. — On débarasse complètement une argile des carbonates terreux qu'elle renferme, en la traitant par un acide étendu et la lavant à l'eau distillée ; on la met ensuite en suspension dans de l'eau distillée additionnée d'une petite quantité d'ammoniaque (l'ammoniaque favorise la diffusion de l'argile en dissolvant la matière organique qui l'accompagne et l'agglomère plus ou moins), et on abandonne le liquide au repos. Des éléments sableux, grossiers d'abord, puis de plus en plus ténus, se déposent. Au bout de plusieurs semaines ou même de plusieurs mois, on ne voit plus se produire aucun dépôt, et si l'on examine le liquide au microscope, on n'y découvre point d'éléments figurés. Séparé par décantation et séché, le dépôt se montre composé d'éléments ne présentant entre eux qu'une cohésion insignifiante relativement à celle de l'argile primitive supposée sèche. Le liquide décanté est opalescent. Si l'on y verse un peu d'un sel terreux ou d'un acide et qu'on l'agite, il se remplit de flocons qui se précipitent rapidement. On recueille le précipité, on le lave sur un filtre et on le dessèche ; on obtient une substance dure et d'apparence cornée, à laquelle l'analyse assigne la composition d'un silicate d'alumine hydraté. Ainsi on a séparé l'argile en éléments sableux, n'ayant pas entre eux de cohésion, et en une

substance qui durcit fortement par dessiccation, qui sert de ciment pour ces éléments et qui, en raison de ses propriétés, a été appelée argile *colloïdale*. Après cette sorte d'analyse de l'argile, on peut en faire la synthèse ; il suffit de mettre en suspension dans de l'eau les deux matières précédemment séparées, sable et argile, prise avant coagulation, d'agiter pour obtenir un mélange homogène et de précipiter le tout en ajoutant un peu d'acide nitrique, par exemple ; le dépôt, qui ne tarde pas à se former, reproduit identiquement l'argile d'où l'on est parti.

Les argiles sont d'autant plus plastiques, d'autant plus grasses, qu'elles renferment plus d'argile colloïdale ; mais la proportion de cette substance est toujours très faible ; elle dépasse rarement 1,5 % ; le taux de 0,5 correspond à un argile maigre.

On peut analyser l'argile plus complètement que nous l'avons dit. On la laisse longtemps en suspension dans l'eau distillée. Il se forme alors, en général, dans le liquide, des couches horizontales nettement tranchées et de teintes variées, qui se déposent et peuvent se recueillir séparément. L'analyse leur assigne des compositions différentes correspondant à des espèces minérales déterminées. Les kaolins fournissent ordinairement une matière homogène ayant pour formule : $Al^2O^3. 2SiO^2. 2H^2O$. Quand les der-

nières parties solides se sont déposées, le liquide ne contient plus que de l'argile colloïdale ; il demeure opalin et garde infiniment cet aspect.

II. MATIÈRE ORGANIQUE

41. Composition, utilité. — La matière organique contenue dans les sols, qu'on désigne fréquemment sous le nom de *terreau* ou d'*humus*, est formée par les détritns des végétaux. Ces détritns se présentent à tous les degrés de décomposition, depuis l'état de feuille, bois ou racine, jusqu'à celui de substance complètement consommée, réduite en parcelles d'une extrême petitesse et intimement incorporée aux sols. On ne connaît pas la série des produits qui prennent naissance au cours de la décomposition. On sait seulement que la matière végétale perd peu à peu une certaine proportion de carbone à l'état d'acide carbonique et une proportion plus grande d'oxygène et d'hydrogène, de sorte qu'en réalité son taux de carbone s'élève ; on sait aussi qu'il se produit soit des nitrates, soit de l'ammoniaque par la décomposition de la matière azotée, et des corps bruns, légèrement acides, désignés sous le nom d'acide humide, auxquels la matière doit sa coloration de plus en plus foncée. En résumé, la composition de l'humus est très

complexe et incessamment variable, et, dans l'état de nos connaissances, ne peut être nettement définie (1).

Dans ses importantes recherches sur la terre noire de Russie, M. L. Grandeau a montré que la matière organique des sols était douée d'une très grande affinité pour certaines substances minérales, parmi lesquelles figurent de précieux principes fertilisants (potasse, acide phosphorique). L'action de l'acide chlorhydrique étendu ne triomphe pas de cette affinité. Après traitement par cet acide, la matière organique retient encore de la potasse, de l'acide phosphorique, de la chaux, etc. Mais elle s'en sépare par la dialyse. Par l'emploi de ce moyen d'analyse, M. Grandeau a prouvé que l'acide phosphorique existait dans la matière organique à l'état de phosphates.

Les principaux agents destructeurs des débris végétaux, de la décomposition desquels résulte la matière organique des sols, sont l'oxygène et l'humidité ; mais le plus souvent ils ne jouent leur rôle que par l'intermédiaire de petits êtres organisés. Ces êtres, contrepois nécessaire des êtres plus grands qui organisent la matière minérale, exercent ici leur fonction la plus ordi-

(1) Voir, sur ce sujet, divers mémoires de MM. BERTHELOT et ANDRÉ. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, depuis 1891.

naire en travaillant à la désorganisation de la substance végétale et à la restitution des principes empruntés par les plantes à l'air et au sol.

Il faut encore compter parmi les destructeurs de la matière organique les insectes et surtout les vers de terre. M. Müller a insisté sur la part que ces êtres prennent, dans les sols de forêts et dans les landes, à la division des grands débris végétaux et à leur dispersion au sein du sol (1). Darwin avait déjà signalé des faits du même ordre.

Au sein de l'eau, l'oxygène faisant défaut, la décomposition ne s'opère plus qu'avec une extrême lenteur ; elle donne alors comme résidu ce qu'on appelle la *tourbe*. Les substances salines en sont éliminées presque complètement ; les phosphates eux-mêmes y disparaissent à peu près par l'action prolongée de l'eau. On comprend que la matière organique de la tourbe puisse résister si longtemps à la destruction ; car elle est à la fois acide et privée du contact de l'oxygène ; dans un tel milieu, en général, les microbes ne travaillent guère. L'agriculture peut tirer bon parti des tourbes. Enfouies dans le sol, elles y deviennent une source d'acide carbonique, et, si l'on ajoute de la chaux, de nitrates.

(1) MÜLLER. — *Annales de la Science Agronomique française et étrangère*, t. I, 1^{er} fascicule, 1889

En l'absence de bases, l'humus reste acide. On le trouve à cet état dans la terre de bruyère et dans certaines terres de forêt qui ne contiennent pas de calcaire. Malgré leur richesse en matière organique, ces terres sont impropres à la nitrification ; les chaulages et marnages les corrigent de ce défaut.

Le rôle de la matière organique dans les sols est des plus importants. Au point de vue chimique, elle est la source principale des nitrates, aliment essentiel des végétaux ; par l'acide carbonique qu'elle fournit, elle contribue à la dissolution et, par suite, au transport du carbonate de chaux, ainsi qu'à l'attaque lente des débris de diverses roches ; elle retient, ainsi que nous le verrons, plusieurs principes fertilisants qui, sans elle, seraient emportés par les eaux souterraines. Au point de vue physique, elle exerce une influence très marquée sur la terre végétale, soit par elle-même en cimentant les éléments sableux, soit indirectement en modifiant les propriétés de l'argile ; dans ces deux cas, elle peut concourir efficacement à l'ameublissement du sol, ainsi qu'on va le montrer.

42. Influence de la matière organique sur l'ameublissement du sol. — Il est nécessaire, nous l'avons vu (§ 38), pour que la terre ameublie conserve la division en particules, que ses éléments sableux soient agrégés par des

substances remplissant les fonctions de ciment. L'argile est une telle substance. Mais l'expérience démontre qu'un mélange d'argile et d'éléments sableux, amené à l'état particulaire, ne peut guère rester dans cet état, quand il est soumis à un arrosage modéré, que si la proportion de l'argile dépasse 10 %. Or, il y a des terres, celles de forêt par exemple, qui, au point de vue qui nous occupe, résistent convenablement à l'eau, et qui pourtant ne renferment que des traces d'argile. Il faut donc qu'une substance autre que l'argile y joue le rôle de ciment. Ce rôle est dévolu à la matière organique, à l'acide humique libre ou combiné.

L'acide humique, de couleur brune, de composition mal définie, est un acide faible ; on l'appelle aussi matière noire. Le terreau et le fumier en contiennent de grandes quantités. Il forme avec les alcalis, potasse, soude, ammoniac, des composés solubles et avec la chaux, l'oxyde de fer, l'alumine, des composés insolubles. On peut facilement l'extraire du terreau. On traite la matière à l'acide chlorhydrique étendu et on la lave à l'eau distillée après l'avoir placée sur une toile recouverte d'un papier à filtre. On l'introduit ensuite dans un flacon, on l'agite avec une solution étendue d'ammoniac, et on laisse reposer. Il se forme un dépôt composé de matières sableuses et de débris

organiques non attaqués. La liqueur limpide surnageante est fortement colorée en brun ; elle consiste en une solution étendue d'humate d'ammoniaque. Elle est décantée et additionnée d'acide chlorhydrique. L'acide humique se précipite sous la forme de flocons bruns, qu'on lave à l'eau distillée. En substituant à l'ammoniaque la potasse ou la soude, on obtient l'humate de potasse ou de soude comme on a eu celui d'ammoniaque. Pour préparer ceux de chaux, de fer, d'alumine, on neutralise l'humate d'ammoniaque en y versant de l'acide chlorhydrique jusqu'à l'apparition d'un léger précipité brun, puis on y ajoute une solution de sels de chaux, de fer, d'alumine ; les humates insolubles prennent naissance sous forme de précipités floconneux, qu'on sépare par filtration et qu'on lave.

Lorsque l'humate de chaux est abandonné à la dessiccation spontanée, il durcit, se fendille et présente les cassures conchoïdales propres aux colloïdes. Mais si l'on suspend l'évaporation au moment convenable, on obtient une pâte avec laquelle il est aisé de constater d'importantes propriétés de la substance. Une proportion de 1 % d'acide humique mêlé intimement à du sable ou du calcaire suffit pour donner au mélange une cohésion remarquable. Ce mélange, supposé émiecté, résiste à l'arrosage sans se délayer, au moins aussi bien que si l'acide humi-

que était remplacé par 11 % d'une argile éminemment plastique (argile de Vanves). Ainsi s'explique le vieil adage des cultivateurs : « Le terreau donne du corps aux terres trop légères ».

Mais il y a plus. Si l'acide humique ou les humates, ciment organique de la terre végétale, vient suppléer parfois à l'insuffisance de l'argile, ciment minéral, il peut encore, dans d'autres cas, en tempérer les propriétés. Mêlés ensemble, les deux ciments n'ajoutent point leurs effets. Bien au contraire, les humates, lorsqu'ils sont en proportion suffisante, affaiblissent la cohésion de l'argile. Ce qui s'accorde avec cet autre dicton, non moins vrai que le premier : « Le terreau ameublît les terres trop fortes ».

Quand les humates ont été durcis par la dessiccation, ils ne peuvent plus, comme l'argile, redevenir plastiques en présence de l'eau. Mais mélangés avec de l'argile, ils possèdent cette propriété. D'où il résulte que le concours des deux ciments a la meilleure influence sur la terre végétale. Les humates seuls ne suffiraient pas à lui assurer la division en particules. Une terre contenant des humates et privée d'argile pourrait bien conserver après labour l'état particulaire ; mais lorsque le piétinement des cultivateurs et des animaux l'aurait réduite en poussière, elle ne s'agglutinerait plus de nouveau sous l'action de l'eau ; cette agglutination se re-

produit quand les humates sont accompagnés d'argile.

On a vérifié expérimentalement ces diverses observations sur le rôle de la matière organique. On a composé des terres artificielles, en mêlant en proportions variées du sable, du calcaire, de l'argile grasse et de l'humate de chaux ou d'alumine. Ces terres, qu'un praticien aurait certainement confondues avec des terres naturelles, ont présenté sous le rapport de l'agrégation des éléments minéraux tous les caractères qui pouvaient être déduits *a priori* des proportions d'argile ou d'humates (Schlœsing).

La matière humique joue dans les sols un rôle, on le voit, considérable et précieux. Il importe de ne pas l'y laisser disparaître. Si, d'une part, elle se renouvelle incessamment par la décomposition des débris végétaux abandonnés par les récoltes, d'autre part, elle se détruit par l'effet des combustions lentes et, en particulier, de la nitrification ; ce qui s'en produit, chaque année, peut être inférieur à ce qui s'en perd. Il y a là un danger qu'il est utile de signaler, danger d'autant plus à craindre qu'on fait plus grand usage d'engrais exclusivement chimiques. Si ces engrais ne sont pas accompagnés d'engrais organiques, ils peuvent, en permettant la disparition de la matière humique, modifier à la longue l'état physique du sol au point de lui

enlever des qualités de première importance et de diminuer beaucoup sa fertilité.

III. CALCAIRE

43. Provenance, nature. — On trouve dans les sols des débris calcaires en plus ou moins grande proportion. Ces débris proviennent de la destruction des roches calcaires. Tantôt ils sont d'une extrême finesse, comme ceux qui entrent dans la constitution des argiles marneuses, tantôt ils ont des dimensions plus grandes et jouent le rôle physique que nous reconnaitrons au sable. Ils ne consistent jamais en carbonate de chaux pur ; ils renferment toutes les impuretés des roches originaires : oxyde de fer, argile, etc.

44. Dissolution lente du calcaire. — Le calcaire ne persiste pas indéfiniment dans les sols agricoles. Sous l'influence de l'eau et de l'acide carbonique, il se dissout lentement en passant à l'état de bicarbonate et s'élimine peu à peu. Cette dissolution s'effectue suivant une loi parfaitement déterminée ⁽¹⁾, en sorte que, si

(1) Cette loi (SCHLÆSING, — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXIV et LXXV), fournit les chiffres ci-après pour la température de 16°.

On a fréquemment à faire usage de ces chiffres dans des expériences où le sol intervient, quand on veut sa-

L'on connaissait bien 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 pourrait calculer exactement la perte en carbonate de chaux qu'il a subie. Voici un exemple.

Considérons une terre dont l'atmosphère interne renferme en moyenne 1 % de gaz carbonique. Les eaux souterraines qui en sortent contiendront par litre, d'après le tableau ci-dessous, 190 milligrammes de carbonate de chaux dissous à l'état de bicarbonate (sans compter 13 milligrammes dissous à l'état de sel

voir, soit la quantité de carbonate de chaux dissoute en présence d'une atmosphère d'une teneur connue en acide carbonique, soit la quantité d'acide carbonique enlevée à l'atmosphère considérée et fixée par le carbonate de chaux.

Tension de l'acide carbonique	Poids de carbonate de chaux dissous à l'état de bicarbonate dans un litre d'eau.
Atmosphère	Grammes
0,0005	0,061
0,001	0,079
0,005	0,146
0,01	0,190
0,05	0,349
0,1	0,454
0,5	0,834
1,0	1,085

neutre). Admettons qu'il tombe annuellement sur cette terre une hauteur de pluie de 60 centimètres, dont environ un cinquième, soit, à l'hectare, 1 200 mètres cubes, traverse la couche arable. Il y aura, par hectare et par an, 228 kilogrammes de carbonate de chaux emportés par les eaux et ravis à la végétation. Un tel calcul ne peut jamais, faute d'éléments précis, s'effectuer que d'une manière assez grossière. Néanmoins il donne une idée des pertes en carbonate de chaux qu'une terre peut éprouver en dehors du prélèvement des récoltes et rend compte de la nécessité de renouveler les chaulages et marnages. Dans certaines conditions, la totalité du carbonate de chaux a été dissoute et soustraite aux sols. Du calcaire primitif, il n'est plus resté alors que les impuretés. Celles-ci constituent parfois de précieux principes fertilisants.

45. Distinction des sols calcaires et acides. — Quand le calcaire abonde dans un sol, il est facile d'y montrer sa présence ; les acides même étendus, versés sur le sol, y déterminent un dégagement bien visible de gaz carbonique. Mais il en est tout autrement lorsque le calcaire se rencontre en très faible proportion. Les acides ne produisent plus d'effervescence ; en immergeant la terre dans un liquide acide, on n'observe pas la moindre bulle gazeuse, parce que le peu

de gaz carbonique qui est mis en liberté se dissout à mesure qu'il prend naissance. Ne possédant pas, dans ce cas, de moyen simple pour reconnaître le calcaire, on s'est bien souvent trompé dans la détermination de cet élément et on l'a trouvé là où il n'existait pas. Jusqu'à ces dernières années, en effet, beaucoup d'expérimentateurs procédaient à cette détermination en traitant le sol par un acide et dosant la chaux dissoute. M. P. de Mondésir a attiré l'attention sur l'erreur grave à laquelle conduit un tel procédé. La chaux trouvée provient non-seulement du calcaire, mais aussi d'autres combinaisons, humate et silicate de chaux, attaquées par l'acide. Telle terre peut en fournir une assez forte dose, qui est absolument exempte de calcaire proprement dit.

Il est très intéressant de savoir si un sol contient du calcaire ou s'il en est privé et, dans ce dernier cas, s'il est simplement neutre ou acide. Les récoltes à lui faire porter, les engrais à lui donner, peuvent dépendre de ces divers conditions. Un sol acide est généralement peu propre à la culture ; la nitrification ne s'y fait pas. Le dosage de la chaux opéré comme ci-dessus n'éclaire pas suffisamment, nous venons de le voir, sur la teneur en calcaire. M. de Mondésir y a substitué un procédé simple et pratique, dont nous ne pouvons indiquer ici que le prin-

cipe (1). Pour déterminer le calcaire, il agite la terre, dans un flacon clos et de volume connu, avec de l'eau et de l'acide tartrique en poudre, et mesure le carbonate de chaux par l'augmentation de pression due au dégagement d'acide carbonique. Quand le dégagement est nul, il y a lieu de se demander si la terre est acide ; et pour le savoir, on l'agite, toujours en vase clos, avec de l'eau et du carbonate de chaux ; on dit qu'elle est acide, quand elle dégage alors de l'acide carbonique, et l'on mesure son acidité par la quantité de gaz produit.

IV. SABLE

46. — En dehors de faibles proportions d'argile colloïdale et de matière organique, le sol ne comprend guère que des éléments sableux. On pourrait dire qu'il consiste presque exclusivement en sable. Mais, pour nous conformer aux usages des agriculteurs, nous réserverons ce nom aux éléments présentant les plus fortes dimensions, à ceux qui se précipitent rapidement quand on délaye de la terre dans un grand volume d'eau.

Le sable ainsi défini joue, dans le sol, un rôle

(1) *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, 1886, t. II, et 1887, t. II.

physique très important. Il sépare les éléments fins ; en s'interposant entre eux, il les empêche de former une masse continue. Qu'on prenne un peu d'une terre très fine, exempte d'éléments grossiers, et qu'on mélange intimement avec elle une certaine proportion de gravier ou de menus cailloux. On verra immédiatement son aspect se modifier. Il s'y produira des interstices vides qui n'y existaient pas. Elle deviendra beaucoup plus perméable aux gaz et à l'eau. Elle sera aussi moins compacte qu'auparavant, plus facile à remuer, plus meuble. Tels sont les effets du sable dans les sols.

Il lui arrive aussi d'y jouer un rôle chimique. Quand il consiste en quartz, cas très fréquent, il est inattaquable. Mais parfois il comprend du calcaire, ou du feldspath, ou d'autres minéraux décomposables. Alors, outre son utilité comme matière divisante, il est encore capable de donner lieu à des réactions précieuses. Nous avons vu ce que peut produire, à cet égard, le calcaire ; quant au feldspath et autres sables contenant de la potasse, ils sont susceptibles de devenir une source de cet alcali qui n'est point à négliger ⁽¹⁾.

(1) Pour l'analyse physico-chimique du sol et pour le dosage des principes fertilisants, consulter divers ouvrages, entre autres : L. GRANDREAU. — *Traité d'analyse des matières agricoles* (3^e édition). — SCHLÖRSING. — *Contribution à l'étude de la chimie agricole*.

V. CLASSIFICATION DES SOLS AGRICÔLES

47. — Divers auteurs ont essayé de classer les sols agricoles d'après leur constitution physique, c'est-à-dire d'après leur teneur en sable, argile, calcaire et humus. Il ne paraît pas qu'on doive accorder à ces classifications toute l'importance qu'on leur a souvent prêtée. La plupart d'entre elles pèchent par la base : la détermination des éléments dosés a été faite par des procédés dont plusieurs sont aujourd'hui regardés comme d'une précision insuffisante. Mais les dosages fussent-ils parfaits, il resterait à savoir le parti qu'on en peut au juste tirer. On est encore assez mal éclairé sur ce point. Les qualités de chaque sol sont d'ordinaire, nous le verrons, sous la dépendance de diverses circonstances, à lui spéciales, qui empêchent de conclure, suivant une règle générale, de sa constitution à sa valeur agricole. Cette valeur est, dans l'état de nos connaissances, mieux définie par la composition chimique.

