

Section du Biologiste



TH. SCHLOESING FILS

PRINCIPES

DE

CHIMIE AGRICOLE

DEUXIÈME ÉDITION

MASSON & C^{IE}

GAUTHIER-VILLARS ET FILS



Nº 14885

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

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

*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.*

2

N^o 21 B₂.

904
~~ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AGRICULTEURS~~

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

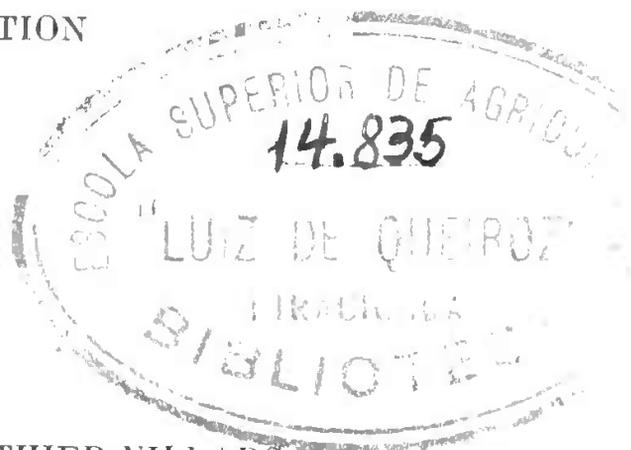
MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS | GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

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, sont 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'éclosion 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. GRANDEAU, 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, féculs, 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 amylacés, amidon ou féculé, 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 périsperme.

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 laquelle 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 { Surface des feuilles en septembre.	136000
{ Surface des tiges (hauteur 2 à 3 mètres)	6410
	1424
Froment, en fleur, 195 plants par mètre carré.	354
Pommes de terre, en fleur; les plants { feuilles	36610
espacés de 0 ^m ,60. { tiges vertes.	3031
	396
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 produite. 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, Reinke, 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 tuerait 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 $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ représentant $\frac{\text{volume d'acide carbonique absorbé}}{\text{volume d'oxygène émis}}$ (ou $\frac{\text{A}}{\text{B}}$) pour la première fonction et $\frac{\text{volume d'acide carbonique émis}}{\text{volume d'oxygène absorbé}}$ (ou $\frac{a}{b}$)

(1) CORENWINDER. — *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 $\frac{\text{A} - a}{\text{B} - b}$ 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 mycorrhises, *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 minimales, 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. Grandeau 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 gramme 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 de 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. SCHLÆSING 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. SCHLÆSING 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 vieillis 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 magnésie. 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'ATMOSPHÈRE 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. SCHLESING 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 constat 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 de 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 vînt 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 consommerait 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 $0^{\text{cm}^3} 15$ 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 de 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	Jun 1875	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier 1876	Février	Mars	Avril	Mai	Jun
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	1,5
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	2,5

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

RÉSULTATS DE MM. LAWES ET GILBERT, A ROTHAMSTED

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
1853	//	//	1,41	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 — 0,31
" 7 neiges.	.	0,06 — 0,14
" 5 brouillards.	.	0,19 — 0,61

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. XCH.

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 millionièmes de cet acide à Paris et de 2 à 4,7 millionièmes 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.

A 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 pouvons 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) SCHLESING. — *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 débarrasse 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 : $\text{Al}^2\text{O}^3 \quad 2\text{SiO}^2. \quad 2\text{H}^2\text{O}$. 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 détritits des végétaux. Ces détritits 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 émiété, 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 ameublir 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 particulière ; 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 reconnâtrons 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 (SCHLESING. — *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	0,831
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 diverses 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. GRANDEAU. — *Traité d'analyse des matières agricoles* (3^e édition). — SCHLESING. — *Contribution à l'étude de la chimie agricole*.

V. CLASSIFICATION DES SOLS AGRICOLES

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.

Otth, 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, reste 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

nent elles-mêmes un tiers de vide, en sorte que, dans une telle terre, les pleins 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 quartzeux 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 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 résout dans ce dicton déjà cité : « Le terreau ameuble les terres trop fortes ».