Nous ne nous arrêterons donc pas à la classification des sols d'après leurs propriétés physiques et nous renverrons à Thaer, Schwerz, Gasparin, Masure, les lecteurs qui voudraient connaître les principaux travaux sur la matière.

CHAPITRE III

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SOLS AGRICOLES

48. — On peut étudier ces propriétés, et surtout quelques-unes d'entre elles, soit en les considérant comme inhérentes à la constitution des sols et les examinant en elles-mêmes indépendamment des circonstances où elles entrent réellement en jeu, soit en les séparant le moins possible de ces circonstances et cherchant ce qu'elles sont et ce qu'elles produisent dans les conditions naturelles. De ces deux points de vue, le second est évidemment celui qui offre le plus d'intérêt. Il convient de s'en rapprocher plus qu'on ne le fait d'ordinaire.

Oth, de Zurich, attira le premier l'attention sur l'importance des propriétés physiques des sols. Schubler (1) en fit une étude méthodique, mais par des moyens qui, pour être générale-

(1) SCHUBLER. — *Annales de l'agriculture française*, 2^e série, t. LX.

ment acceptés, n'en sont pas moins défectueux en plus d'un cas ; son principal mérite est d'avoir distingué les propriétés physiques les unes des autres, de les avoir définies et mesurées par des procédés scientifiques.

I. POIDS SPÉCIFIQUE DE LA TERRE VÉGÉTALE

49. — Nous avons dit que la terre végétale se compose essentiellement de sable. Or, le sable, quelle que soit sa nature, a un poids spécifique voisin de 2,75. Le poids spécifique de la terre sera donc, à peu de chose près, représenté par ce chiffre. Il n'y a guère que pour les terres très riches en humus qu'il en différera notablement et descendra au-dessous.

Mais l'intérêt n'est pas tant de savoir le poids spécifique réel de la terre que son poids sous un certain volume apparent, par exemple au mètre cube. La connaissance de ce poids est utile dans l'évaluation des charrois qu'une terre peut avoir à subir. Le mètre cube de terre *fraîchement remuée et peu tassée* pèse ordinairement de 1 200 à 1 300 kilogrammes (1). Il pèse davantage si la

(1) La terre ameublie se compose de particules (petits agglomérats formés d'éléments pleins) entre lesquelles existent des vides représentant à peu près le tiers de son volume apparent ; ces particules compren-

terre est fortement tassée ou très humide. Une légère humidité influe peu sur le poids au mètre cube; pour une terre sèche et une terre à 8 ou 10 % d'eau, ce poids est sensiblement le même; il est même souvent plus faible pour la terre humide; ce qui tient à ce qu'une faible humidité augmente le volume apparent, le foisonnement, en même temps que le poids de matière.

Les agriculteurs parlent fréquemment de terres lourdes et de terres légères. Ces expressions ont trait, non pas comme on pourrait croire, à la densité des terres, mais à la résistance plus ou moins grande qu'elles offrent au labour en vertu de leur cohésion.

II. IMBIBITION DE LA TERRE VÉGÉTALE PAR L'EAU

50. — La terre végétale, après avoir été mouillée, restq imbibée d'une certaine proportion d'eau. Schubler mesurait sa faculté d'imbibition en déterminant ce qu'un poids connu de terre conserve d'eau, quand, après avoir été

neut elles-mêmes un tiers de vide, en sorte que, dans une telle terre, les plains sont environ les $\frac{4}{9}$ du total des vides, Et en effet la densité apparente 1,25 est sensiblement les $\frac{4}{9}$ de la densité absolue 2,75.

placé sur un filtre et abondamment arrosé, il a achevé de s'égoutter. Ce procédé est absolument défectueux ; il ne donne pas même une idée approchée de la quantité d'eau qui imbibe ordinairement une terre dans les conditions naturelles (1).

En effet, la terre se ressuie incomplètement sur un filtre ; elle y garde une humidité très exagérée, parce que les interstices compris entre les particules demeurent pleins d'eau (2). Or, aux champs, sauf des cas qu'on peut heureusement regarder comme exceptionnels, les sols sont bien ressuyés dans leurs couches superficielles.

Si l'on veut savoir ce qu'une terre retient réellement d'eau, on prendra sur place, après des pluies et quand le ressuyage se sera effectué, des échantillons à des profondeurs croissant de 10 en 10 centimètres ; on les rapportera au laboratoire et l'on déterminera l'humidité de chacun d'eux. On trouvera, en général, pour les terres des taux pour cent variant de 30 à 45 ;

(1) M. E. Risler a constaté que, dans la nature, la terre ne contient pas, en général, le maximum d'eau qu'on pourrait lui faire absorber par les méthodes indiquées dans les traités d'agronomie (*Recherches sur l'évaporation du sol et des plantes*, 1879).

(2) Voir à ce sujet les expériences de M. SCHLÆSING. — *Contribution à l'étude de la chimie agricole.*

pour les sables, surtout les sables grossiers, on peut trouver dix fois moins.

On regarde souvent les terres argileuses comme douées plus que les autres de la faculté de retenir l'eau. Il n'en est pas ainsi d'ordinaire ; les terres qui retiennent le plus d'eau sont celles qui, étant composées d'éléments très fins, ne renferment pas une proportion de ciment, minéral ou organique, suffisante pour leur conserver la division en particules. Sous l'action de l'eau, elles tendent à former des boues qui ne se ressuient pas. Les terres argileuses, au contraire, conservent aisément l'état particulaire favorable au ressuyage.

III. FACULTÉ HYGROSCOPIQUE OU HYGROSCOPICITÉ DE LA TERRE VÉGÉTALE

51. — La terre, comme beaucoup d'autres matières solides, est hygroscopique, c'est-à-dire capable d'absorber de la vapeur d'eau empruntée à l'air environnant, alors même que cet air n'est pas saturé.

La proportion d'eau ainsi absorbée par un corps augmente avec la surface qu'il offre sous un poids donné. De deux terres de même nature, la plus fine se chargera donc, par hygroscopicité, de plus d'eau que l'autre.

Une étude précise de l'hygroscopicité des

terres a conduit aux résultats suivants. 1° Il suffit qu'une terre ait 5 % d'eau pour que l'eau y possède à peu près la tension maxima correspondant à sa température, c'est-à-dire pour que la terre ne prenne plus d'humidité à l'air et même qu'elle lui en cède s'il n'est pas saturé. Mais, si la terre ne renferme, par exemple, que 1 % d'eau, la tension de vapeur de cette eau peut n'être que les 2 ou 3 dixièmes de la tension maxima ; dès lors, la terre prendra de l'humidité à l'atmosphère ambiante, du moment que cette atmosphère aura un état hygrométrique supérieur à 0,2 ou 0,3. 2° L'hygroscopicité des terres varie très peu avec la température entre 9 et 35° ; ce qui signifie qu'une terre, supposée en équilibre d'humidité avec l'atmosphère ambiante, gardera sensiblement la même quantité d'eau malgré les variations de température qui surviendront, si l'état hygrométrique de l'atmosphère reste constant (1).

IV. DESSICCATION DE LA TERRE VÉGÉTALE

52. — Deux phénomènes interviennent dans la dessiccation de la terre végétale : l'évapora-

(1) SCHLÆSING. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIX, 1884.

tion par la surface extérieure et le transport de l'eau vers cette surface.

L'évaporation dépend essentiellement de l'état hygrométrique et du renouvellement de l'air ambiant.

Le transport de l'eau, résultat d'actions capillaires assez complexes, est d'autant plus facile que le sol est plus humide et composé d'éléments moins fins.

Toutes choses égales d'ailleurs, une terre à éléments grossiers se desséchera plus vite qu'une terre à éléments fins. Mais il ne faut pas se hâter d'en conclure qu'elle deviendra plus vite impropre à entretenir la végétation. Car, précisément en raison de la facilité relative avec laquelle l'eau y circule, la première pourra encore fournir de l'eau aux racines, quand la seconde, quoique plus humide, ne le pourra plus. M. Sachs a trouvé que dans un sol argileux à éléments fins, un plant de tabac se fane dès que l'humidité s'abaisse à 8 %, tandis qu'en un sol de sable quartzueux à gros grains la même plante ne se fane que si l'humidité descend à 1,5 % ; ce qui signifie que, dans le premier sol, à 8 % d'humidité, la circulation de l'eau devient trop pénible pour subvenir aux besoins de la plante, alors que, dans le second sol, pareil fait ne se produit que lorsque le taux d'humidité se réduit à 1,5 %.

L'opération du binage a, entre autres bons effets, celui de diminuer la dessiccation de la terre. C'est en s'opposant au transport de l'eau vers la surface qu'elle produit cet effet ; elle rompt les canaux capillaires par où l'eau monte, appelée par l'évaporation.

V. DIVERS EFFETS DE LA DESSICCATION DE LA TERRE VÉGÉTALE. COHÉSION. RETRAIT

53. — En se desséchant, la terre végétale prend d'ordinaire une certaine dureté, une certaine cohésion. Cet effet de la dessiccation se manifeste à tous les degrés ; il est rare qu'il soit insensible (terres de bruyère, sols de forêts formés de grès). Une très petite proportion d'argile ou d'humates suffit à le produire d'une manière appréciable.

La détermination de la cohésion de la terre plus ou moins desséchée, ainsi que l'adhérence aux instruments de la terre plus ou moins humide, n'a guère d'intérêt que pour le labourage ; elle peut servir à fixer l'importance des attelages à y employer. Or, l'invention du dynamomètre a fait perdre à peu près toute utilité aux expériences de laboratoire en pareille matière. Si l'on veut savoir l'effort nécessaire à

la traction d'une charrue donnée dans un sol donné, on peut le mesurer très facilement et avec précision en interposant un dynamomètre entre la charrue et les bêtes qui y sont attelées. Mais ces mesures elles-mêmes n'ont guère d'intérêt pratique. Un cultivateur veut-il labourer son champ ; il prend le seul parti qu'il ait à prendre : il attelle autant d'animaux qu'il en faut pour que le travail se fasse convenablement, sans avoir égard aux mesures dynamométriques.

La cohésion d'une terre augmente généralement avec la proportion d'argile ou avec celle des humates ; mais ici il convient de se rappeler ce qui a été dit de l'influence du second ciment sur le premier (§ 42), influence qui se résume dans ce dicton déjà cité : « Le terreau ameublît les terres trop fortes ».

La cohésion dépend encore du degré de ténuité des éléments. A proportion égale d'argile ou d'humates, les terres durcissent d'autant plus en séchant qu'elles sont plus fines. Il y en a qui, quoique pauvres en matières capables de les cimenter, prennent néanmoins assez de dureté ; elles le doivent à la petitesse des éléments qui les composent. Ces terres offrent souvent de graves inconvénients : pleut-il ? elles sont boueuses ; fait-il sec ? elles sont dures.

Par l'effet de la dessiccation, les terres diminuent plus ou moins de volume et se fendillent.

Il en résulte que de jeunes racines sont rompues; c'est un accident parfois très fâcheux (1).

VI. LA TERRE VÉGÉTALE NE CONDENSE PAS LES GAZ

54. — On a souvent prêté à la terre végétale la propriété de condenser les gaz ; on a invoqué cette propriété pour expliquer l'énergie des combustions qui s'y accomplissent et particulièrement la nitrification. C'était là une grave erreur, qui, il faut le reconnaître, a aujourd'hui a peu près disparu de la science.

Pour savoir si la terre possède le pouvoir dont il s'agit, on a eu recours à la méthode suivante : on extrait la totalité des gaz que renferme une masse déterminée de terre ; on remplit ensuite avec de l'eau les espaces vides et l'on compare le volume de l'eau absorbée avec celui des gaz ramenés à la pression et à la température qu'ils avaient dans la terre. On a trouvé ainsi, à $\frac{1}{1000}$ près environ et avec des terres diverses, égalité entre le vo-

(1) Dans une terre homogène, chacun a pu l'observer, les fentes produites par la dessiccation forment des lignes brisées ou courbes qui, généralement, se coupent deux à deux à angle droit. On explique le fait par une analyse que nous ne pouvons reproduire ici.

lume des gaz, convenablement corrigé, et celui de l'eau (1). Par une méthode un peu différente, M. Berthelot a constaté que la terre n'absorbe pas l'oxyde de carbone (2). Ainsi la terre végétale ne condense pas les gaz.

On observerait peut-être une condensation appréciable, si la terre renfermait une forte proportion de débris de charbon. On sait, en effet, que ce corps a la faculté d'absorber les gaz. De la terre calcinée en vase clos acquiert cette faculté, qu'elle doit à la présence du charbon provenant de la décomposition de la matière organique.

Il faut noter que, si la terre végétale n'a pas, comme le charbon, comme le noir de platine, la faculté d'absorber les gaz dans une mesure sensible en vertu d'une propriété purement physique, elle peut néanmoins, et cela est manifeste, absorber des gaz par suite de réactions chimiques. C'est ainsi que les terres argileuses, la pierre lydienne, certains schistes, l'humus, certaine argile blanche, sont capables de s'oxyder plus ou moins rapidement aux dépens de l'air ambiant.

(1) SCHLESING. — *Contribution à l'étude de la chimie agricole.*

(2) BERTHELOT. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXI, 1890.

VII. ABSORPTION DE LA CHALEUR SOLAIRE
PAR LA TERRE VÉGÉTALE

55. — Les végétaux reçoivent du soleil la chaleur dont ils ont besoin, soit par radiation directe, soit par l'intermédiaire du sol qui transforme de diverses façons cette radiation.

Les quantités de chaleur absorbées et emmagasinées par la terre végétale sont très variables suivant les cas. Elles dépendent, en ce qui concerne le sol lui-même, de son pouvoir absorbant pour la chaleur, de sa conductibilité, de son état d'humidité, de sa coloration ; elles dépendent d'autre part, en dehors de l'intensité de la radiation, de l'obliquité des rayons, de la durée des jours, de l'état de l'atmosphère.

L'influence de chacune de ces conditions est évidente. Voici des faits qui précisent quelques-unes d'entre elles.

Entre deux lots d'une même terre exposés au soleil, l'un sec, l'autre humide, on observe facilement une différence de température de 8° dans la couche superficielle (Schubler). L'abaissement de température pour le lot humide est dû à l'évaporation. Entre deux lots humides contenant des quantités d'eau fort diverses, l'écart est faible.

On peut trouver encore une différence de tem-

pérature de 7 ou 8° entre deux lots d'une même terre dont l'un a été couvert d'une mince couche de noir de fumée (Schubler). Les terres de couleur foncée absorbent plus de chaleur que les terres plus claires. On sait que, dans certaines régions voisines de la limite de culture de la vigne, les raisins noirs, qui demandent pour mûrir plus de chaleur que les blancs, ne viennent bien que sur les terres foncées. Dans des parties élevées de la Suisse, il est d'usage de répandre sur le sol de la terre noire pour faciliter la fonte de la neige et hâter ainsi le développement de la végétation (1).

L'obliquité des rayons est un obstacle des plus sérieux à l'absorption de la chaleur solaire dans les hautes latitudes. Cependant elle peut être compensée par la longueur des jours ; cette compensation permet la culture du blé dans certaines parties de la Suède.

Le soleil est-il la seule source de la chaleur dont profitent les végétaux dans nos champs ? La combustion des matières organiques du sol est-elle capable de fournir une quantité de chaleur appréciable ? Considérons un hectare, fumé annuellement à raison de 30 000 kilogrammes de fumier et recevant ainsi 6 000 kilogrammes de matière sèche qui, à raison de 36 % de carbone, 4,2 %

(1) H. CHRIST. — *Flore de la Suisse*.

d'hydrogène et 25,8 % d'oxygène (Boussingault), donne par combustion totale environ 17 millions de calories, soit à peu près 5 calories par jour et par mètre carré. Admettons que les effets de cette production de chaleur s'étendent à une couche de 15 centimètres d'épaisseur, pesant, au mètre carré, 200 kilogrammes et possédant une chaleur spécifique égale à 0,2. Les 5 calories dégagées pourront élever de $\frac{1}{3}$ de degré par jour la température du sol. Cet échauffement est insignifiant par rapport à l'action solaire. Pour que le fumier devienne une source importante de chaleur, il faut qu'il soit employé en très grande abondance, comme il n'est possible de le faire que dans la culture des jardiniers.

VIII. VARIABILITÉ DES CONSÉQUENCES A DÉDUIRE DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES TERRES

56. — Les propriétés physiques d'une terre ont une part très variable dans l'ensemble de ses qualités. Une terre étant donnée, qui possède à un certain degré telle propriété physique, on ne peut pas *a priori* dire d'une manière absolue qu'il en résulte pour elle tel avantage ou tel inconvénient ; pour en juger convenablement, il faut tenir compte de circonstances diverses.

Par exemple, telle terre qui se ressuie lente-

ment après avoir été mouillée, pourra être mauvaise dans un pays pluvieux et précieuse dans un pays sec ; elle se prêtera, tout au moins, à des cultures différentes dans les deux pays. Sur un sous-sol imperméable, une terre fortement argileuse risquera de rester longtemps trop humide pour être travaillée, ce qui retardera les labours et entraînera souvent de très fâcheuses conséquences ; sur du sable ou du gravier, elle s'égouttera bien plus vite.

L'orientation est une des circonstances qui modifient profondément les propriétés des sols. Dans les climats tempérés, l'exposition au midi est favorable à beaucoup de cultures. Dans les pays froids, cette même exposition semblerait devoir être presque nécessaire à la végétation. Il arrive pourtant qu'elle lui soit tout à fait préjudiciable. On observe nettement le fait dans des parties élevées de la Suisse et de l'Écosse. Les plantes y sont, pendant une partie de l'année, couvertes de givre chaque matin. Du côté du midi, elles sont soumises, dès l'apparition du soleil, à un brusque dégel qui leur est extrêmement nuisible ; les versants nord éprouvent des variations de température moins rapides et moins accusées, et par suite sont plus productifs.

Il ressort de ce qui précède que, pour apprécier à leur juste valeur les propriétés physiques des sols, il importe de les étudier sur place dans

chaque cas particulier ; car ces propriétés n'ont rien d'absolu dans leurs effets. Il n'en faudrait pas conclure qu'elles n'ont qu'une médiocre importance. Cette opinion a trop facilement cours. Dans l'étude des sols, la composition chimique, qu'on détermine aujourd'hui par des procédés si commodes, a peut-être trop exclusivement fixé l'attention des hommes de science et de pratique depuis quelque temps. L'étude des propriétés physiques ne doit pas être dédaignée ; jointe à celle de la composition chimique, il est vraisemblable qu'elle donnera la clé, dans bien des cas spéciaux, de phénomènes cultureux encore inexpliqués.

CHAPITRE IV

PHÉNOMÈNES CHIMIQUES ET MICROBIENS S'ACCOMPLISSANT DANS LES SOLS AGRICOLES

57. — Le sol est le siège de phénomènes chimiques qui intéressent au plus haut point la végétation, car ils préparent les aliments absorbés ensuite par les racines. Ces phénomènes sont extrêmement variés. On ne saurait en donner une énumération complète ; il est, en effet, bien certain qu'on ne les connaît pas tous. Nous passerons en revue ceux sur lesquels on a aujourd'hui des idées précises. Notons dès maintenant l'importance, de jour en jour plus considérable, que prennent parmi ces phénomènes ceux qui s'accomplissent avec le concours de microbes.

I. PRODUCTION DE PRINCIPES FERTILISANTS
PAR LA DÉCOMPOSITION DES ROCHES

58. — A propos de la formation des sols (§ 31), il a déjà été parlé de la décomposition des roches sous l'influence de l'eau, de l'acide carbonique (et aussi de causes physiques et mécaniques). Cette décomposition est une source souvent importante de principes fertilisants. Ainsi, le silicate de potasse des feldspaths et des argiles se transformant en carbonate, l'alcali passe à l'état soluble, c'est-à-dire immédiatement assimilable. L'acide phosphorique est encore fourni aux végétaux par la destruction des roches, qui, toutes, en renferment au moins des traces, et le sesquioxyde de fer par l'oxydation du sous-oxyde qui entre également dans un grand nombre de minéraux.

La production de ces divers principes est assurément fort lente ; elle ne procure pas, en général, la totalité des principes minéraux nécessaires aux récoltes. Mais il n'est pas rare qu'elle suffise à faire face à la consommation de plusieurs d'entre eux. C'est là un cas exceptionnel en ce qui concerne la potasse et l'acide phosphorique ; cependant il y a des terres qui, de puis un temps

extrêmement considérable, portent du blé sans qu'on leur restitue ni potasse ni acide phosphorique. C'est que la mise en liberté de ces composés est au moins équivalente à ce que les récoltes en emportent.

La destruction des roches calcaires joue un rôle particulièrement intéressant dans les sols. Qu'il suffise de rappeler l'influence de leur dissolution à l'état de bicarbonate sur la coagulation de l'argile, sur la formation de l'humate de chaux, sur le maintien de l'ameublissement, dissolution qui intervient aussi, comme on le verra, dans la nitrification, et qui exerce une action directe sur le développement des végétaux, en leur apportant sous forme soluble de la chaux, un de leurs aliments indispensables. Enfin, après leur dissolution, les roches calcaires laissent parfois comme résidu, ainsi qu'il a été dit déjà, des substances riches en principes fertilisants.

II. PROPRIÉTÉS ABSORBANTES DE LA TERRE VÉGÉTALE

59. — La terre végétale a la propriété de retenir à l'état insoluble, malgré l'action dissolvante de l'eau, un certain nombre de substances, parmi lesquelles figurent de précieux aliments

des plantes. On désigne souvent cette propriété sous le nom de *pouvoir absorbant*. Elle a été découverte vers 1848. A cette époque, M. Huxtable constata qu'en filtrant du purin sur de la terre, on obtient un liquide incolore, sans mauvaise odeur; M. S. Thompson reconnut qu'une dissolution d'ammoniaque ou d'un sel ammoniacal est partiellement dépouillée par la terre de son alcali. M. Th. Way entreprit bientôt sur ce sujet une série de belles recherches; il trouva que le pouvoir absorbant ne s'exerce pas seulement à l'égard de l'ammoniaque, mais de toutes les bases alcalines et terreuses nécessaires aux végétaux.

Sa méthode consistait à agiter dans un flacon un poids connu de terre avec un volume également connu d'une dissolution titrée d'un principe fertilisant. On laissait ensuite reposer la dissolution; on décantait une fraction du liquide clair et l'on en déterminait de nouveau le titre. De là se déduisait le poids du principe qui avait été fixé. Les résultats de telles expériences varient beaucoup suivant la nature de la terre et celle du principe dissous et suivant le titre et le volume des liqueurs. On conçoit que ce volume ait une influence. Plus il est grand, moins les liqueurs s'appauvrissent par le départ de la portion du principe qui est fixée sur la terre, et par suite plus, dans l'équilibre final, cette portion est considérable.

L'affinité de la terre pour les principes fertilisants est très énergique, mais elle est facilement satisfaite, c'est-à-dire qu'une petite partie de ces principes suffit pour saturer la terre ; au contraire, l'affinité de l'eau est faible, mais sa capacité est grande, c'est-à-dire qu'il faut un poids considérable d'un principe pour la saturer. Ces propriétés règlent la manière dont se fait le partage des principes fertilisants entre la terre et l'eau.

La proportion des principes absorbés par la terre ne dépasse guère 2 ou 3 millièmes de son poids. Elle représente ainsi une réserve capable de subvenir aux besoins de nombreuses récoltes.

Le pouvoir absorbant d'une terre à l'égard d'un certain principe dépend étroitement de son état d'approvisionnement relativement à ce principe. Ainsi, on trouve en général que l'absorption de la potasse et de l'ammoniaque est notable, tandis que celle de la chaux et de la soude est faible. En effet, l'approvisionnement des sols est d'ordinaire peu considérable en ce qui concerne les deux premières bases, qui sont l'une et l'autre avidement recherchées par les végétaux et dont la seconde disparaît de plus très rapidement en se transformant en nitrates ; mais il en est autrement pour la chaux et la soude, celle-ci n'étant que peu absorbable par les

plantes et celle-là étant d'ordinaire surabondante dans les sols.

Quand on met en contact avec une terre une dissolution d'un sel à base alcaline, tel que nitrate, chlorure, sulfate de potasse, de soude ou d'ammoniaque, la base seule de ce sel est en partie fixée ; l'acide ne l'est pas. De plus, si, le sel consistant en sulfate de potasse par exemple, une certaine quantité de potasse a été retenue par la terre, une quantité équivalente d'une autre base qu'elle contenait, telle que chaux ou magnésie, apparaît dans la dissolution à l'état de sulfate. Lorsqu'on a lavé la terre au préalable à l'acide chlorhydrique et à l'eau, la fixation n'a plus lieu ; la dissolution de sulfate de potasse n'est plus modifiée. Mais une base libre, offerte en dissolution, peut encore être absorbée.

Tels sont les faits établis par les expériences de Way, confirmés par les recherches de bien des expérimentateurs et en particulier de M. Vœlcker. On en voit immédiatement toute l'importance. Ils montrent, en effet, dans le sol une faculté précieuse, celle de mettre en réserve certaines substances, qui sont des plus utiles pour les plantes et qui, sans cette faculté, seraient en grande partie entraînées par les eaux souterraines et perdues pour l'agriculture.

L'explication de ces faits est demeurée, jusqu'à une date récente, assez obscure. Ils ne sont

pas encore complètement éclaircis; cependant de récents travaux y ont apporté une vive lumière.

D'après des recherches, en grande partie inédites, de M. P. de Mondésir (1), exécutées dans ces dernières années, le pouvoir absorbant de la terre végétale tient essentiellement à la propriété que possèdent la matière organique désignée sous le nom d'acide humique et aussi l'acide silicique d'être polybasiques, de prendre les bases qui leur sont offertes, par simple addition si elles sont libres, par double échange si elles sont à l'état salin.

Considérons, par exemple, le cas où l'on traite une terre riche en humate de chaux par une dissolution de sulfate de potasse; on constate alors qu'une portion du sel est décomposée. Pour M. de Mondésir, l'humate de chaux a échangé une partie de sa chaux contre une quantité équivalente de potasse; il s'est fait un humate polybasique. Dans de tels échanges, les silicates peuvent se comporter à la manière des humates.

On a dit souvent que la présence du calcaire était nécessaire à l'exercice du pouvoir absorbant à l'égard des solutions salines. On en a donné

(1) M. Van Bemmelen a fait connaître des expériences qui l'ont conduit à conclure que le pouvoir absorbant appartient aux matières colloïdales du sol, silicates, oxyde de fer, acide silicique, substances humiques (*Lanwirthschaftliche Versuchs-Stationen*, 1888).

pour preuve que, si on lave une terre à l'acide chlorhydrique, puis à l'eau, elle devient incapable de fixer les bases des solutions de sels alcalins. M. Brustlein, à qui l'on doit de très intéressantes expériences, analogues à celles de M. Way, sur l'absorption de l'ammoniaque, libre ou à l'état salin, par des sols de natures diverses, a pensé établir mieux encore la nécessité du calcaire. Ayant vérifié d'abord que la décomposition d'une solution de sel ammoniac n'a pas lieu par une terre préalablement lavée à l'acide, il a maintenu cette terre dans une solution de bicarbonate de chaux, qu'il a portée à l'ébullition avec l'idée de précipiter sur les particules terreuses du calcaire dans un état de division extrême, et il a constaté qu'après ce traitement elle redevenait capable de fixer l'ammoniaque d'un sel. Il faut avouer que ce résultat paraissait bien entraîner la conséquence qu'on en a déduite, quoique pourtant un point restât fort surprenant : si le carbonate de chaux prend part à la décomposition par le sol d'un sel alcalin à base fixe, tel que le sulfate de potasse, décomposition dans laquelle se forme du sulfate de chaux, il a dû se faire du carbonate de potasse ; c'est-à-dire qu'il s'est passé une réaction inconciliable avec l'action bien connue du carbonate de potasse sur le sulfate de chaux.

Les idées de M. de Mondésir rendent compte des faits observés d'une manière satisfaisante. Ce n'est pas le calcaire qui est nécessaire à la décomposition des solutions salines par le sol ; c'est l'existence d'humates ou de silicates polybasiques, parmi lesquels dominant ordinairement ceux de chaux. Quand on lave une terre à l'acide, on détruit ces composés ; quand on la porte ensuite à l'ébullition avec une dissolution de bicarbonate de chaux, on les reforme. En faisant ainsi tour à tour disparaître et reparaitre dans la terre les corps polybasiques, on lui retire et on lui rend la faculté de décomposer les solutions salines. Mais le carbonate de chaux n'est pour rien dans cette décomposition.

La chaux n'est pas même la base nécessaire à laquelle doivent se substituer celles que la terre enlève aux solutions salines. Il arrive que, dans une terre, on puisse à volonté fixer telle ou telle base à la place de telle ou telle autre. Quand on traite une terre calcaire par une solution de sel marin, on y produit une absorption de soude avec élimination de chaux ; si ensuite, après l'avoir lavée à l'eau, on l'agite avec une solution de sulfate de chaux, on donne naissance à du sulfate de soude avec fixation de chaux. M. de Mondésir a exécuté maintes fois ces opérations, en particulier au cours de ses remarquables recherches sur la formation naturelle du na-

tron ⁽¹⁾. Dans ces réactions, les éléments fixateurs des bases, l'acide humique et la silice, peuvent se charger alternativement d'une base ou d'une autre suivant la dissolution qu'on leur présente; ce sont comme les pivots de l'absorption.

Nous donnons peut-être une précision exagérée à une théorie où il reste encore plusieurs points à éclaircir. Ainsi, il est à croire qu'en dehors des humates et des silicates d'autres éléments du sol jouent un rôle dans le pouvoir absorbant ⁽²⁾. Mais, dans l'état actuel de la question, on peut pour simplifier ne regarder comme agents d'absorption que ces composés, qui doivent exercer l'influence prépondérante.

Quoi qu'il en soit, d'ailleurs, de l'explication des faits, ce qu'il faut retenir avant tout, ce sont les faits eux-mêmes. Il résulte positivement des expériences citées plus haut que la terre végétale est capable de fixer à l'état insoluble les bases alcalines. Elle ne retient pas les acides; ainsi l'acide nitrique des nitrates la traverse sans s'y arrêter. Il n'en est pas de même de l'acide

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1888.

(2) Ce qui est bien certain, c'est que la matière organique n'est pas seule à exercer le pouvoir absorbant; M. de Mondésir a constaté cette propriété à un degré encore important dans une terre dont la matière organique avait été entièrement brûlée par traitement au permanganate de potasse.

phosphorique ; mais sa fixation paraît être un phénomène étranger à ceux qu'on attribue au pouvoir absorbant, et résulter tout simplement de ce qu'il forme dans le sol des combinaisons insolubles. Du phosphate de chaux dissous dans l'eau à la faveur d'acide carbonique est rapidement précipité en présence d'un excès de sesquioxyde de fer ou d'alumine ; si bien que dans la liqueur qu'on peut séparer par filtration on ne retrouve plus trace d'acide phosphorique (P. Thénard). Les sols renferment toujours assez d'oxyde de fer et d'alumine pour insolubiliser l'acide phosphorique ; c'est pourquoi cet acide y demeure. En résumé, la terre fixe les principes fertilisants les plus importants, à l'exception des nitrates.

On peut tirer de ce qui précède plusieurs conséquences intéressant la pratique. 1° Les acides des solutions avec lesquelles le sol est en contact n'étant pas retenus, la nature des acides entrant dans les sels alcalins employés comme engrais est relativement peu importante au point de vue de l'absorption des alcalis. 2° Il ne faut pas compter sur la diffusion pour disséminer partout dans le sol les substances fertilisantes ; car plusieurs y sont à peu près immobilisées à l'état insoluble (1). 3° Les fortes fumures (sauf les ni-

(1) On pourrait être tenté de conclure de là à la né-

trates) peuvent être employées sans qu'on ait à craindre les pertes par les eaux souterraines ; car une bonne terre retient plus de 50 fois autant de principes fertilisants qu'on lui en donne annuellement dans la pratique. Mais, à cet égard, il est essentiel de faire observer que l'azote ammoniacal nitrifie en général rapidement et que les nitrates produits échappent au pouvoir absorbant. Il faudra donc ne mettre en œuvre les sels ammoniacaux employés comme engrais qu'au moment où la végétation peut les utiliser sans retard.

III. RELATIONS DE LA TERRE VÉGÉTALE AVEC L'AMMONIAQUE ET L'AZOTE LIBRE DE L'ATMOSPHERE

60. — M. Schlœsing a annoncé ⁽¹⁾ que la terre végétale, sèche ou humide, calcaire ou non,

cessité d'épandre les engrais en tendant à les disséminer dans la masse du sol d'une façon parfaitement uniforme. Mais il n'est nullement certain qu'on en obtienne ainsi la meilleure utilisation. Il est fort possible qu'on favorise davantage leur absorption par les racines, si l'on en forme comme de petits gisements de place en place, par exemple si on les sème en lignes (SCHLÆSING. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sc.* 2^e semestre 1892).

(1) *Comptes rendus de l'Académie de Sciences*, 1876.

fixait continuellement de l'ammoniaque empruntée à l'atmosphère. Ses expériences ont donné, pour les terres sèches, une fixation de 12 à 30 kilogrammes par hectare et par an et, pour les terres humides, une fixation atteignant et dépassant une cinquantaine de kilogrammes. L'absorption de l'ammoniaque par les terres apparaissait ainsi, non pas comme pouvant fournir tout l'azote de fortes récoltes, mais du moins comme une source de cet élément qu'il y avait lieu de ne pas négliger.

Une dizaine d'années plus tard, MM. Berthelot et André ont fait connaître ⁽¹⁾ des expériences qui tendaient à prouver au contraire que la terre végétale dégage de l'ammoniaque. De nouvelles recherches furent entreprises par M. Schlœsing sur la question ⁽²⁾; elles confirmèrent ses premiers résultats.

Une divergence de vue s'est encore produite entre les mêmes savants à propos d'une autre question intéressant à un haut degré la statique de l'azote en agriculture. A la suite d'importantes expériences, exécutées dans des conditions variées, MM. Berthelot et André ⁽³⁾ ont été ame-

⁽¹⁾ *Annales de Chimie et de Physique*.

⁽²⁾ Dans ces recherches, M. Schlœsing s'est mis en garde contre l'erreur pouvant résulter d'une fixation d'azote libre (*Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, 1890).

⁽³⁾ *Annales de Chimie et de Physique*, 1886-1890.

nés à conclure que la terre végétale avait la propriété de fixer l'azote gazeux de l'atmosphère. Cette fixation se ferait avec le concours de microbes ; pour s'effectuer au maximum, elle exigerait diverses conditions relatives à la perméabilité des sols, à leur degré d'humidité, à leur état d'ameublissement.

De son côté, M. Schlœsing, sans contester la possibilité de la fixation de l'azote par les sols, a voulu la reproduire. Il y a employé, parmi les différentes méthodes suivies par MM. Berthelot et André, celle qui paraissait la plus décisive et qui consistait à enfermer de la terre dans un flacon avec de l'air et à doser l'azote qui était contenu dans cette terre à différentes époques ; cette méthode élimine complètement l'influence de l'atmosphère comme source d'ammoniaque pouvant enrichir les terres en azote. Dans ces conditions, M. Schlœsing n'a point trouvé de fixation. Il a fait mieux ; il a eu recours à la méthode directe, dans laquelle un volume rigoureusement déterminé d'azote gazeux est abandonné avec la terre dans des appareils clos et mesuré de nouveau avec précision après de longs mois de contact. Il a retrouvé, en fin d'expérience, les mêmes volumes qu'au début ; d'où, point de fixation appréciable, utile à l'agriculture (1).

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1888, 1889. Le même résultat a été rencontré dans les expé-

Il ne nous est guère permis de faire un choix entre ces conclusions opposées. Mais il semble utile de remarquer que les recherches dont il vient d'être question ont été exécutées avant que l'attention fût attirée sur les algues, avant qu'il fût démontré qu'il y avait des algues capables de fixer l'azote libre de l'air. Quand on a trouvé que des terres fixaient l'azote libre, est-il absolument certain que des algues, peut-être peu visibles, auxquelles on ne prenait pas garde, n'étaient pour rien dans la fixation ?

Il est vrai que, depuis lors, on a signalé dans le sol, en dehors des algues, la présence de microbes incolores fixant l'azote ⁽¹⁾ ; mais le sol, grand réceptacle, grand filtre de toutes les poussières circulant à la surface du globe, doit contenir à peu près tous les microbes possibles ou leurs germes et, en particulier, ceux qui fixent l'azote, s'il y en a. Il resterait à prouver que ces derniers s'y développent et qu'ils y exercent d'une façon appréciable la fonction fixatrice.

riences de MM. TH. SCHLOSSING fils et EM. LAURENT. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1890, 1891 et 1892.

(1) Divers microbes aérobies (BERTHELOT. — *Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, 1893) et un anaérobie, le *Clostridium Pasteurianum*, capable de vivre dans un milieu aéré sous la protection d'espèces aérobies (WINOGRADSKY. — *Archives des Sciences biologiques*, t. III, n° 4, Saint-Petersbourg, 1895).

De tout ce qui précède on peut tirer une conclusion de nature à contenter ceux qui regardent moins à la théorie qu'aux faits. Il n'est pas nié que l'atmosphère, soit par son ammoniaque (1), soit par son azote libre, ne contribue à enrichir les sols en azote. Préciser l'apport ayant lieu de ce chef, serait difficile. Mais cet apport représente une fraction sensible de l'azote des récoltes. Il contribue à expliquer les heureux effets de la jachère et la possibilité de la culture sans engrais, ainsi que la production de la végétation spontanée qui transforme peu à peu des sols stériles en véritable terre végétale (2).

IV. COMPOSITION DES DISSOLUTIONS CONTENUES DANS LES SOLS AGRICOLES

61. — Dans l'étude de nombreuses questions, relatives à la nutrition végétale, à l'appauvrissement des sols, au pouvoir absorbant, on a à con-

(1) Indépendamment de ce que fournissent les eaux météoriques.

(2) D'après ce qu'on a vu plus haut, il faut aussi tenir grand compte de la fixation directe de l'azote libre par les algues dans l'explication de ces phénomènes.

sidérer la composition des dissolutions souterraines. Way a exécuté un grand nombre d'analyses d'eaux de drainage, dont voici les résultats :

ANALYSE D'UN LITRE D'EAU DE DRAINAGE

Potasse . . .	de 0 à 3 ^{mg}	Silice . . .	de 6 à 25 ^{mg}
Soude. . . .	12 à 45	Acide phos-	
Chaux. . . .	33 à 185	phorique . .	0 à 1,7
Magnésie . .	3 à 35	Ammoniaque.	0,1 à 0,3
Oxyde de fer et		Acide azotique	27 à 165
alumine . . .	0 à 18	Chlore et acide	extrêmement
		sulfurique .	variables

D'autres expérimentateurs sont arrivés à des chiffres du même ordre ⁽¹⁾. On voit que les principes fertilisants, les nitrates exceptés ⁽²⁾, se trouvent en bien faible proportion dans les eaux de drainage.

Les eaux de drainage ont traversé non seulement le sol, mais aussi le sous-sol. Elles ont pu laisser dans cette dernière couche une partie des principes qu'elles contenaient encore avant d'y

⁽¹⁾ A. RONNA. — *Travaux et expériences du docteur Vœlker*, 1888 ; voir aussi les travaux de MM. LAVES, GILBERT et WARRINGTON. — *The Journal of the royal agricultural Society*, 1881.

⁽²⁾ DEHÉRAIN. — *Sur l'entraînement des nitrates par les eaux de drainage*. Comptes rendus de l'Ac. des Sc. depuis 1889.

pénétrer. Il était donc à craindre qu'elles ne fussent en réalité plus riches qu'on ne pensait au sortir du sol et qu'en s'appuyant sur leur composition pour calculer les pertes que le sol subit, on ne restât au-dessous de la vérité. De là, pour recueillir les eaux souterraines, l'emploi du lysimètre, appareil consistant en une caisse à double fond, ayant un fond supérieur à claire-voie qui supporte une couche de terre d'épaisseur égale à celle de la couche arable, et un fond inférieur étanche, servant de réservoir pour les dissolutions qui ont traversé la terre (Fraas et Zoeller). L'examen des liquides ainsi obtenus fournit des résultats analogues à ceux de Way.

Il est donc acquis que les eaux qui ont traversé la couche arable sont très pauvres. Dans une région où il tombe annuellement une hauteur de 60 centimètres d'eau, dont un cinquième seulement passe à travers le sol, elles emportent, au taux de 2 milligrammes de potasse par litre, seulement 2^{kg},4 de cette base par hectare et par an ; c'est à peu près insignifiant.

Les proportions relatives des principales substances dosées dans les eaux de drainage s'accordent très bien avec ce que nous savons du pouvoir absorbant. La potasse est rare, parce que les sols en étant dépouillés par la végétation sont loin d'en être saturés et n'en abandonnent

par suite que très peu à l'eau ; il en est de même pour l'ammoniaque, qui, de plus, disparaît des sols par la nitrification, ainsi qu'on l'a déjà dit, Mais la soude et la chaux, l'une presque inutile aux plantes, l'autre généralement abondante dans les sols, sont en bien moins faible quantité. L'acide phosphorique existant dans le sol à l'état insoluble, reste à peu près indifférent aux lavages. Quant aux nitrates, très variables suivant la saison, qui permet une nitrification plus ou moins active, ils se présentent toujours en proportions sensibles et parfois fort élevées. Comme les sels ammoniacaux, il ne faut les donner aux sols qu'aux époques où ils peuvent être rapidement assimilés.

Les dissolutions fournies par les lysimètres ne représentent pas exactement celles qui imprègnent ordinairement le sol ; n'étant obtenues qu'à la suite de pluies, on peut les soupçonner d'être relativement assez diluées. Peu importe qu'elles le soient pour l'estimation des pertes éprouvées par les sols. Mais pour la solution d'une autre question, pour savoir quel est l'état réel de dilution des solutions dont se nourrissent les racines des plantes, elles ne suffisent plus ; il faut se procurer, sans les dénaturer, les dissolutions mêmes renfermées dans les sols à un moment donné. On y a réussi d'une manière complète en ayant simplement recours au dé-

placement des dissolutions par l'eau distillée (1). 30 ou 40 kilogrammes de la terre à étudier, prélevés à la profondeur et au moment qu'on veut, sont placés, au champ même, dans une grande cloche à douille ; on produit sur la surface de la terre, à l'aide d'un appareil particulier, une pluie artificielle d'eau distillée, répartie d'une manière absolument uniforme et tombant en telle quantité qu'on le désire, et l'on recueille le liquide sortant par la douille. Ce liquide garde pendant longtemps une composition tout à fait constante ; c'est la dissolution même qui imbibait la terre, sans aucun mélange avec l'eau d'arrosage. Il ne faudrait pas croire que, pour obtenir un pareil déplacement, il est nécessaire de gorger d'eau la terre, c'est-à-dire de remplir d'eau les interstices existant entre les particules ; on y parvient simplement avec un arrosage très lent. L'appareil employé aux recherches dont nous rendons compte, permettait aussi de faire varier la composition de l'atmosphère interne de la terre. Les résultats obtenus ont conduit aux mêmes conclusions que ceux de M. Way (2).

(1) SCHLÆSING. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXX, 1870.

(2) SCHLÆSING. — *Contribution à l'étude de la chimie agricole*.

V. ATMOSPHÈRES CONTENUES DANS LES SOLS AGRICOLES

62. — Les végétaux sont des appareils de synthèse ; ils empruntent à l'atmosphère et au sol de l'eau, de l'acide carbonique, de l'acide azotique, de l'ammoniaque, de l'azote, et constituent, avec ces éléments, de la matière organique en rejetant au dehors de l'oxygène. Après leur mort, ils sont décomposés, et leur décomposition donne lieu à des réactions inverses, dans l'ensemble, de celles qui avaient présidé à leur formation. Ils subissent alors essentiellement une combustion, combustion dont les microbes sont les auxiliaires à peu près indispensables ; l'oxygène rentre dans les combinaisons d'où il avait été exclu, refait avec le carbone, l'hydrogène et l'azote de l'acide carbonique, de l'eau, de l'acide azotique, qui sont prêts désormais à alimenter de nouveau la vie végétale. Dans ce cycle, les phénomènes de décomposition, de restitution, ont une importance aussi grande que celle des synthèses ; sans eux, les principes nutritifs seraient immobilisés, perdus pour la végétation, qui ne trouverait bientôt plus de quoi s'entretenir.

Nous allons examiner ces phénomènes. Mais auparavant, il nous faut avoir des idées précises sur

la proportion d'oxygène qui se rencontre dans le sol, siège principal des combustions envisagées.

L'étude de l'atmosphère contenue dans le sol est, en dehors de ces combustions, importante à d'autres points de vue, par suite des étroites relations existant entre la composition de cette atmosphère et plusieurs phénomènes qui intéressent à un haut degré la végétation (dissolution du calcaire, attaque des roches, nitrification, phénomènes de réduction, respiration des racines); elle a été l'objet d'un travail considérable de Boussingault et Lévy (1).

Pour recueillir les gaz du sol, Boussingault et Lévy pratiquaient un trou de 30 ou 40 centimètres de profondeur, y plaçaient verticalement un tube terminé à sa partie inférieure par une pomme d'arrosoir, comblaient le trou en tassant la terre autour du tube et, 24 heures après, la diffusion ayant dû rétablir l'atmosphère existant avant la fouille, appelaient lentement par le tube, au moyen d'un aspirateur, un volume gazeux approchant d'ordinaire de 5 à 10 litres. Dans les gaz ainsi extraits, ils dosaient l'acide carbonique par barbotage dans l'eau de baryte; à cette détermination, se joignait souvent celle de l'oxygène, faite sur un échantillon spécial de gaz par le pyrogallate de potasse.

(1) BOUSSINGAULT et LÉVY. — *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXVII, 1853.

Ces expériences montrèrent que les sols renferment un mélange gazeux ne différant guère, le plus généralement, de l'air atmosphérique que par la substitution à de l'oxygène d'une petite quantité d'acide carbonique. Exceptionnellement, quand la terre vient d'être fumée, le taux de cet acide peut atteindre 10 % ; mais, d'ordinaire, il est voisin de 1 %. D'où l'on doit conclure que l'oxygène gazeux est très largement répandu dans le sol. C'est là un fait capital.

M. E. Risler a effectué de nombreux dosages d'acide carbonique du sol, en 1872-73, à Calèves (Suisse), sur une terre de jardin, par la méthode précédente. Il a nettement mis en évidence, pour une station donnée, l'influence de la profondeur, de la température et de l'intensité du vent sur la richesse en acide carbonique des gaz du sol. Voici les moyennes de taux pour cent d'acide carbonique qu'il a obtenus :

Taux p. % d'acide carbonique	A 25 cm de profondeur	A 1 m de profondeur	
Pour les 5 températures les plus	basses	0,37	0,57
	hautes	0,65	1,74
Pour les vents	faibles	0,57	1,29
	forts	0,46	1,14

L'influence de la température a été très marquée, celle du vent a été faible.

De nouvelles recherches ont été exécutées sur ce sujet ⁽¹⁾, dans lesquelles on s'est préoccupé de ne modifier en rien la composition que présenteraient les gaz à l'endroit et au moment où ils seraient prélevés, cela en évitant toute fouille; de n'entraîner avec eux aucune trace d'air extérieur et de connaître exactement la profondeur d'où ils proviendraient. Pour remplir ce programme dans ses diverses parties, il suffit de puiser les gaz au moyen d'un tube rigide d'acier, enfoncé dans le sol à la profondeur voulue et ne laissant aucun passage libre entre sa surface extérieure et le sol, et de prélever un échantillon gazeux d'un volume aussi réduit que possible (25 ou 30 centimètres cubes au maximum). Les gaz, enfermés sur le terrain dans des ampoules de verre, sont analysés au laboratoire à l'eudiomètre ou bien, plus sommairement, sur place au moyen d'un petit appareil portatif spécial.

Les expériences ont porté tant sur des terres de labour que sur des herbages qui n'avaient pas été retournés depuis de longues années et où, par suite, il semblait plus probable de rencontrer des maxima d'acide carbonique et des minima d'oxygène. Elles ont conduit aux conclusions suivantes :

(1) TH. SCHLÖESING fils. — *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIII, 1891.

1° L'oxygène existe normalement dans l'atmosphère des sols en large proportion ; c'est là une vérification des résultats de Boussingault et Léwy. S'il se produit dans les sols agricoles sains des phénomènes de fermentation anaérobie capables de fournir des gaz combustibles, ces phénomènes sont probablement très limités. Dans des conditions spéciales, par exemple à la suite de pluies prolongées qui ont délayé les particules terreuses et en on fait une sorte de pâte imperméable à l'air, il y a sans doute des sols qui peuvent être accidentellement privés de gaz oxygène. Mais ce sont là des cas qu'on ne rencontre qu'exceptionnellement dans la pratique agricole, et il n'en peut pas être autrement, car un sol non aéré devient rapidement impropre à la vie végétale.

2° Très généralement l'atmosphère des terres de labour, jusqu'à 60 centimètres de profondeur contient à peine 1 % d'acide carbonique et environ 20 % d'oxygène. Les terres qui n'ont pas été retournées depuis longtemps, étant plus compactes et opposant aux échanges gazeux avec l'atmosphère extérieure plus de résistance, contiennent sensiblement plus de gaz carbonique et moins d'oxygène.

3° D'une époque à l'autre, la composition des gaz en un même point est très variable. Les taux d'acide carbonique les plus élevés corres-

pondent aux époques les plus chaudes et aux temps calmes.

4° La proportion d'acide carbonique augmente d'ordinaire avec la profondeur. Cependant il arrive, par suite d'une succession de circonstances atmosphériques spéciales, que l'inverse se produise.

5° Dans une même pièce de terre, la proportion d'acide carbonique peut varier notablement entre des points distants de 10, 20, 30 mètres. Toutes choses égales d'ailleurs, elle varie en particulier avec la cote des divers points ⁽¹⁾.

D'après ce qui précède, il semble utile d'introduire parmi nos notions sur l'atmosphère du sol celle de mobilité, remplaçant l'idée de repos qu'implique l'expression, souvent employée, d'atmosphère confinée.

VI. COMBUSTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LE SOL ET LE SOUS-SOL

63. — La matière organique contenue dans le sol s'y consume lentement. C'est là un phéno-

(1) Sur la question des gaz du sol, voir : Louis MANGIN. — *Études sur la végétation dans ses rapports avec l'aération du sol*. Annales de la Sc. Agr. fr. et étrang., 1896; ce mémoire donne l'historique des recherches antérieures.

mène à la fois purement chimique et microbien, mais dans lequel la part d'influence revenant aux êtres vivants est de beaucoup prédominante. On ne connaît pas actuellement les différentes phases du phénomène ; on en constate le résultat final, qui est principalement une formation d'acide carbonique, d'acide azotique et d'eau, sans pouvoir définir les produits intermédiaires qui prennent naissance. On ne connaît pas non plus tous les organismes qui concourent à la combustion.

Th. de Saussure avait constaté que, si l'on place du terreau sous une cloche, la plus grande partie de l'oxygène confiné est bientôt remplacée par de l'acide carbonique. M. Corenwinder ⁽¹⁾ a essayé de mesurer l'intensité de la combustion de matières organiques variées, terre, fumier, crottin, guano, etc., en faisant passer sur ces matières, enfermées dans des appareils clos, un courant d'air, dont il retenait ensuite et dosait l'acide carbonique. En ce qui concerne la terre végétale, il est arrivé à des chiffres représentant une combustion bien supérieure à celle qui s'effectue réellement dans les champs. C'est qu'en effet, dans les recherches de ce genre, il y a un écueil qu'il n'a pas évité. Pour introduire dans les appareils les matières étudiées, on doit

(1) CORENWINDER, — *Annales de Chimie et de Physique*, 1856.

les manier, les émietter. Il en résulte infailliblement qu'on y exalte la combustion. C'est là un fait très fréquent, peut-être général pour tout milieu solide en fermentation (1) : l'émiettement y détermine une recrudescence de la fermentation.

On pourrait évaluer l'intensité de la combustion subie par la matière organique du sol d'après la quantité d'acide carbonique à laquelle elle donne naissance. Mais pour mesurer cette quantité, il ne suffit pas d'analyser les atmosphères souterraines ; il faudrait avoir une idée du volume d'air qui passe dans le sol en un temps donné. Or, le renouvellement de cet air est un phénomène des plus complexes, sur lequel on ne possède actuellement aucune donnée.

Pour arriver à une appréciation de la combustion dont il s'agit, M. Schlœsing a proposé un moyen qui, quoique indirect, doit être assez exact. Appliquons-le au domaine de Pechelbronn, sur lequel Boussingault a laissé des ren-

(1) Le même phénomène s'observe dans la nitrification de la terre végétale (Schlœsing), dans la fermentation du tabac en poudre, etc. Il a été l'objet d'expérience de mesure à propos du fumier (Th. Schlœsing fils) ; on a vu qu'en remuant cette matière, on pouvait pour le moins tripler ou quadrupler sa combustion.

seignements précis. La terre y recevait en cinq ans, par hectare, 49 000 kilogrammes de fumier, soit 7 000 kilogrammes de matière organique sèche, plus une quantité de résidus provenant des récoltes estimée à 4 400 kilogrammes de matière sèche, au total 11 400 kilogrammes de matière organique, correspondant à 5 700 kilogrammes de carbone. Le domaine de Pechelbronn étant depuis fort longtemps soumis aux mêmes opérations, on peut admettre qu'il avait acquis le régime périodique, c'est-à-dire que tous les cinq ans la terre se retrouvait dans le même état, sans gain ni perte. Les 5 700 kilogrammes de carbone gagnés en 5 ans étaient donc brûlés intégralement dans le même temps. D'où une production journalière moyenne de 6 mètres cubes d'acide carbonique par hectare. Des expériences de M. Corenwinder, on déduirait des chiffres de 6 à 25 fois plus forts.

Il n'y a pas, entre les quantités de matière organique contenues dans le sol et le sous-sol, la disproportion qu'on serait tenté de supposer, étant donnée la différence des apports qui ont lieu dans les couches superficielles et les couches profondes ; les premières, avec le fumier et d'autres engrais, avec la majeure partie des débris des récoltes, reçoivent beaucoup plus de matière organique que les secondes ; si donc le sous-sol n'est pas très pauvre, c'est que la matière orga-

nique s'y brûle moins vite. On en a la preuve dans des expériences fort simples (Schlœsing).

On remplit deux flacons semblables, l'un avec la terre d'un sol, l'autre avec la terre du sous-sol correspondant prise à 60 ou 70 centimètres de profondeur, les deux terres ayant à peu près même humidité. On ferme chaque flacon avec un bon bouchon de caoutchouc laissant passer un tube de verre, deux fois courbé à angle droit et venant plonger dans du mercure. On observe les jours suivants que le mercure s'élève dans les deux tubes, C'est que la combustion de la matière organique a donné, avec l'oxygène gazeux enfermé dans les flacons, de l'acide carbonique qui a été absorbé par le calcaire pour faire du bicarbonate de chaux ; il a disparu aussi de l'oxygène par l'effet de la nitrification. L'ascension du mercure s'arrête quand tout l'oxygène a été consommé. Mais elle est 20 ou 30 fois plus rapide avec le sol qu'avec le sous-sol.

Pourquoi le sous-sol est-il, par nature, moins oxydable que le sol ? Cela doit tenir principalement à ce que la majeure partie des matières organiques qu'il reçoit ont déjà subi une combustion dans la couche arable ; ce sont des résidus d'oxydation.

Lorsqu'on veut conserver un échantillon de terre arable sans qu'il éprouve d'altération, on doit s'opposer à la combustion de sa matière

organique ; il suffit pour cela de le dessécher. En présence de l'humidité, l'oxygène se consume rapidement ; dès qu'il a disparu, les phénomènes de réduction commencent ; l'acide azotique se décompose, comme on verra ; la matière azotée de l'humus donne de l'ammoniaque ; le peroxyde de fer se transforme en protoxyde ; la terre est profondément modifiée (1).

VII. NITRIFICATION

64. Généralités. — Le carbone et l'hydrogène ne sont pas les seuls éléments sur lesquels se porte l'oxygène dans la combustion de la matière organique. L'azote de cette matière est, lui aussi, brûlé ; il est alors transformé en acide azotique, lequel avec diverses bases du sol donne des azotates (ou nitrates, d'où le mot de *nitrification*). C'est là un phénomène d'une haute importance pour l'agriculture. En effet, engagé dans des composés organiques, l'azote, si toutefois il peut servir d'aliment aux végétaux de la

(1) Parmi les phénomènes d'oxydation et de réduction que peuvent produire les microbes du sol, on doit citer la transformation des bromure et iodure de potassium en bromate et iodate, et la transformation inverse des chlorate, bromate et iodate en chlorure, bromure et iodure (MUNTZ. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1885).

grande culture, ne leur est que d'une très faible utilité, tandis qu'une fois nitrifié, il est éminemment assimilable.

La nitrification, c'est-à-dire la formation des nitrates aux dépens de l'azote organique ou encore de l'azote ammoniacal des sols, s'accomplit parfois dans la nature avec une intensité exceptionnelle (nitrate de potasse de l'Inde, de l'Espagne, de l'Amérique du Sud ; immenses gisements de nitrate de soude du Pérou (1)).

Dans le sol des caves et des rez-de-chaussée, dans les murs humides, où les dissolutions souterraines s'infiltrant et se concentrent, on trouve aussi des azotates en proportion sensible ; on en a extrait industriellement des matériaux de démolition. Au sein de la terre végétale, la nitrification s'effectue habituellement avec bien moins d'intensité, sans doute, que dans les circonstances peu ordinaires citées plus haut, mais elle se fait d'une manière à peu près permanente et sur d'immenses étendues ; elle fournit généralement des azotates déliquescents de chaux et de soude qui ne peuvent se rendre visibles sous forme d'efflorescences.

L'étude de la nitrification a été l'objet de bien

(1) La formation de ces gisements s'explique, d'après MM. Müntz et Marcano, par la nitrification de grandes masses de matière organique (principalement d'origine animale) en présence de l'eau de mer (*Annales de Chimie et de Physique*, 1887).

des recherches. Avant d'intéresser les agronomes, elle a vivement préoccupé les salpêtriers ; ceux-ci avaient trouvé, par la pratique, diverses conditions qui lui sont favorables. Mais, relativement à son mode de production, on resta longtemps sans explication satisfaisante ; des théories variées et inexactes étaient successivement produites (combustion de l'azote gazeux de l'atmosphère par suite de la porosité des matières, entraînement de l'azote organique dans la combustion du carbone). Une très importante expérience de Boussingault (1860-1871) fit justice de l'intervention de l'azote libre dans le phénomène et de l'entraînement, et montra que la formation d'acide azotique a lieu aux dépens de la matière organique. M. Schlœsing étudia les diverses conditions de la nitrification et précisa leur influence. Quelques années après, les recherches qu'il exécuta avec M. Müntz ⁽¹⁾ établirent une des circonstances essentielles du phénomène, à savoir le concours nécessaire de microbes. Dès lors, l'étude bactériologique de la question a été l'origine de nombreux travaux, dont nous parlerons.

65. Étude des conditions de la nitrification. — On peut dire aujourd'hui que les conditions de la nitrification sont les suivantes :

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1877, 1879.

1° Présence d'une matière azotée (matière organique ou ammoniaque) ;

2° Présence de l'oxygène ;

3° Légère alcalinité du milieu ;

4° Humidité de la matière ;

5° Température comprise entre certaines limites ;

6° Concours de certains microbes.

66. Présence d'une matière azotée. —

Cette matière fournit l'azote qui entrera dans la constitution de l'acide azotique formé. Elle peut consister en ammoniaque, comme on verra.

Dans la terre végétale, la quantité d'acide azotique formée en un temps donné augmente généralement avec la proportion de la matière organique. Mais ce n'est là qu'une indication générale, parce que la nature et l'état de décomposition plus ou moins avancée de cette matière, conditions qui varient beaucoup d'une terre à l'autre, influent sur la rapidité de la nitrification. Si l'on forme des terres artificielles contenant des quantités différentes d'une *même* matière organique, on observe qu'il y a sensiblement proportionnalité entre ces quantités et celles d'acide azotique produit (Schlœsing).

67. Présence de l'oxygène. — L'oxygène est manifestement nécessaire à la nitrification, qui est une véritable combustion de l'azote combiné. Sa proportion dans l'atmosphère en pré-

sence de laquelle est la substance qui nitriifie, exerce une influence marquée sur le phénomène ; quand elle croît de 1,5 à 21 %₀, la quantité d'acide nitrique formé augmente, toutes choses égales d'ailleurs, de 1 à 5 ou 6 (Schlœsing).

En l'absence d'oxygène, les azotates sont détruits. Lorsque tout l'air a été chassé d'une terre par de l'azote pur, non-seulement il ne se fait plus d'acide azotique, mais celui qui préexistait est décomposé. C'est encore là un phénomène microbien. Les travaux de MM. Dehérain et Maquenne ⁽¹⁾, d'une part, et de MM. Gayon et Dupetit ⁽²⁾, d'autre part, l'ont prouvé. D'après ces savants, les êtres qui opèrent la réduction des azotates sont variés ; les uns mènent la destruction jusqu'à la formation des nitrites, d'autres la poussent plus loin et fournissent les divers oxydes de l'azote, l'azote libre ou même l'ammoniaque. On voit le danger auquel serait exposée une terre privée d'oxygène ; elle pourrait perdre ses azotates. Des inondations prolongées, naturelles ou artificielles, en s'opposant au renouvellement de l'atmosphère des sols, sont capables d'amener pareil accident.

⁽¹⁾ DEHÉRAIN et MAQUENNE.— *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1882, et *Annales Agronomiques*. DEHÉRAIN. — *Annales Agronomiques*, t. XXIII, n° 2, p. 49, 1897.

⁽²⁾ *Comptes rendus de l'Ac. des Sc.*, 1882, et *Annales de la Sc. Agron. fr. et étrang.*, 1885.

68. Légère alcalinité du milieu. — La nitrification ne se produit pas dans les terres acides de forêt et de bruyère. Elle n'est possible que dans un milieu légèrement alcalin. Elle est suspendue dans une terre qui vient d'être chaulée (Boussingault); c'est qu'une dissolution de chaux possède une alcalinité trop prononcée. Unie à l'acide carbonique, la chaux se trouve dans un état très convenable. Une très petite quantité de bicarbonate est suffisante; au-delà de cette quantité, la nitrification n'augmente pas.

69. Humidité. — Pour une même terre, l'intensité de la nitrification croît avec le degré d'humidité, à condition, bien entendu, qu'on n'atteigne pas le point où la terre serait noyée et privée d'un facile renouvellement d'air (Schlœsing).

On comprend l'influence de l'humidité, du moment qu'on sait que la nitrification est l'œuvre de microbes. La terre sèche ne nitrifie pas.

70. Température. — La nitrification est presque nulle à 5°; elle atteint son maximum d'intensité à 37°; elle cesse à partir de 55°.

Lorsque des pluies abondantes surviennent en été, deux des conditions les plus efficaces, l'humidité et la chaleur, se trouvent réunies pour favoriser la nitrification dans la terre végétale. C'est sans doute en partie à l'activité excep-

tionnelle du phénomène qu'il faut attribuer la poussée qu'éprouve la végétation dans ces circonstances.

71. Nécessité de certains microbes. — Cette nécessité a été établie par les expériences de MM. Schloesing et Müntz. Ces savants ont vu qu'en présence d'air chargé de vapeur de chloroforme, vapeur qui anesthésie la plupart des microbes (Müntz), la terre ne nitrifie pas ; qu'elle ne nitrifie pas non plus quand elle a été stérilisée à 100°. En ensemençant avec une parcelle de terreau de l'eau d'égout ou des dissolutions alcalines très étendues et additionnées de matières minérales, d'ammoniaque ou de matière organique, ils y ont déterminé une active production de nitrates, en même temps que l'abondant développement d'organismes particuliers. Par desensemencements successifs, ils ont obtenu des cultures où ils n'apercevaient qu'une seule sorte d'organisme (corpuscules très petits, de forme ronde, légèrement ovale) et qu'ils ont considérées comme pures. Introduisant une trace de ces liquides de culture dans des milieux convenables, ils y produisaient à coup sûr la nitrification ; ils ont appelé *ferment nitrique* l'agent vivant du phénomène.

De nombreux expérimentateurs ont, depuis lors, étudié la nitrification au point de vue purement bactériologique (Warrington, Emich, He-

raeus, M. et M^{me} Frankland). Nous ne pouvons ici rendre compte de leurs travaux. Mais nous devons une mention toute spéciale aux résultats obtenus par M. Winogradsky (1). Au cours de ses recherches, ce savant a signalé un organisme nitrifiant capable de se développer en l'absence de toute matière organique et d'emprunter au carbonate de magnésie le carbone nécessaire à sa constitution ; il y a là une fonction synthétique remarquable qu'on n'est pas habitué à trouver chez les microbes.

D'après les derniers travaux, la nitrification n'est pas un phénomène aussi simple qu'on l'a cru d'abord. MM. Schlœsing et Müntz avaient souvent remarqué, dans leurs premières recherches, qu'elle s'accompagnait de production d'azotites ; ils avaient pensé que cette production était accidentelle. Il semble mis hors de doute par les expériences de M. R. Warington, de M. P. Frankland et M^{me} Frankland, de M. Müntz et de M. Winogradsky qu'elle est, au contraire, normale. Elle est due à un ferment qu'on peut appeler nitreux. Les azotites formés dans ce premier stade (2) de la nitrification sont ensuite

(1) WINOGRADSKY. — *Annales de l'Institut Pasteur*, 1890-1891.

(2) Ce n'est peut-être pas réellement le premier stade de la nitrification. Vu la difficulté qu'a rencontrée M. Winogradsky à faire vivre les ferments nitrificateurs en milieu organique, on est assez porté à penser

changés en azotates. M. Winogradsky (1) a isolé un organisme particulier (très petit bâtonnet, de forme anguleuse, irrégulière) qui transforme (2) rapidement les azotites en azotates et qui n'oxyde pas l'ammoniaque ; ce serait celui qui mériterait véritablement le nom de ferment nitrique.

72. Influence de diverses conditions sur la nitrification dans la terre végétale. — La lumière est sans action sensible, sauf, d'après M. Warington, la lumière très vive, qui ralentit notablement le phénomène. Dans le sol, un ralentissement dû à cette cause n'est pas à redouter.

La nitrification s'accomplit toujours dans la nature en présence d'eau tenant en dissolution certains sels. Ces sels influent-ils sur la formation des azotates ? L'expérience prouve que,

que la matière organique des sols est tout d'abord transformée en ammoniaque par un ou divers ferments, puis que le ferment nitreux s'attaque à l'ammoniaque ainsi produite. Maintenant, on peut se demander si les microbes nitrificateurs de toutes races se comportent comme ceux de M. Winogradsky.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXIII, 1891. — D'après les photographies de M. Winogradsky, le ferment nitreux, ovale, presque sphérique, est beaucoup plus gros que le ferment nitrique.

(2) Pour M. Müntz, cette transformation pourrait se faire dans le sol par des réactions purement chimiques (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXII, 1891).

même en proportion notablement plus grande que dans les sols, ils restent sans effet (Schlœsing).

L'ammoniaque, à l'état de chlorhydrate, de sulfate, de sesquicarbonate, est d'ordinaire rapidement transformée en azotates dans les sols agricoles ; c'est un fait essentiel. Si la dose de sel ammoniacal est exagérée (de 1,5 à 2,5 de carbonate pour 100 de terre), la nitrification est accompagnée d'une perte d'azote libre assez sérieuse ; dans le cas de doses plus modérées, la perte est négligeable⁽¹⁾. Les cultivateurs ne risquent guère de donner à leurs terres des quantités de sels ammoniacaux assez élevées pour perdre ainsi de l'azote.

(1) SCHLÖSING. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CIX, 1889.

BIBLIOGRAPHIE

PREMIÈRE PARTIE NUTRITION DES PLANTES

OUVRAGES

- BOUSSINGAULT. — *Économie rurale*. Paris, 1851.
— *Agronomie, chimie agricole et physiologie*. Paris, 1860-1874.
- DEHÉRAIN. — *Traité de chimie agricole*. Paris, 1892.
- DUMAS. — *Essai de statique chimique des êtres organisés*. Paris, 1844.
— *Leçons de chimie professées en 1860 à la Société chimique*. Paris, 1861.
- L. GRANDEAU. — *Chimie et physiologie appliquées à l'agriculture et à la sylviculture*. Nancy et Paris, 1879.
- LIEBIG. — *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. Brunswick, 1840; 9^e édition, 1875.
— *Chimie organique appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture*. Paris, 1841.
— *Les lois naturelles de l'agriculture*. Paris.

- A. MÜNTZ et A. CH. GIRARD. — *Les engrais*. Paris, 1888.
- A. RONNA. — *Rothamsted, trente années d'expériences agricoles* Paris.
- J. SACHS. — *Physiologie végétale* (traduit de l'allemand). Paris et Genève, 1868.
- TH. DE SAUSSURE. — *Recherches chimiques sur la végétation*. Paris, 1804.
- VAN TIEGHEM. — *Traité de botanique*. Paris, 1891.
- G. VILLE. — *La production végétale et les engrais chimiques*. Paris, 1890.
- WOLFF. — *Étude pratique sur les fumiers de ferme et les engrais en général*. Bruxelles, 1869.

MÉMOIRES

Germination

- A. MÜNTZ. — *Annales de Chimie et de Physique*, 4^e série, t. XXII, p. 472.
- P. BERT. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1873.
- TH. SCHLÖESING fils. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1895.

Assimilation du carbone et respiration des plantes

- WIESNER. — *Entstehung des Chlorophylls in Pflanzen*. Vienne, 1877.
- A. GAUTIER. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1879.
- ETARD. — *Comptes Rendus*, 1892.
- CLOEZ et GRATIOLET. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1851.

- DEHÉRAIN et MOISSAN, DEHÉRAIN et MAQUENNE. — *Annales des Sciences naturelles*, 1874, et *Comptes Rendus*, t. C et CI.
- CORENWINDER. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1858.
- BONNIER et MANGIN. — *Annales des Sciences naturelles, botanique*. 6^e série, X, XVII, XVIII, XIX; *Comptes Rendus*, t. C et CI.
Dictionnaire d'agriculture, t. II, p. 265.
- KREUSLER. — *Annales agronomiques*, t. XIV, p. 89.
- TIMIRIAZEFF. — *Annales de Chimie et de Physique*, 5^e série, t. XII, p. 355.
- REINKE. — *Annales agronomiques*, t. X, p. 136.
- VAN TIEGHEM. — *Bulletin de la Société botanique*, t. XXVI, p. 320, 1879.
- TH. SCHLÆSING fils. — *Comptes Rendus*, 1892 et 1893, et *Annales agronomiques*, 1893.

Origine de l'hydrogène et de l'oxygène des plantes

- BOUSSINGAULT. — *Comptes Rendus*, 1838.
- SCHLÆSING. — *Comptes Rendus*, t. LXIX, p. 353, 1869.
- TH. SCHLÆSING fils. — *Comptes Rendus*. 1892 et 1893.

Origine de l'azote des plantes

- SCHLÆSING. — *Comptes Rendus*, t. LXXVIII. 1874.
- FRANK. — *Berichte der deutsch. bot. Gesellsch.*
- G. VILLE. — *Comptes Rendus*, 1852 et années suivantes.
- LAWES, GILBERT et PUGH. — *On the sources of the nitrogen of vegetation*, in *Philos. Transactions*. 1861, part. I.

BERTHELOT. — *Annales de Chimie et de Physique*.
t. X, p. 51, 1877.

HELLRIEGEL et WILFARTH. — *Annales de la Science
agronomique française et étrangère* (traduction
française), t. I, 1890.

BRÉAL. — *Comptes Rendus*, 1888.

TH. SCHLÆSING fils et EM. LAURENT. — *Comptes Rendus*.
2^e sem. 1890. 2^e sem. 1891 et 2^e sem. 1892.

— *Annales de l'Institut Pasteur*, 1892 et 1893.

E. LAURENT. — *Annales de l'Institut Pasteur*. 1891.

KOSSOWITCH. — *Bot. Zeitung*, 1894.

DUCLAUX. — *Annales de l'Institut Pasteur*. t. VIII,
p. 728, 1894.

Matières minérales des plantes

MALAGUTI et DUROCHER. — *Annales de Chimie et de
Physique*, 1858.

FLICHE et L. GRANDEAU. — *Annales de Chimie et de
Physique*, 1873, 1876, 1877.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DE L'ATMOSPÈRE CONSIDÉRÉE COMME SOURCE D'ALIMENTS DES PLANTES

OUVRAGES

BOUSSINGAULT. — *Économie rurale et agronomie*
(voir plus haut).

L. GRANDEAU. — *Chimie et Physiologie* (voir plus
haut).

A. RONNA. — *Rothamsted* (voir plus haut).

- A. RONNA. — *Travaux et expériences du Dr Vœlcker*. Paris, 1888.
- RAMSAY. — *The gases of the atmosphere*. Londres, 1896.
- SCHLÖESING. — *Contribution à l'étude de la chimie agricole*. Paris, 1885.

MÉMOIRES

Oxygène, Azote et Argon

- REGNAULT. — *Annales de Chimie et de Physique*. 1853.
- LEDUC. — *Comptes Rendus* 1890 et années suivantes.
- TH. SCHLÖESING fils. — *Comptes Rendus*, 1895 et 1896.
- DUMAS et BOUSSINGAULT. — *Annales de Chimie et de Physique*. 1841.
- CAILLIETET. — *Comptes Rendus*, 1897.
- Revue générale des Sciences*, 1895.

Acide carbonique

- BRUNNER. — *Annales de Chimie et de Physique*. 3^e série, t. III.
- E. RISLER. — *Comptes Rendus*. 1882.
- REISET. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1882.
- MÜNTZ et AUBIN. — *Annales de Chimie et Physique*. 5^e série. t. XXVI et XXX.

Acide azotique

- CHABRIER. — *Annales de Chimie et de Physique*. 4^e série, t. XXIII.
- MÜNTZ et AUBIN. — *Comptes Rendus*, t. XCV et XCVII.
- DEHÉRAIN. — *Annales agronomiques*, t. X, p. 83.
- MÜNTZ et MARCANO. — *Comptes Rendus*, 1889.

Ammoniaque

SCHLESING. — *Comptes Rendus*. t. LXXX, LXXXI. et LXXXII, 1875 et 1876.

MÜNTZ et AUBIN. — *Comptes Rendus*. 1882.

Gas divers

MÜNTZ. — *Comptes Rendus*, t. XCII.

MÜNTZ et AUBIN. — *Comptes Rendus*, t. XCIX.

Annuaire de l'Observatoire de Montsouris.

TROISIÈME PARTIE
ÉTUDE DES SOLS AGRICOLES

OUVRAGES

BOUSSINGAULT. — *Économie rurale et Agronomie* (voir plus haut).

Comte de GASPARI. — *Cours d'agriculture*. Paris, 1848.

TH. DE GASPARI. — *Détermination des terres arables*.

É. RISLER. — *Géologie agricole*. Paris, 1884.

A. RONNA. — *Travaux et expériences du Dr Væleker* (voir plus haut).

DEHÉRAIN. — *Traité de Chimie agricole* (voir plus haut).

SCHLESING. — *Contribution à l'étude de la Chimie agricole* (voir plus haut).

L. GRANDEAU. — *Traité d'analyse des matières agricoles*. 3^e édit., 1897.

MÉMOIRES

Constitution des sols

- SCHLÖESING. — *Annales de Chimie et de Physique*.
5^e série, t. II, 1874.
- BERTHELOT et ANDRÉ. — *Sur la matière organique
des sols*. *Comptes Rendus*, t. CXII, 1891 et années
suivantes.
- L. GRANDEAU. — *Annales de la station agronomique
de l'Est*, 1878.
- MULLER. — *Annales de la Science agronomique fran-
çaise et étrangère*, t. I, 1889.
- SCHLÖESING. — *Dissolution du calcaire*. *Comptes
Rendus*, t. LXXIV et LXXV.
- P. DE MONDÉSIR. — *Annales de la Science agronomique
française et étrangère*, 1886 et 1887.

Propriétés physiques des sols

- SCHUBLER. — *Annales de l'agriculture française*.
2^e série, t. LX.
- E. RISLER. — *Recherches sur l'évaporation du sol et
des plantes*. Genève, 1879.
- SCHLÖESING. — *Comptes Rendus*, 1884.
- BERTHELOT. — *Comptes Rendus*, t. CXI, p. 469.

*Phénomènes chimiques et microbiens
s'accomplissant dans le sol*

- VAN BEMMELN. — *Landwirthschaftliche Versuchs-
Stationen*, 1888.
- P. DE MONDÉSIR. — *Comptes Rendus*, 1888.

- BERTHELOT et ANDRÉ. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1886-1890.
- SCHLÆSING. — *Relations de la terre végétale avec l'azote atmosphérique*. Comptes Rendus, 1888, 1889 et 1890.
- BERTHELOT. — *Sur la fixation de l'azote par les microbes*. Comptes Rendus, 1893.
- WINOGRADSKY. — *Archives des Sciences biologiques*. Saint-Pétersbourg, 1895.
- BRUSTLEIN. — *Annales de Chimie et de Physique*. 3^e série, t. LVI.
- BOUSSINGAULT et LÉWY. — *Annales de Chimie de Physique*, t. XXXVII, 1853.
- TH. SCHLÆSING fils. — *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIII, 1891.
- LOUIS MANGIN. — *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, 1896.
- CORENWINDER. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1856.
- MÜNTZ. — *Quelques faits d'oxydation et de réduction dans les sols*, Comptes Rendus, t. C et CI.

Nitrification

- SCHLÆSING. — *Comptes Rendus*, 1873.
- SCHLÆSING et MÜNTZ. — *Comptes Rendus*, 1877-79.
- SCHLÆSING. — *Comptes Rendus*, t. CLX, 1889.
- MÜNTZ. — *Comptes Rendus*, t. CI, p. 1265 ; t. CXII, 1891.
- MÜNTZ et MARGANO. — *Annales de Chimie et de Physique*, 1887.
- WARINGTON. — *Reports of experiments made in the Rothamsted laboratory*, Londres.

- WINOGRADSKY. — *Annales de l'Institut Pasteur*, 1890-1891; *Comptes Rendus*, t. CXIII, 1891.
- DEHÉRAIN et MAQUENNE. — *Réduction des nitrates*. *Comptes Rendus*, 1882.
- GAYON et DUPETIT. — *Réduction des nitrates*. *Comptes Rendus*, 1882, et *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, 1885.
- DEHÉRAIN. — *Réduction des nitrates*. *Annales agronomiques*. 1897.
-

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT	Pages
	5

PREMIÈRE PARTIE

NUTRITION DES PLANTES

Généralités	9
-----------------------	---

CHAPITRE PREMIER

Germination

Généralités	12
Phénomènes chimiques de la germination	14

CHAPITRE II

Origine et assimilation du carbone des plantes

Constatation des faits. Historique.	20
Expériences de mesure.	23
Influence de l'intensité lumineuse et de la coloration de la lumière constatée sur des plantes aquatiques	26
Divers faits relatifs à l'assimilation du carbone.	28
Respiration des plantes	30

CHAPITRE III

	Pages
<i>Origine de l'hydrogène et de l'oxygène des plantes</i>	3

CHAPITRE IV

Origine de l'azote des plantes

Rôle de l'azote	41
Prélèvement sur le sol	41
Prélèvement sur l'atmosphère. Fixation de l'azote libre	43

CHAPITRE V

Matières minérales contenues dans les plantes

Nature des matières minérales des végétaux.	57
Répartition des matières minérales dans les végétaux.	60
Nécessité des matières minérales pour les végétaux.	63
Restitution au sol des matières minérales enlevées par les récoltes.	65

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DE L'ATMOSPHÈRE CONSIDÉRÉE COMME
SOURCE D'ALIMENTS DES PLANTES

Avant-Propos	69
------------------------	----

CHAPITRE PREMIER

<i>Oxygène, azote et argon.</i>	71
---	----

CHAPITRE II

Acide carbonique

	Pages
Dosage	75
Circulation de l'acide carbonique	77
Influence de la pluie sur le taux d'acide carbonique de l'atmosphère.	79

CHAPITRE III

Acide azotique

Généralités	81
Résultats de dosage de l'acide azotique dans les eaux météoriques	82

CHAPITRE IV

Ammoniaque

Dosage	86
Ammoniaque des eaux météoriques.	90
Circulation de l'ammoniaque à la surface du globe.	91

CHAPITRE V

<i>Gas divers contenus dans l'atmosphère</i>	93
--	----

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE DES SOLS AGRICOLES

Avant-Propos	97
------------------------	----

CHAPITRE PREMIER

Formation des sols agricoles

	Pages
Destruction progressive des roches.	99
Terrains de transport	100
Alluvions	101
Matière organique des sols.	10

CHAPITRE II

Constitution des sols agricoles

Distinction de divers éléments du sol	105
Argile	106
Propriétés, origine.	106
Phénomènes de coagulation	107
Maintien de l'ameublissement des sols.	109
Influence de la coagulation des limons sur le degré de limpidité des eaux naturelles.	110
Constitution des argiles	112
Matière organique.	114
Composition, utilité	114
Influence de la matière organique sur l'ameu- blissement du sol	117
Calcaire	122
Provenance, nature	122
Dissolution lente du calcaire	122
Distinction des sols-calcaires et acides	124
Sable	126
Classification des sols agricoles	128

CHAPITRE III

Propriétés physiques des sols agricoles

	Pages
Généralités	129
Poids spécifique de la terre végétale	130
Imbibition de la terre végétale	131
Hygroscopicité de la terre végétale	133
Dessiccation de la terre végétale	134
Divers effets de la dessiccation de la terre végétale. Cohésion, retrait	136
La terre végétale ne condense pas les gaz.	138
Absorption de la chaleur solaire par la terre végétale	140
Variabilité des conséquences à déduire des propriétés physiques des terres	142

CHAPITRE IV

Phénomènes chimiques et microbiens s'accomplissant dans les sols agricoles

Généralités	145
Production de principes fertilisants par la décomposition des roches.	146
Propriétés absorbantes de la terre végétale	147
Relations de la terre végétale avec l'ammoniaque et l'azote libre de l'atmosphère	156
Composition des dissolutions contenues dans les sols agricoles	160
Atmosphères contenues dans les sols agricoles	165
Combustion de la matière organique dans le sol et le sous-sol	170

	Pages
Nitrification	175
Généralités	175
Étude des conditions de la nitrification . .	177
Présence d'une matière azotée	178
Présence de l'oxygène	178
Légère alcalinité du milieu	180
Humidité	180
Température	180
Nécessité de certains microbes	181
Influence de diverses conditions sur la nitrifi- cation dans la terre végétale.	183
BIBLIOGRAPHIE	185

ST-AMAND (CHER), IMPRIMERIE DESTENAY BUSSIÈRE FRÈRES.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, Paris
P. n^o 48.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Avril 1897)

VIENT DE PARAÎTRE

DEUXIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFOUDUE

DU

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur de clinique chirurgicale
à la Faculté de médecine de Paris
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Secrétaire général
de la Société de Chirurgie
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, DELBET, DELENS, DEMOULIN, FORGUE
GÉRARD-MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON
LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON
PEYROT, PONCET, QUÉNU, RICARD, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

8 vol. grand in-8 avec nombreuses figures dans le texte

En souscription. . . 150 fr.

Au 15 Février 1897, les deux premiers volumes sont en vente

EXTRAIT DE LA PRÉFACE DES DIRECTEURS

...Notre succès auprès du public médical a été grand, puisque, malgré trois importants tirages, une deuxième édition est devenue nécessaire. Nous avons apporté tous nos soins à cette œuvre nouvelle. Certaines parties que les auteurs, trop pressés par le temps, avaient dû négliger, ont été complètement reprises, et il ne reste plus une ligne du travail primitif. Tous les articles, même les meilleurs, ont été remis au courant de la science. Et, malgré l'étendue de la tâche, ce n'est plus en trente mois, c'est en douze que nous nous engageons à publier nos huit nouveaux volumes...

**(Voir ci-contre les conditions de publication et les divisions
de l'ouvrage.)**

LES DIVISIONS

DE LA **Deuxième édition** DU **Traité de Chirurgie**
ONT ÉTÉ FIXÉES COMME IL SUIT :

TOME I (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 912 pages, avec 218 figures dans le texte. 18 fr.

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.
BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.
LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

TOME II (MIS EN VENTE EN FÉVRIER 1897)

1 vol. grand in-8° de 996 pages, avec 361 figures dans le texte. 18 fr.

LEJARS. — Nerfs.
MICHAUX. — Artères.
QUÉNU. — Maladies des veines.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.
PONCET. — Affections non traumatiques des os.

POUR PARAÎTRE EN MAI 1897.

TOME III

1 vol. grand in-8° avec nombreuses figures dans le texte.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.
QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.
GÉRARD-MARCHANT. — Crâne.
KIRMISSON. — Rachis.
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

TOME IV

1 vol. grand in-8 avec nombreuses figures dans le texte.

GÉRARD-MARCHANT. — Nez, fosses nasales, pharynx nasal et sinus.

HEYDENREICH. — Mâchoires.
DELENS. — Œil et annexes.

Les tomes V et VI, VII et VIII, paraîtront à intervalles rapprochés, de façon que l'ouvrage soit complet au commencement de l'année 1898.

Dictionnaire usuel des Sciences médicales

PAR MM.

A. DECHAMBRE, Mathias DUVAL, L. LEREBoulLET

Membres de l'Académie de médecine

Ouvrage accompagné de Notions sur la Prophylaxie et sur l'Hygiène
d'un choix de Formules nouvelles
et d'un Appendice sur la formation des mots usités en médecine

VIENT DE PARAÎTRE

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. gr. in-8 de xxxii-1782 pages, avec 450 figures dans le texte.
Relié toile. 25 fr.

La chirurgie et la pathologie générale ont dû, dans cette troisième édition, recevoir les développements et subir les modifications que le progrès impose; il a fallu, pour la rendre plus précise et plus moderne, la réviser et la compléter encore. C'est ainsi que tous les articles relatifs à l'**Obstétrique** et plusieurs articles de chirurgie ont été refondus. En médecine, les mots **Diphthérie**, **Fièvre typhoïde**, **Sérum** et **Sérothérapie** ont reçu les développements nécessités par de nouvelles découvertes. Plusieurs formules ont été ajoutées. Enfin on a indiqué à l'introduction qui traite de la prophylaxie des maladies infectieuses les modifications que la loi de 1892 impose à l'attention de tous les médecins.

VIENT DE PARAÎTRE

Traité élémentaire de Clinique thérapeutique

Par le **D^r G. LYON**

Ancien interne des hôpitaux de Paris
Ancien chef de clinique à la Faculté de médecine

DEUXIÈME ÉDITION, REVUE, AUGMENTÉE

1 volume in-8° de 1154 pages 15 fr.

Profitant du réel succès obtenu par cet ouvrage dont la première édition avait été épuisée en moins de deux années, l'auteur a refondu complètement certains chapitres de son livre (celui des dyspepsies chimiques par exemple) et l'a en outre augmenté d'un certain nombre de chapitres nouveaux, tels que ceux relatifs à la diphthérie, à l'entéralgie, à la péritonite tuberculeuse, à l'albuminurie, à l'actinomyose, aux empoisonnements, etc., etc. Les praticiens seront heureux de trouver dans cette seconde édition un important appendice contenant la liste des médicaments les plus usuels avec l'indication de leur mode d'emploi et de leur dosage.

VIENT DE PARAÎTRE

Traité des Maladies de l'Enfance

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

J. COMBY

Médecin
de l'hôpital des Enfants-Malades.

A.-B. MARFAN

Agrégé,
Médecin des hôpitaux.

5 volumes grand in-8 en souscription 90 fr.

L'ouvrage dont nous commençons aujourd'hui la publication, et qui sera complet en 5 volumes in-8°, vient fort heureusement combler une lacune. Si les manuels de médecine infantile ne manquaient pas, on souffrait de l'absence d'une œuvre de longue haleine embrassant, dans son ensemble, toute la pédiatrie. Cette œuvre, MM. Grancher, Comby et Marfan ont voulu l'entreprendre, encouragés qu'ils étaient par les collaborations précieuses qui s'offraient à eux, tant de la France que de l'étranger.

Les directeurs de cette publication ont pensé qu'on leur saurait gré d'avoir réuni, dans le même ouvrage, toutes les branches de la pathologie infantile : médecine, chirurgie, spécialités ; d'autant plus qu'ils ont fait appel, pour la réalisation de ce plan nouveau, aux maîtres les plus renommés dans ces diverses branches de la pédiatrie. Le lecteur trouvera donc, dans cet ouvrage, des réponses à toutes les questions qui intéressent la pratique médico-chirurgicale des enfants.

Conçu dans cet esprit, exécuté avec une compétence dont le public médical sera juge, le nouveau *Traité des Maladies de l'Enfance* est appelé à rendre les plus grands services aux praticiens.

Le Traité des Maladies de l'Enfance est publié en cinq volumes qui paraissent à des intervalles rapprochés. Chaque volume est vendu séparément, et le prix en est fixé selon l'étendue des matières.

Les tomes I et II sont en vente (Mars 1897). Les autres paraîtront prochainement à intervalles rapprochés.

Il est accepté des souscriptions au Traité des Maladies de l'Enfance à un prix à forfait quels que soient l'étendue et le prix de l'ouvrage complet. Ce prix est, quant à présent et jusqu'à la publication du tome III, fixé à 90 francs.

TOME I

1 vol. in-8° de xvi-816 pages avec figures dans le texte. . 18 fr.

Préface (GRANCHER). *Physiologie et hygiène de l'enfance* (COMBY). *Considérations thérapeutiques sur les maladies de l'enfance. Table de posologie infantile* (MARFAN). — MALADIES INFECTIEUSES : *Scarlatine* (MOIZARD). *Rougeole* (COMBY). *Rubéole* (BOULLOCHE). *Variole* (COMBY). *Vaccin et vaccination* (DAUCHEZ). *Varicelle* (COMBY). *Oreillons* (COMBY). *Coqueluche* (COMBY). *Fièvre typhoïde* (MARFAN). *Fièvre éphémère* (COMBY). *Fièvre ganglionnaire* (COMBY). *Grippe* (GILLET). *Suette miliaire* (HONTANG). *Choléra asiatique* (DUFLOQ). *Malaria* (CONCETTI). *Fièvre jaune* (COMBY). *Tétanos* (RENAULT). *Rage* (GILLET). *Erysipèle* (RÉNON). *Infections septiques du fœtus, du nouveau-né et du nourrisson* (FISCHL). *Rhumatisme articulaire et polyarthrites* (MARFAN). *Diphthérie* (SEVESTRE et LOUIS MARTIN). *Syphilis* (GASTOU). *Tuberculose. Scrofule* (AVIRAGNET).

TOME II

1 vol. in-8° de 816 pages avec figures dans le texte. . . . 18 fr.

MALADIES GÉNÉRALES DE LA NUTRITION : *Arthritisme, obésité, maigreur, migraine, asthme* (COMBY). *Diabète sucré* (H. LEROUX). *Maladies du sang* (AUDÉOUD). *Hémophilie* (COMBY). *Hémorragie des nouveau-nés* (DEMELIN). *Purpura et syndromes hémorragiques* (MARFAN). *Scorbut infantile* (BARLOW). *Rachitisme* (COMBY et BROCA). *Croissance* (COMBY). *Athrepsie* (THIERCELIN). — MALADIES DU TUBE DIGESTIF : *Développement du tube digestif chez l'enfant* (VARIOT). *Dentition* (MILLON). *Bec-de-lièvre, macroglossie, tumeurs du plancher de la bouche* (BROCA). *Stomatites* (COMBY). *Angines aiguës* (DUPRÉ). *Abcès rétro-pharyngiens et adénite rétro-pharyngienne* (BOKAY). *Hypertrophie des amygdales, pharyngite chronique, végétations adénoïdes* (CUVILLIER). *Polypes naso-pharyngiens* (BROCA). *Maladies de l'œsophage, de l'estomac et de l'intestin dans la seconde enfance* (COMBY). *Infections et intoxications digestives chez le nourrisson, gastro-entérites* (LESAGE). *Dysenterie* (SANNÉ). *Tuberculose de l'estomac et des ganglions mésentériques, constipation* (MARFAN). *Vers intestinaux* (FILATOFF). *Invagination* (JALAGUIER). — *Prolapsus du rectum* (BROCA). *Polypes du rectum, corps étrangers des voies digestives, fissures à l'anus* (FÉLIZET et BRANCA). *Malformations ano-rectales, abcès, fistules ano-rectales* (FORGUE).

TOME III (SOUS PRESSE)

ABDOMEN ET ANNEXES : ombilic, hernies, foie, rate, reins et organes génitaux. — MALADIES DE L'APPAREIL CIRCULATOIRE. — NEZ, LARYNX : thymus, glande thyroïde.

TOME IV (EN PRÉPARATION)

MALADIES DES BRONCHES, DU POUMON, DES PLÈVRES, DU MÉDIASTIN. — MALADIES DU SYSTÈME NERVEUX : méninges, cerveau, moelle, amyotrophies, névroses, paralysies, etc.

TOME V (EN PRÉPARATION)

APPAREIL LOCOMOTEUR : os, articulations, etc. — ORGANE DES SENS : yeux, oreilles. — MALADIES DE LA PEAU. — MALADIES DU FŒTUS.

Table des matières des cinq volumes.

BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

L'Hygiène du Goutteux

PAR

A. PROUSTMembre de l'Académie de Médecine
Médecin de l'Hôtel-Dieu.**A. MATHIEU**Médecin des Hôpitaux
de Paris.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-340 pages). 4 fr.

La goutte n'est-elle pas, de toutes les maladies chroniques, une de celles dans lesquelles l'hygiène peut être appelée à jouer un rôle prépondérant? L'oubli des règles de la sobriété, le surmenage nerveux, l'hérédité en sont les principaux facteurs pathogéniques. N'est-il pas démontré qu'il appartient à l'hygiène plus qu'à la thérapeutique d'en enrayer l'action et d'en corriger les effets? — Obligés de se prononcer entre ces doctrines séculaires et des théories trop récentes pour que l'expérience ait pu justifier leurs prétentions révolutionnaires, les auteurs ont pris parti pour la tradition clinique; l'observation peut seule, en effet, donner une réelle sanction aux hypothèses pathogéniques et aux pratiques thérapeutiques qui en dérivent.

L'Hygiène des Asthmatiques

PAR

E. BRISSAUDProfesseur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-214 pages). 4 fr.

L'asthme vrai est une pure névrose, comme l'avait soutenu Avicenne, et il ne sera ici question que de celui-là, attendu que l'hygiène thérapeutique de l'asthme n'ayant d'unité qu'autant qu'elle vise une condition morbide définie, ses lois ne sont pas applicables aux pseudo-asthmes accidentels, syndromes variables et disparates. En résumé, l'hygiène des asthmatiques consiste surtout en une sorte de discipline fonctionnelle que chacun de nous peut et doit s'imposer; elle emprunte bien moins à la thérapeutique qu'à ce régime de vie ponctuel et mesuré qui assure le maximum de sécurité à un organisme en souffrance. Dans le programme qu'elle se propose, la part de collaboration du malade l'emporte sur celle du médecin.

BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

VIENT DE PARAÎTRE

L'Hygiène de l'Obèse

PAR

A. PROUSTMembre de l'Académie de Médecine,
Médecin de l'Hôtel-Dieu.**A. MATHIEU**Médecin
de l'hôpital Andral.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-344 pages). 4 fr.

Des diverses maladies de la nutrition, l'obésité est certainement celle dont le traitement est le plus directement du ressort de l'hygiène. La médication ne vient qu'en seconde ligne : il ne suffit pas du reste de devenir maigre plus ou moins rapidement, il faut ne pas engraisser de nouveau et c'est encore à l'hygiène qu'il faut faire appel pour conserver les résultats acquis. — Après des considérations sommaires de pathologie et une étude plus étendue de l'étiologie et de la pathogénie, les auteurs exposent dans tous leurs détails les plus importantes des méthodes hygiéniques conseillées pour le traitement de l'obésité; ils donnent le tableau complet des tentatives faites et des systèmes encore en présence actuellement. MM. Proust et Mathieu donnent ensuite le traitement hygiénique de l'obésité; contrairement à Pfeiffer, ils conseillent la méthode lente et progressive, appropriée à la taille, à l'âge, au tempérament et au sexe. Le volume se termine par un exposé du traitement médicamenteux et thermal de l'obésité, et étudie surtout la médecine thyroïdienne, la dernière venue et la plus intéressante.

VIENT DE PARAÎTRE

L'Hygiène du Syphilitique

PAR

H. BOURGESAncien interne des hôpitaux et de la clinique dermatologique de la Faculté,
Préparateur du Laboratoire d'hygiène à la Faculté de Médecine.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-294 pages). 4 fr.

L'hygiène considère à juste titre la syphilis comme un danger public contre lequel il faut toujours se tenir en garde, et elle s'efforce d'y parer par l'application d'importantes mesures de police sanitaire et de prophylaxie générale. Partant de cette idée que l'ignorance du danger syphilitique, des formes sous lesquelles il se présente et des moyens de l'éviter, est un des principaux facteurs de dissémination de la maladie, le professeur Proust a pensé qu'il y aurait quelque utilité à publier un livre dans lequel ces notions seraient mises à la portée de tous, dans un exposé simple et bref, dépouillé de termes techniques. — Ce traité est divisé en trois parties. Dans la première, sont examinées les conditions de propagation et les modes de transmission de la syphilis; la seconde est consacrée à la prophylaxie et à l'hygiène du syphilitique; enfin sont indiquées brièvement, dans la troisième, les mesures de police sanitaire qui sont actuellement opposées à l'envahissement de la syphilis.

BIBLIOTHÈQUE D'HYGIÈNE THÉRAPEUTIQUE

Hygiène

et

Thérapeutique thermales

PAR

G. DELFAU

Ancien interne des Hôpitaux de Paris.

1 volume in-16, cartonné toile, tranches rouges (xxiv-456 pages). 4 fr.

Ce serait une conception bien étroite et bien incomplète de ne voir dans une cure thermale que l'action de l'eau minérale elle-même : le climat, l'altitude, l'exposition de la localité, l'abandon momentané des affaires, des plaisirs ordinaires, du régime habituel, la vie au grand air, l'exercice, sans parler des agents annexes du traitement proprement dit, tels sont les principaux éléments adjuvants dont on sait de plus en plus apprécier l'action puissante, profonde et durable. A elles seules, ces quelques considérations suffisent pour rappeler que la cure thermale ressortit à la fois à la thérapeutique proprement dite et à l'hygiène, et encore plus à cette dernière telle qu'on tend de plus en plus à l'envisager aujourd'hui.

Le volume de M. Delfau est un véritable dictionnaire des Eaux minérales connues : il contient en effet des renseignements sur 358 stations de France et de l'Etranger, et, pour chacune, il donne des indications sur les voies d'accès, la situation, l'aspect général, l'altitude, le climat, la saison, les ressources, les établissements thermaux, les sources, leur débit, leur température, leurs particularités physiques, leurs modes d'emploi, leurs applications thérapeutiques, leur analyse et leur composition chimique. Indispensable aux médecins, pharmaciens et chimistes, ce livre sera consulté avec fruit par toutes les personnes qui fréquentent les villes d'eaux.

VOLUMES A PARAÎTRE ULTÉRIEUREMENT :

L'Hygiène du Neurasthénique (P^r PROUST et D^r BALLET).

L'Hygiène des Dyspeptiques (D^r LINOSSIER).

L'Hygiène du Tuberculeux (D^r DAREMBERG).

L'Hygiène des Albuminuriques (D^r SPRINGER).

L'Hygiène du Diabétique (P^r PROUST et D^r MATHIEU).

Hygiène thérapeutique des maladies de la peau (D^r BROCCQ).

VIENT DE PARAÎTRE

Manuel de Pathologie interne

Par **G. DIEULAFOY**

Professeur de clinique médicale de la Faculté de Médecine de Paris,
Médecin de l'Hôtel-Dieu, Membre de l'Académie de Médecine.

DIXIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

*4 volumes in-16 diamant, avec figures en noir et en couleurs,
cartonnés à l'anglaise, tranches rouges, 28 fr.*

Par des additions et des refontes partielles, le Manuel de Pathologie interne, publié d'abord en deux volumes, puis en trois, forme aujourd'hui quatre volumes. M. Dieulafoy a développé principalement, dans cette dixième édition, les chapitres consacrés à l'Appendicite, à la Diphtérie et à la Fièvre typhoïde. Pour la première fois le lecteur y trouvera quelques planches et figures en noir et en couleurs intercalées dans le texte et se rapportant aux sujets les plus nouveaux traités dans cette édition. Toutes ces figures ont été reproduites d'après les dessins du Dr Bonnier, qui avait déjà sur les mêmes sujets exécuté les schémas qui ont servi au cours du professeur Dieulafoy.

VIENT DE PARAÎTRE

Précis d'Histologie

PAR

MATHIAS DUVAL

Professeur d'histologie à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Académie de médecine de Paris.

OUVRAGE ACCOMPAGNÉ DE 408 FIGURES DANS LE TEXTE

1 volume in-8 de XXXII-956 pages. 18 fr.

On retrouve dans ce volume les qualités qui ont fait le succès de l'enseignement du savant professeur : clarté et précision dans l'exposé des faits; haute portée philosophique dans les vues générales; soin extrême de suivre les progrès de la science, mais en n'acceptant les faits nouveaux qu'à la lumière d'une sévère critique. Des nombreuses figures qui illustrent ce volume, les unes sont empruntées aux maîtres les plus autorisés, les autres, nouvelles, originales, sont pour la plupart des dessins schématiques reproduisant les dessins que M. Mathias Duval a composés pour son enseignement. L'auteur les a dessinés lui-même, et cela ne sera pas un des moindres mérites de cette œuvre magistrale.

VIENT DE PARAÎTRE

Éléments de Commerce et de Comptabilité

Par **Gabriel FAURE**

Professeur à l'École des Hautes-Études commerciales et à l'École commerciale,
Expert-comptable au Tribunal de la Seine.

1 volume petit in-8 de 460 pages, cartonné à l'anglaise. 4 fr.

Exposer avec méthode les questions qui forment la base de tout enseignement commercial, tel est le but de l'auteur. Ce volume renferme le développement complet du programme suivi à l'École des Hautes-Études commerciales en première année. La méthode de M. Faure consiste à faire appel au jugement des élèves plus encore qu'à leur mémoire. Il a cherché à éviter le double écueil d'égarer le débutant dans une foule de détails et de cas particuliers et de laisser subsister dans l'étude des principes généraux une obscurité qui rebute le lecteur. Ce livre est divisé en trois parties : 1° les principales opérations commerciales; 2° les calculs auxquels ces opérations donnent lieu; 3° la science qui nous enseigne à les enregistrer. Ce résumé substantiel, présentant l'ensemble des progrès accomplis à l'heure actuelle, s'adresse aussi bien à la jeunesse des écoles spéciales qu'aux personnes désireuses d'acquérir les notions les plus essentielles sur le commerce et la comptabilité

VIENT DE PARAÎTRE

Cours d'Algèbre

à l'usage des classes
de mathématiques élémentaires,
de l'enseignement secondaire
moderne,

des candidats à l'École de Saint-Cyr et au professorat des Écoles normales

Par **Henri NEVEU**

Agrégé de l'Université, Professeur de mathématiques à l'École Lavoisier.

DEUXIÈME ÉDITION CONFORME AUX DERNIERS PROGRAMMES

1 volume in-8 avec figures dans le texte. 8 fr.

Ce cours d'algèbre est le même que l'auteur professe dans ses classes d'élémentaires; M. Neveu s'est efforcé de suivre un ordre méthodique et a cherché, en débarrassant certaines questions de ce qu'elles ont d'aride, à mettre le plus de clarté possible dans les démonstrations, tout en maintenant leur rigueur mathématique. Les élèves trouveront à la suite de toutes les théories de nombreux exercices résolus, corrigéant ainsi leur sécheresse et les mettant à même de résoudre toutes les questions qui peuvent leur être proposées aux examens. La deuxième édition que nous publions aujourd'hui est conforme aux nouveaux programmes. La théorie des nombres négatifs est traitée dès le début du cours, et les premiers chapitres ont été modifiés dans ce sens. Les candidats à l'École de Saint-Cyr trouveront dans les leçons complémentaires les questions relatives aux dérivées qui, depuis la première édition, ont été ajoutées aux programmes.

Traité de Zoologie

PAR

Edmond PERRIER

Membre de l'Institut, Professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

VIENT DE PARAÎTRE

FASCICULE IV

VERS ET MOLLUSQUES

1 vol. gr. in-8 de 792 pages, avec 566 figures. 16 fr.

ONT DÉJÀ PARU :

FASCICULE I : **Zoologie générale.** 412 pages, 458 figures. 12 fr.

FASCICULE II : **Protozoaires et Phytozoaires.** 432 p., 243 fig. 10 fr.

FASCICULE III : **Arthropodes.** 480 pages, 278 figures. 8 fr.

Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages, avec 980 figures 30 fr.

VIENT DE PARAÎTRE

Résultats scientifiques

de la Campagne du "Caudan"

DANS LE GOLFE DE GASCOGNE (AOUT-SEPTEMBRE 1895)

PAR **R. KOEHLER**

Professeur de Zoologie à la Faculté des sciences de Lyon

FASCICULE I. — 1 vol. in-8° de 272 pages avec figures et 7 planches hors texte en noir et en couleurs. 6 fr.

Introduction — Echinodermes — Mollusques — Bryozoaires, avec la collaboration de *MM. Calvet, Joubin, Locard, Vayssières.*

FASCICULE II. — 1 vol. in-8° de 164 pages avec figures et 11 planches hors texte. 6 fr.

Éponges — Cœlentérés — Acariens — Ascidies simples et composées — Pycnogonides — Schizopodes et décapodes — Copépodes, avec la collaboration de *MM. Canu, Caullery, Roule, Topsent, Trouessart.*

FASCICULE III. — 1 vol. in-8° de 304 pages avec figures et 21 planches hors texte, dont 15 doubles. 20 fr.

Annélides — Poissons — Edriophthalmes — Diatomées — Débris végétaux et roches — Liste des espèces recueillies avec la collaboration de *MM. Bleicher, J. Bonnier, Raesch et Roule.*

Traité

des

Matières colorantes

ORGANIQUES ET ARTIFICIELLES

de leur préparation industrielle et de leurs applications

PAR

Léon LEFÈVRE

Ingénieur (E. I. R.), Préparateur de chimie à l'École Polytechnique.

Préface de E. GRIMAUX, membre de l'Institut.

2 volumes grand in-8° comprenant ensemble 1650 pages, reliés toile anglaise, avec 31 gravures dans le texte et 261 échantillons.

Prix des deux volumes : 90 francs.

Le *Traité des matières colorantes* s'adresse à la fois au monde scientifique par l'étude des travaux réalisés dans cette branche si compliquée de la chimie, et au public industriel par l'exposé des méthodes rationnelles d'emploi des colorants nouveaux.

L'auteur a réuni dans des tableaux qui permettent de trouver facilement une couleur quelconque, toutes les couleurs indiquées dans les mémoires et dans les brevets. La partie technique contient, avec l'indication des brevets, les procédés employés pour la fabrication des couleurs, la description et la figure des appareils, ainsi que la description des procédés rationnels d'application des couleurs les plus récentes. Cette partie importante de l'ouvrage est illustrée par un grand nombre d'échantillons teints ou imprimés. Les échantillons, tous fabriqués spécialement pour l'ouvrage, sont sur soie, sur cuir, sur laine, sur coton et sur papier. Dans cette partie technique, l'auteur a été aidé par les plus éminents praticiens.

Un spécimen de 8 pages, contenant deux pages de tableaux (couleurs azoïques), six types d'échantillons, deux pages de texte et un extrait de la table alphabétique, est à la disposition de toute personne qui en fait la demande.

Chimie

des Matières colorantes

PAR

A. SEYEWETZChef des travaux
à l'École de chimie industrielle de Lyon**P. SISLEY**

Chimiste - Coloriste

Les auteurs, dans cette importante publication, se sont proposé de réunir sous la forme la plus rationnelle et la plus condensée tous les éléments pouvant contribuer à l'enseignement de la chimie des matières colorantes, qui a pris aujourd'hui une extension si considérable.

Cet ouvrage est, par le plan sur lequel il est conçu, d'une utilité incontestable non seulement aux chimistes se destinant soit à la fabrication des matières colorantes, soit à la teinture, mais à tous ceux qui sont désireux de se tenir au courant de ces remarquables industries.

Conditions de la publication. — La Chimie des Matières colorantes artificielles est publiée en cinq fascicules de deux mois en deux mois. On peut souscrire à l'ouvrage complet au prix de 25 fr., payables en recevant le premier fascicule. A partir de la publication du cinquième fascicule, ce prix sera porté à 30 fr.

Premier fascicule. — *Considérations générales. Matières colorantes nitrées. Matières colorantes azoxyques. Matières colorantes azoïques* (1^{re} partie), 152 pages. 6 fr.

Deuxième fascicule. — *Matières colorantes azoïques* (2^e partie). *Matières colorantes hydrazoniques. Matières colorantes nitrosées et quinones oximes. Oxiquinones* (couleurs dérivées de l'anthracène). Pages 153 à 336. 6 fr.

Troisième fascicule. — *Matières colorantes dérivées du Di et du Triphénylméthane.* a) *Dérivés du Diphénylméthane.* b) *Dérivés de la Rosaniline.* c) *Dérivés de l'Acide Rosolique.* d) *Rosamines et Benzoines.* e) *Phtaléines*, pages 336 à 472 6 fr.

Quatrième fascicule. — *Matières colorantes dérivées de la quino- neimide.* — A. *Indamines et indophénols.* — B. *Thiazines et thiazones.* — C. *Oxazines et oxazones.* — D. *Azines*; a) *Eurhodols et eurhodines*; b) *Safranines*; c) *Indulines*; d) *Aninoxalines*; e) *Fluorindines.* — *Matières colorantes dérivées de l'Indigotine, Oxycétones et Xanthones*, pages 473 à 636. 6 fr.

Essai de

Paléontologie philosophique

*Ouvrage faisant suite
aux « Enchaînements du monde animal dans les temps géologiques »*

PAR

ALBERT GAUDRY

do l'Institut de France et de la Société royale de Londres
Professeur de paléontologie au Muséum d'histoire naturelle

1 volume in-8° avec 204 gravures dans le texte. 8 fr.

Nous n'avons pas à rappeler ici les beaux travaux de Paléontologie du professeur Albert Gaudry. Les *Enchaînements* ont marqué dans la science une date et contribué à donner aux travaux d'histoire naturelle une direction qui en a affirmé la portée philosophique.

L'ouvrage que nous annonçons aujourd'hui est le résumé de longues années de recherches. M. Gaudry y a tracé en quelques pages l'histoire de l'évolution de la formation des êtres : c'est l'œuvre d'un penseur en même temps que celle d'un savant éminent. Le philosophe comme l'homme de science y trouvera matière à de précieux enseignements.

Leçons de

Géographie physique

Par **Albert de LAPPARENT**

Professeur à l'Ecole libre de Hautes-Etudes
Ancien Président de la Commission centrale de la Société de Géographie

*1 volume in-8° contenant 117 figures dans le texte
et une planche en couleurs. . . 12 fr.*

Dans les derniers jours de 1895, lors de la discussion du budget devant le Sénat, M. Bardoux appelait l'attention du Ministre de l'Instruction publique sur la situation actuelle de l'enseignement de la Géographie physique. L'honorable sénateur constatait, sans être contredit par personne, qu'il n'y avait aujourd'hui en France qu'un seul cours complet sur la matière, celui que professait M. de Lapparent à l'Ecole libre de Hautes-Etudes.

C'est ce cours que nous venons offrir au public. Après plusieurs années d'essais, l'auteur croit avoir réussi à unir en un véritable corps de doctrines ces intéressantes considérations, relatives à la genèse des formes géographiques, dont on peut dire qu'il a été en France le plus persévérant initiateur.

VIENT DE PARAÎTREPASTEUR

Histoire d'un Esprit

Par **E. DUCLAUX**Membre de l'Institut de France, Professeur à la Sorbonne,
Directeur de l'Institut Pasteur.

1 volume in-8 de 400 pages avec 22 figures 5 fr.

EXTRAIT DE LA PRÉFACE DE L'AUTEUR

... C'est moins pour faire un panégyrique que pour en tirer un enseignement que j'ai essayé d'écrire son histoire, dans laquelle je laisse de côté tout ce qui est relatif à l'homme pour ne parler que du savant. J'ai voulu, dans l'ensemble comme dans le détail, faire la genèse de ses découvertes, estimant qu'il n'avait rien à perdre de cette analyse, et que nous avons beaucoup à gagner.

VIENT DE PARAÎTRE

Loi des Équivalents

et Théorie nouvelle de la Chimie

Par **Gustave MARQFOY**

1 volume in-8 de xxxii-712 pages.. . . . 7 fr. 50

En considérant les divers éléments du monde physique, l'auteur a été naturellement amené à étudier la matière. Comme synthèse de cette étude, il a acquis la conviction que la matière est une. En faisant, dès lors, sur la loi de la formation des corps, la seule hypothèse qui lui ait paru simple et rationnelle, il a découvert la loi naturelle qui enchaîne les équivalents de la chimie dans une formule arithmétique. Après avoir exposé la loi suivant laquelle tous les corps ont été formés, M. Marqfoy établit la théorie constitutive des corps, basée sur l'hypothèse que la matière est une. La concordance des formules et des lois trouvées par cette théorie avec les expériences de la physique et de la chimie confirment la vérité de l'hypothèse.

VIENT DE PARAÎTRE

Leçons

DE

Chimie Biologique

NORMALE ET PATHOLOGIQUE

PAR

Armand GAUTIER

Professeur de chimie à la Faculté de médecine de Paris, Membre de l'Institut,
Membre de l'Académie de médecine.

DEUXIÈME ÉDITION

Revue et mise au courant des travaux les plus récents
Avec 110 figures dans le texte

Ces leçons complètent le Cours de Chimie de M. le professeur A. GAUTIER.
Elles sont publiées avec la collaboration

DE

Maurice ARTHUS

Professeur de physiologie et de chimie physiologique à l'Université
de Fribourg (Suisse).

1 volume grand in-8° de 826 pages. 18 fr.

Quoiqu'il ne se soit écoulé que quatre années depuis la première édition, l'auteur a dû introduire dans son livre de grands changements. Signalons, parmi les chapitres les plus modifiés, ceux relatifs aux principes albuminoïdes, aux nucléo-albumines, aux albumotoxines, aux ferments, aux ptomaines, à la digestion, à la coagulation du sang, à l'origine anaérobie de l'urée, à la vie chimique de la cellule, aux mécanismes des transformations des principes de l'organisme. Voulant faire de cet ouvrage un livre d'étude aussi bien que de laboratoire, M. Gautier s'est décidé, dans cette deuxième édition, à donner la biographie et à citer les sources renvoyant le lecteur, chaque fois qu'il était nécessaire, aux mémoires originaux.

SONT DÉJÀ PUBLIÉS

COURS DE CHIMIE MINÉRALE ET ORGANIQUE

Deuxième édition revue et mise au courant des travaux les plus récents.
2 volumes in-8°.

CHIMIE MINÉRALE

volume grand in-8° de 672 pages avec 244 figures dans le texte. 16 fr.

CHIMIE ORGANIQUE

1 volume grand in-8° de 736 pages avec 72 figures dans le texte. 16 fr.

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 10189.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS.

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

TRAITÉ
DE
MÉCANIQUE RATIONNELLE

PAR

PAUL APPELL,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT
SÉPARÉMENT :

TOME I : Statique. Dynamique du point, avec 178 figures; 1893..... 16 fr.
TOME II : Dynamique des systèmes. Mécanique analytique, avec 99 figures;
1896..... 16 fr.
TOME III : Hydrostatique. Hydrodynamique..... (*Sous presse.*)

Ce Traité est le résumé des Leçons que l'Auteur fait depuis plusieurs années à la Faculté des Sciences de Paris sur le programme de la Licence. Comme la Mécanique était, jusqu'à présent, à peine enseignée dans les Lycées, on ne suppose chez le lecteur aucune connaissance de cette science et l'on commence par l'exposition des notions préliminaires indispensables, théorie des vecteurs, cinématique du point et du corps solide, principes de la Mécanique, travail des forces. Vient ensuite la Mécanique proprement dite, divisée en Statique et Dynamique.

Ce qui fait le caractère distinctif de cet Ouvrage et ce qui justifiera la publication d'une nouvelle Mécanique rationnelle après tant d'autres excellents Traités, c'est l'introduction de la Mécanique analytique dans les commencements mêmes du Cours. Au lieu de reléguer les méthodes de Lagrange à la fin et d'en faire une exposition entièrement séparée, l'Auteur a essayé de les introduire dans le courant de l'Ouvrage.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LEÇONS DE CHIMIE

(à l'usage des Élèves de Mathématiques spéciales)

(NOTATION ATOMIQUE)

PAR

Henri GAUTIER et Georges CHARPY,
Docteurs ès Sciences, anciens Élèves de l'École Polytechnique.

2^e édition entièrement refondue.

Un beau volume grand in-8, avec 92 figures; 1894..... 9 fr.

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

LEÇONS

SUR LES

APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES DE L'ANALYSE

(ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES COURBES ET DES SURFACES),

Par **Louis RAFFY,**

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences,
Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

1 VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 7 FR. 50 C.

LEÇONS NOUVELLES

D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES.

Par **M. MÉRAY,**

Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.
(Ouvrage honoré d'une souscription du Ministère de l'Instruction publique.)

4 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- | | |
|---|----------------|
| I ^o PARTIE : Principes généraux; 1894..... | 13 fr |
| II ^o PARTIE Étude monographique des principales fonctions d'une variable;
1895..... | 14 fr. |
| III ^o PARTIE : Questions analytiques classiques; 1897..... | 6 fr. |
| IV ^o PARTIE : Applications géométriques..... | (Sous presse.) |

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TRAITÉ D'OPTIQUE

Par M. E. MASCART,

Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau Central Météorologique.

3 BEAUX VOLUMES, GRAND IN-8, AVEC ATLAS, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : Systèmes optiques. Interférences. Vibration. Diffraction. Polarisation. Double réfraction. Avec 199 figures et 2 planches; 1889..... 20 fr.

TOME II et ATLAS : Propriété des cristaux. Polarisation rotatoire. Réflexion vitrée. Réflexion métallique. Réflexion cristalline. Polarisation chromatique. Avec 113 figures et Atlas contenant 2 belles planches sur cuivre dont une en couleur (Propriété des cristaux. Coloration des cristaux par les interférences); 1891..... 25 fr.

TOME III : Polarisation par diffraction. Propagation de la lumière. Photométrie. Réfractions astronomiques. Un très fort volume avec 83 figures; 1893..... 20 fr.

LEÇONS

SUR L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME

Par M. DUHEM,

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.

3 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Conducteurs à l'état permanent, avec 112 figures; 1891..... 16 fr.

TOME II : Les aimants et les corps diélectriques, avec 32 figures; 1892. 14 fr.

TOME III : Courants linéaires, avec 71 figures; 1892..... 15 fr.

LEÇONS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE

COURS PROFESSÉ À L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES
ET COMPLÉTÉ SUIVANT LE PROGRAMME DE LA LICENCE ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

J. CHAPPUIS,

Agrégé Docteur ès Sciences,
Professeur de Physique générale
à l'École Centrale.

A. BERGET,

Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des recherches
physiques à la Sorbonne.

3 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Instruments de mesure. Chaleur. Avec 175 figures; 1891..... 13 fr.

TOME II : Électricité et Magnétisme. Avec 305 figures; 1891..... 13 fr.

TOME III : Acoustique. Optiqué; Electro-optique. Avec 193 figures; 1892... 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

TRAITÉ D'ANALYSE

PAR

ÉMILE PICARD,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.

4 VOLUMES IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infinitésimal. 1891..... 15 fr.

TOME II : Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann. 1893..... 15 fr.

TOME III : Des singularités des intégrales des équations différentielles. Étude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Equations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires. 1896..... 18 fr.

TOME IV : Équations aux dérivées partielles..... (*En préparation.*)

Le premier Volume commence par les parties les plus élémentaires du Calcul intégral et ne suppose chez le lecteur aucune autre connaissance que les éléments du Calcul différentiel, aujourd'hui classiques dans les Cours de Mathématiques spéciales. Dans la première Partie, l'Auteur expose les éléments du Calcul intégral, en insistant sur les notions d'intégrale curviligne et d'intégrale de surface, qui jouent un rôle si important en Physique mathématique. La seconde Partie traite d'abord de quelques applications de ces notions générales; au lieu de prendre des exemples sans intérêt, l'Auteur a préféré développer la théorie de l'équation de Laplace et les propriétés fondamentales du potentiel. On y trouvera ensuite l'étude de quelques développements en séries, particulièrement des séries trigonométriques. La troisième Partie est consacrée aux applications géométriques du Calcul infinitésimal.

Les Volumes suivants sont consacrés surtout à la théorie des équations différentielles à une ou plusieurs variables; mais elle est entièrement liée à plus d'une autre théorie qu'il est nécessaire d'approfondir. Pour ne citer qu'un exemple, l'étude préliminaire des fonctions algébriques est indispensable quand on veut s'occuper de certaines classes d'équations différentielles. L'Auteur ne se borne donc pas à l'étude des équations différentielles; ses recherches rayonnent autour de ces centres.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.
3^e fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

(*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1^{er} fascicule; Tome II, 1^{er} et 2^e fascicules; Tome III, 2^e fascicule

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.

4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

D^r H. EBERT,

PROFESSEUR ORDINAIRE DE PHYSIQUE A L'UNIVERSITÉ DE KIEL.

GUIDE POUR LE SOUFFLAGE DU VERRE,

TRADUIT SUR LA DEUXIÈME ÉDITION ET ANNOTÉ

Par P. LUGOL,

Professeur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand,
Chargé de conférences à la Faculté des Sciences.

Un volume in-18 jésus, avec 63 figures; 1897..... 3 fr.

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE,

Par M. Eric GÉRARD,

Directeur de l'Institut Électrotechnique Montefiore.

5^e ÉDITION, REFONDUE ET COMPLÉTÉE.

TOME I : Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques, avec 381 figures; 1897..... 12 fr.

TOME II : Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Application de l'électricité à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à la télégraphie et à la téléphonie, à l'éclairage et à la métallurgie..... (*Sous presse.*)

MESURES ÉLECTRIQUES

LECONS PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
ANNEXÉ A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE,

Par M. Eric GÉRARD,

Directeur de l'Institut Électrotechnique Montefiore, Ingénieur principal des Télégraphes,
Professeur à l'Université de Liège.

Grand in-8, 450 pages, 198 figures; cartonné toile anglaise... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LES RADIATIONS NOUVELLES.

LES RAYONS X

ET LA PHOTOGRAPHIE A TRAVERS LES CORPS OPAQUES,

PAR

Ch.-Éd. GUILLAUME,

Docteur ès Sciences,

Adjoint au Bureau international des Poids et Mesures.

DEUXIÈME ÉDITION.

UN VOLUME IN-8 DE VIII-150 PAGES, AVEC 22 FIGURES ET 8 PLANCHES;
1897..... 3 fr.

Les Rayons X sont toujours à l'ordre du jour et notre curiosité est loin d'être satisfaite à leur égard. La première édition de l'Ouvrage de *M. Ch.-Éd. Guillaume* a été épuisée en quelques jours. La deuxième, qui vient de paraître, sera bien accueillie des Physiciens et des Photographes. L'Auteur fait connaître en détail la genèse de cette merveilleuse découverte, ainsi qu' les résultats qu'on en a tirés. Il décrit minutieusement le manuel opératoire à employer pour obtenir des résultats satisfaisants. Cette brochure servira de guide aux opérateurs désireux d'arriver sans trop de tâtonnements à de bons résultats.

Le côté théorique de la question n'est point négligé, et *M. Ch.-Éd. Guillaume* a rappelé un grand nombre d'expériences antérieures, de « faits contingents » sans lesquels les nouveaux phénomènes resteraient isolés et incompréhensibles.

L'Ouvrage in-8°, de 150 pages, contient de nombreuses reproductions en photographie de clichés originaux obtenus par MM. J. Chapuis, V. Chabaud, Londe, Imbert et Bertin-Sans, qui ont bien voulu les prêter à l'Auteur.

L'ensemble forme un Volume qui intéressera tous ceux qui aiment à se « rendre compte » de tout de qui se passe autour des *Rayons X*.

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

EXERCICES DE PHYSIQUE

ET APPLICATIONS.

PRÉPARATOIRES A LA LICENCE.

Par **M. Aimé WITZ,**

Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

Un volume in-8, avec 114 figures; 1889..... 12 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

COURS ÉLÉMENTAIRE
DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE,

Par M. Aimé WITZ,

Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur aux Facultés catholiques de Lille,

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES ET AU CERTIFICAT DES ÉTUDES
PHYSIQUES, CHIMIQUES ET NATURELLES. (P. C. N.)

2^e ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 77 FIGURES; 1895. 5 FR.

ÉCOLE PRATIQUE DE PHYSIQUE

COURS SUPÉRIEUR
DE MANIPULATIONS DE PHYSIQUE

PRÉPARATOIRE AUX CERTIFICATS D'ÉTUDES SUPÉRIEURES ET A LA LICENCE.

Par M. Aimé WITZ,

Docteur ès Sciences, Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur aux Facultés catholiques de Lille.

2^e ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE. IN-8, AVEC 138 FIGURES; 1897. 10 FR.

PRINCIPES

DE LA

THÉORIE DES FONCTIONS ELLIPTIQUES
ET APPLICATIONS,

PAR

P. APPELL,

Membre de l'Institut, Professeur
à l'Université de Paris.

E. LACOUR,

Maitre de Conférences à l'Université
de Nancy.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Fondées par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE MACHINES A VAPEUR
DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

ALHEILIG,

Ingénieur de la Marine,
Ex-Professeur à l'École d'application
du Génie maritime.

Camille ROCHE,

Industriel,
Ancien Ingénieur de la Marine.

2 BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : Thermodynamique théorique et applications. La machine à vapeur et les métaux qui y sont employés. Puissance des machines, diagrammes indicateurs. Freins. Dynamomètres. Calcul et dispositions des organes d'une machine à vapeur. Régulation. Épure de détente et de régulation. Théorie des mécanismes de distribution, détente et changement de marche. Condensation, alimentation. Pompes de service. — Volume de XI-604 pages, avec 412 figures; 1895..... 20 fr.

TOME II : Forces d'inertie. Moments moteurs. Volants régulateurs. Description et classification des machines. Machines marines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints et presse-étoupes. Montage des machines et essais des moteurs. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction. Servo-moteurs. Tables numériques. — Volume de IV-560 pages, avec 281 figures; 1895..... 18 fr.

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

Ingénieur principal du Service central
de la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ingénieur, Inspecteur principal
de l'Atelier central des chemins de fer
du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E. I.). 15 fr.

VERRE ET VERRERIE

PAR

Léon APPERT et Jules HENRIVAUX,

Ingénieurs.

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.).... 20 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **M. G. BRICKA,**

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

2 VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : Études. — Construction. — Voie et appareils de voie. — Volume de VIII-634 pages avec 326 figures; 1894... 20 fr.

TOME II : Matériel roulant et Traction. — Exploitation technique. — Tarifs. — Dépenses de construction et d'exploitation. — Régime des concessions. — Chemins de fer de systèmes divers. — Volume de 709 pages, avec 177 figures; 1894... 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par **M. J. DENFER,**

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.)... 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par **M. J. DENFER,**

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

2 VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : Généralités sur la fonte, le fer et l'acier. — Résistance de ces matériaux. — Assemblages des éléments métalliques. — Chainages, linteaux et poitrails. — Planchers en fer. — Supports verticaux. Colonnes en fonte. Poteaux et piliers en fer. — Grand in-8 de 584 pages avec 479 figures; 1894... 20 fr.

TOME II : Pans métalliques. — Combles. — Passerelles et petits ponts. — Escaliers en fer. — Serrurerie. (Ferrements des charpentes et menuiseries. Paratonnerres. Clôtures métalliques. Menuiserie en fer. Sorres et vérandas). — Grand in-8 de 626 pages avec 571 figures; 1894... 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **M. AI. GOUILLY,**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.)... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT**,
Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GRAND IN-8 DE XII-533 PAGES, AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1895 (E. I.)..... 12 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **M. A. CRONEAU**,

Ingénieur de la Marine,
Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

2 VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.).

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de navires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8 de 379 pages avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4^e doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouvertures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. — Poids et résistance des coques. — Grand in-8 de 616 pages avec 359 fig.; 1894. 15 fr.

PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par **Ernest HENRY**,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.).. 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.
PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par **E. BOURRY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.).. 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

BLANCHIMENT ET APPRÊTS TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufac-
tures nationales
des Gobelins et de Beauvais.

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique
et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris.

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHAN-
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.)..... 30 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **M. A. JOANNIS,**

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

2 VOLUMES GRAND IN-8 (E. I.).

TOME I : Généralités. Carbures. Alcools. Phénols. Éthers. Aldéhydes. Cétones.
Quinones. Sucres. — Volume de 688 pages, avec figures; 1896..... 20 fr.

TOME II : Hydrates de carbone. Acides monobasiques à fonction simple. Acides
polybasiques à fonction simple. Acides à fonctions mixtes. Alcalis organiques. Amides.
Nitriles. Carbylamines. Composés azoïques et diazoïques. Composés organo-métal-
liques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires.
Volume de 718 pages, avec figures; 1896.... 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par **M. Georges LECHALAS,**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

2 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT. (E. T. P.)

TOME I : Notions sur les trois pouvoirs. Personnel des Ponts et Chaussées. Principes
d'ordre financier. Travaux intéressant plusieurs services. Expropriations. Dommages
et occupations temporaires. — Volume de CXLVII-536 pages; 1889..... 20 fr.

TOME II (1^{re} PARTIE) : Participation des tiers aux dépenses des travaux publics.
Adjudications. Fournitures. Régie. Entreprises. Concessions. — Volume de VIII-
399 pages; 1893..... 10 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **M. Maurice D'OCAGNE,**

Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

UN VOLUME GRAND IN-8, DE XI-428 PAGES, AVEC 340 FIGURES; 1896
(E. T. P.)..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la science, de l'art et des applications pratiques.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE PAR LES PROCÉDÉS PELLICULAIRES,

Par M. George BALAGNY, Membre de la Société française de Photographie,
Docteur en droit.

2 volumes grand in-8, avec figures; 1889-1890.

On vend séparément :

TOME I : Généralités. Plaques souples. Théorie et pratique des trois développements au fer, à l'acide pyrogallique et à l'hydroquinone. 4 fr.

TOME II : Papiers pelliculaires. Applications générales des procédés pelliculaires. Phototypie. Contretypes. Transparents. 4 fr.

APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAPHIE A LA MÉDECINE.

Par le D^r A. BURATS.

In-4, avec figures et 6 planches, dont 1 en couleurs; 1896. 4 fr.

CE QU'IL FAUT SAVOIR POUR RÉUSSIR EN PHOTOGRAPHIE.

Par A. COURRÈGES, Praticien.

2^e édition, revue et augmentée. Petit in-8, avec 1 planche en photocollographie; 1896. 2 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE.

Par M. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens.. 32 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Notions élémentaires. — Historique. — Épreuves négatives. — Principes communs à tous les procédés négatifs. — Épreuves sur albumine, sur collodion, sur gélatinobromure d'argent, sur pellicules, sur papier. Avec 2 planches spécimens et 120 figures; 1886. 16 fr.

II^e PARTIE : Épreuves positives : aux sels d'argent, de platine, de fer, de chrome. — Épreuves par impressions photomécaniques. — Divers : Les couleurs en Photographie. Épreuves stéréoscopiques. Projections, agrandissements, micrographie. Réductions, épreuves microscopiques. Notions élémentaires de Chimie, vocabulaire. Avec 2 planches spécimens et 114 figures; 1888. 16 fr.

Un Supplément, mettant cet important Ouvrage au courant des derniers travaux; est en préparation.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

LA TRIPLICE PHOTOGRAPHIQUE DES COULEURS
ET L'IMPRIMERIE.

Système de Photochromographie LOUIS DUCOS DU HAURON.
Par ALCIDE DUCOS DU HAURON.

In-18 jésus de v-488 pages; 1897..... 6 fr. 50 c.

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE.

Théorie et pratique; par M. A.-L. DONNADIEU, Docteur ès Sciences,
Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

Grand in-8, avec Atlas de 20 planches stéréoscopiques en photocollogra-
phie; 1892..... 9 fr.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par M. C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viendront compléter ce
Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

Les 5 volumes se vendent ensemble..... 60 fr.

DICTIONNAIRE PRATIQUE DE CHIMIE PHOTOGRAPHIQUE,

Contenant une *Étude méthodique des divers corps usités en Photographie*,
précédé de *Notions usuelles de Chimie* et suivi d'une description détaillée
des *Manipulations photographiques*;

Par M. H. FOURTIER.

Grand in-8, avec figures; 1892..... 8 fr.

LES POSITIFS SUR VERRE.

Théorie et pratique. Les Positifs pour projections. Stéréoscopes et vitraux.
Méthodes opératoires. Coloriage et montage;

Par M. H. FOURTIER.

Grand in-8, avec figures; 1892..... 4 fr. 50 c.

LA PRATIQUE DES PROJECTIONS.

Étude méthodique des appareils. Les accessoires. Usages et applications
diverses des projections. Conduite des séances;

Par M. H. FOURTIER.

2 vol. in-18 jésus.

TOME I. Les Appareils, avec 66 figures; 1892..... 2 fr. 75 c.

TOME II. Les Accessoires. La Séance de projections, avec 67 fig.; 1893. 2 fr. 75 c.

LES LUMIÈRES ARTIFICIELLES EN PHOTOGRAPHIE.

Étude méthodique et pratique des différentes sources artificielles de lu-
mières, suivie de recherches inédites sur la puissance des photopoudres
et des lampes au magnésium;

Par M. H. FOURTIER.

Grand in-8, avec 19 figures et 8 planches; 1895..... 4 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE INDUSTRIELLE,
THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Ch. FÉRY et A. BURAIS.

In-18 jésus, avec 94 figures et 9 planches; 1896..... 5 fr.

LE FORMULAIRE CLASSEUR DU PHOTO-CLUB DE PARIS.

Collection de formules sur fiches renfermées dans un élégant cartonnage et classées en trois Parties: *Phototypes, Photocopies et Photocalques, Notes et renseignements divers*, divisées chacune en plusieurs Sections;

Par MM. H. FOURTIER, BOURGEOIS et BUCQUET.

Première Série; 1892..... 4 fr.

Deuxième Série; 1894..... 3 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE MÉDICALE.

Applications aux Sciences médicales et physiologiques;

Par M. A. LONDE.

Grand in-8, avec 80 figures et 19 planches; 1893..... 9 fr.

VIRAGES ET FIXAGES.

Traité historique, théorique et pratique;

Par M. P. MERCIER,

Chimiste, Lauréat de l'École supérieure de Pharmacie de Paris.

2 volumes in-18 jésus; 1892..... 5 fr.

On vend séparément:

I^{re} PARTIE: Notice historique. Virages aux sels d'or..... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE: Virages aux divers métaux. Fixages..... 2 fr. 75 c.

OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE

SANS DÉVELOPPEMENTS MATHÉMATIQUES,

Par le D^r A. MIETHE.

Traduit de l'allemand par A. NOAILLON et V. HASSREIDTER.

Grand in-8, avec 72 figures et 2 Tableaux; 1896..... 3 fr. 50 c.

NOTES SUR LA PHOTOGRAPHIE ARTISTIQUE.

TEXTE ET ILLUSTRATIONS

Par M. C. PUYO.

Plaquette de grand luxe, in-4^e raisin, avec 11 héliogravures de DUJARDIN et 39 phototypogravures dans le texte; 1896..... 10 fr.

Il reste quelques exemplaires numérotés, sur japon, avec planches également sur japon..... 20 fr.

Une planche spécimen est envoyé *franco* sur demande.

LA LINOTYPIC

ou Art de décorer photographiquement les étoffes pour faire des écrans, des éventails, des paravents, etc., menus photographiques;

Par M. L. TRANCHANT, rédacteur en chef de la *Photographie*.

In-18 jésus; 1896..... 1 fr. 25 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

**TRAITÉ PRATIQUE
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.**

Par M. E. TRUTAT.

2 volumes in-18 jésus, avec 112 figures..... 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : Obtention des petits clichés ; avec 52 figures ; 1891..... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE : Agrandissements. 2^e édition, avec 60 figures ; 1897..... 2 fr. 75 c.

LES ÉPREUVES POSITIVES SUR PAPIERS ÉMULSIONNÉS.

Papiers chlorurés. Papiers bromurés. Fabrication. Tirage et développement.
Virages. Formules diverses.

Par M. E. TRUTAT.

Un volume in-18 jésus ; 1896..... 2 fr.

LA PHOTOTYPOGRAVURE A DEMI-TEINTES.

Manuel pratique des procédés de demi-teintes, sur zinc et sur cuivre ;

Par M. Julius VERFASER.

Traduit de l'anglais par M. E. COUSIN, Secrétaire-agent de la Société
française de Photographie.

In-18 jésus, avec 56 figures et 3 planches ; 1895..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES COULEURS.

Sélection photographique des couleurs primaires. Son application à l'exécution de clichés et de tirages propres à la production d'images polychromes à trois couleurs ;

Par M. LÉON VIDAL,

Officier de l'Instruction publique, Professeur à l'École nationale
des Arts décoratifs.

In-18 jésus, avec 10 figures et 5 planches en couleurs ; 1897..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE PHOTOLITHOGRAPHIE.

Photolithographie directe et par voie de transfert. Photozincographie. Photocollographie. Autographie. Photographie sur bois et sur métal à graver.
Tours de main et formules diverses ;

Par M. LÉON VIDAL.

In-18 jésus, avec 25 fig., 2 planches et spécimens de papiers autographiques ;
1893..... 6 fr. 50 c.

MANUEL PRATIQUE D'ORTHOCHROMATISME.

Par M. LÉON VIDAL.

In-18 jésus, avec figures et 2 planches, dont une en photocollographie et un
spectre en couleur ; 1891..... 2 fr. 75 c.

NOUVEAU GUIDE PRATIQUE DU PHOTOGRAPHE AMATEUR.

Par M. G. VIEUILLE.

3^e édition, refondue et beaucoup augmentée. In-18 jésus, avec figures ;
1892..... 2 fr. 75 c.

5322 E. — Paris, Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Gr.-Augustins.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Collection de 250 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés par an)

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CARTONNÉ, 3 FR.

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- PIÉOU. — Distribution de l'électricité. (2 vol.).
A. GOUILLY. — Air comprimé ou raréfié. — Géométrie descriptive (3 vol.).
DWELSHAUVERS-DERY. — Machine à vapeur. — I. Étude expérimentale calorimétrique. — II. Étude expérimentale dynamique.
A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur. — Détente variable de la vapeur. — Epures de régulation.
M. DE LA SOURCE. — Analyse des vins.
ALHEILIG. — I. Travail des bois. — II. Corderie — III Construction et résistance des machines à vapeur
AIMÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs therm. quos.
LINDET. — La bière.
TH. SCHLÖSSER fils. — Chimie agricole.
SAUVAGE. Moteurs à vapeur.
LE CHATELIER. — Le ginsou.
DUBOIS. — Appareils d'essai des moteurs à vapeur.
CRONAC. — I. Canon, torpilles et cuirasse. — II. Construction du navire.
H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.
LECOMTE. — Les textiles végétaux
DE LAUNAY — I. Les gites métallifères. — II. Production métallifère
BERTIN. — État de la marine de guerre.
FERDINAND JEAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.
BERTHELOT. — Calorimétrie chimique.
DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.
GUILLAUME. — Unités et étalons.
WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.
MINEL (P.). — Electricité industrielle. (2 vol.). — Electricité appliquée à la marine. — Régularisation des moteurs des machines électriques.
HERBERT. — Boissons falsifiées.
NAUDIN. — Fabrication des vernis.
SINGAGLIA. — Accidents de chaudières.
GUENEZ. — Décoration de la porcelaine au feu de moufle.
VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.
MEYER (Ernest). — L'utilité publique et la propriété privée.
WALLON. — Objectifs photographiques.

Section du Biologiste

- FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.
MAGNAN et SÉRIEUX. — I. Le délire chronique. — II. La paralysie générale.
ATVARD. — I Séméiologie générale. — II. Menstruation et fécondation.
G. WEISS. — Electro-physiologie.
BAZY. — Maladies des voies urinaires. (2 vol.).
TROUSSEAU. — Hygiène de l'œil.
FERLÉ. — Epilepsie.
LAVÉRIER. — L'amblyopie.
POLIN et LABIT. — Aliments suspects.
BERGONIE. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.
MÉGNIN. — I. Les acariens parasites. — II. La faune des cadavres.
DEMELIN. — Anatomie obstétricale
CÉNOT. — I. Les moyens de défense dans la série animale — II. L'influence du milieu sur les animaux
A. OLIVIER. — L'accouchement normal.
BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.
CHARRIN. — I. Les poisons de l'urine. — II. Poisons du tube digestif. — III. Poisons des tissus.
ROGER. — Physiologie normale et pathologique du fœtus.
BROCC et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie (5 vol.).
HAYOT. — De l'embourgeoisement.
WELLMANN. — Guide du médecin d'assurances sur la vie.
LANGLOIS. — Le lait.
DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).
BROCA. — Tumeurs blanches des membres chez l'enfant.
DE CAZAL et CARRIN. — Médecine légale militaire.
LAPERSONNE (DE). — Maladies des paupières et des membranes externes de l'œil.
KEHLER. — Applications de la photographie aux Sciences naturelles.
BRAUER. — Le microscope.
LESAGE. — Le choléra.
LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.
CORNEVIN. — Production du lait.
J. CHATIN. — Anatomie comparée (1 v.).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

Ouvrages parus

Section de l'Ingénieur

- BLOCH — Eau sous pression.
 DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).
 PRUD'HOMME. — Teinture et impression.
 SORREL. — I. La rectification de l'alcool. — II. La distillation.
 DE BILLY. — Fabrication de la fonte.
 HENNENBERT (C^e). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches à feu. — IV. Attaque des places. — V. Travaux de campagne. — VI. Communications militaires.
 CASPARI. — Chronomètres de marine.
 LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.
 DUBÉBOUT et CRONEAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.
 C. BOURLET. — Bicycles et bicyclettes.
 H. LÉAUTÉ et A. BÉRAUD. — Transmissions par câbles métalliques.
 DE LA BARME PLEVINFL. — La théorie des procédés photographiques.
 HATT. — Les marées.
 H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie.
 C^e VALLIER. — Balistique (2 vol.). — Pro ectiles. Fusées. Cuirasses (2 vol.)
 LEMOUREU. — Le fonctionnement des machines à vapeur.
 DARIÉS. — Cubature des terrasses et mouvement des terres.
 SIDERSKY. — Polarisation et saccharimétrie.
 NIEWENGLOWSKI. — Applications scientifiques de la photographie.
 ROCHESES (X.). — Analyse des alcools et eaux-de-vie.
 MOESSARD. — Topographie.
 BOURSALUT. — Calcul du temps de pose en photographie.
 SEGBELA. — Les tramways.
 LÉFÈVRE (J.). — I. La Spectroscopie. — II. La Spectrométrie. — III. L'éclairage électrique. — IV. Éclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras.
 BARRILOT (E.). — Distillation des bois.
 MOISSAN et OUVARD. — Le nickel.
 URBAIN. — Les succédanés du chiffon en papeterie.
 LOMPR. — I. Accumulateurs électriques. — II. Transformateurs de tension.
 ARIAS. — Chaleur et énergie.
 FABRY. — Piles électriques.
 HENRIET. — Les gaz de l'atmosphère.
 DUMONT. — Electromoteurs.
 MENET (A.). — L'Electro métallurgie.
 DUBOUR. — Etude d'un tracé de chemin de fer.

Section du Biologiste

- CASTRX. — Hygiène de la voix parlée et chantée.
 MERKLEN. — Maladies du cœur.
 G. ROCHÉ. — Les grandes peches maritimes modernes de la France.
 OLLIER. — I. La régénération des os et les résections sous-périostées. — II. Résections des grandes articulations.
 LÉTULLE. — Pus et suppuration.
 CRITZMAN. — Le cancer.
 ARMAND GACHIER. — La chimie de la cellule vivante.
 SÉGLAS. — Le délire des négations.
 STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.
 GREHANT. — Les gaz du sang.
 NOCARD. — Les tuberculeuses animales et la tuberculose humaine.
 MOUSSOUS. — Maladies congénitales du cœur.
 BERTHAULT. — Les prairies (2 vol.).
 TROUSSART. — Parasites des habitations humaines.
 LAMY. — Syphilis des centres nerveux.
 RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.
 THOULET. — Océanographie pratique.
 HOUDAILLE. — Météorologie agricole.
 VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.
 HENOCQUE. — Spectroscopie du sang.
 GALIPPE ET BARRÉ. — Le pain (2 v.).
 LE DANTEC. — I. La matière vivante — II. La Bactériologie charbonneuse. — III. La forme spécifique.
 L'HÔRE. — Analyse des engrais.
 LARBALETIER. — Les tourteaux — Résidus industriels employés comme engrais (2 vol.).
 LE DANTEC ET BÉRAUD. — Les sporozoaires.
 DEMMLER. — Soins à donner aux malades.
 DALLEMAGNE. — Études sur la criminalité (3 vol.).
 BRAULT. — Des artérites (2 vol.).
 RAVAZ. — Reconstitution du vignoble.
 BILERS. — L'ergotisme.
 BONNIER. — L'oreille (3 vol.).
 DESBOULINS. — Conservation des produits et denrées agricoles.
 LOVERDOL. — Le ver à soie.
 DUBREUILH et BEILLE. — Les parasites animaux de la peau humaine.
 KAYSER. — Les levures.
 COLLET. — Troubles auditifs des maladies nerveuses.
 GASSIOT. — Analyse des eaux potables