La cohésion dépend encore du degré de ténuité des éléments. A proportion égale d'argile et d'humates, les terres durcissent d'autant plus 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 se 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 à 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 c de l'eau (1). Par une méthode un peu différe M. Berthelot a constaté que la terre n'abs pas l'oxyde de carbone (2). Ainsi la terre végé ne condense pas les gaz.

On observerait peut-être une condensa appréciable, si la terre renfermait une f proportion de débris de charbon. On sait, en fet, que ce corps a la faculté d'absorber les De la terre calcinée en vase clos acquiert c faculté, qu'elle doit à la présence du char provenant de la décomposition de la matière ganique.

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

(1) SCHLÆSING. — *Contribution à l'étude de la mie agricole.*

(2) BERTHELOT. — *Comptes rendus de l'Acad 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 mètre 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 vigne, les raisins noirs, qui demandent plus de chaleur que les blancs, ne viennent bien que sur les terres foncées. Dans certaines 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 $\frac{1}{8}$ 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 inexplicables.

CHAPITRE IV

PHÉNOMÈNES CHIMIQUES ET MICROBIENS S'ACCOMPLISSANT DANS LES SOLS AGRICOLS

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. Voelcker. 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 dominent 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 reparaître 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. À 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. Schloësing, 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. Schloësing 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. SCHLÆSING 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-Pétersbourg, 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 ammoniacque ⁽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 Vælkner*, 1888 ; voir aussi les travaux de MM. LAWES, GILBERT et WARINGTON. — *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 Zøeller). 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 10.0/0; mais, d'ordinaire, il est voisin de 1 0/0. 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. 0/0 d'acide carbonique	A 25 cm de profondeur	A 1m 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. SCHLÆSING 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, 4879.

- 1° Présence d'une matière azotée (matière organique ou ammoniacque) ;
- 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 ammoniacque, 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 nitrifie, exerce une influence marquée sur le phénomène ; quand elle croît de 1,5 à 21 $\%$, 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^o 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. Schlœsing 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 des ensemencements successifs, ils ont obtenu des cultures où ils n'apercevaient qu'une seule sorte d'organisme (corpuscules très petits, de forme rondé, 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 (Warington, 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 azotiles 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⁾ SCHLÆSING. — *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. SCHLESING 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.
- ÉTARD. — *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. SCHLESING 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'ATMOSPHÈRE 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 Völcker*
Paris, 1888.
- RAMSAY. — *The gases of the atmosphere*. Londres, 1896.
- SCHLÆSING. — *Contribution à l'étude de la chimie
agricole*. Paris, 1885.

MÉMOIRES

Orygène, Azote et Argon

- REGNAULT. — *Annales de Chimie et de Physique*. 1853.
- LEDUC. — *Comptes Rendus* 1890 et années suivantes.
- TH. SCHLÆSING fils. — *Comptes Rendus*, 1895 et 1896.
- DUMAS et BOUSSINGAULT. — *Annales de Chimie et de
Physique*. 1841.
- CAILLETET. — *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

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

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

Gaz 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 GASPARIN. — *Cours d'agriculture*. Paris, 1848.

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

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

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

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

SCHLÆSING. — *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

- SCHLÆSING. — *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
- SCHLÆSING. — *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.
- SCHLÆSING. — *Comptes Rendus*, 1884.
- BERTHELOT. — *Comptes Rendus*, t. CXI, p. 469.

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

- VAN BEMMELÉN. — *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-Petersbourg, 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. CIX, 1889.
- MÜNTZ. — *Comptes Rendus*, t. CI, p. 1265 ; t. CXII. 1891.
- MÜNTZ et MARCANO. — *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

	Pages
AVERTISSEMENT	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 nitrification dans la terre végétale.	183
BIBLIOGRAPHIE.	185

MASSON & C^{ie}, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n° 143.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Avril 1899)

VIENT DE PARAÎTRE

Traité élémentaire

DE

Clinique Thérapeutique

Par le **D^r Gaston LYON**

Ancien chef de clinique médicale à la Faculté de médecine de Paris

TROISIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

1 volume grand in-8° de VIII-1332 pages. Relié peau. 20 fr.

La seconde édition de ce livre a reçu du public médical le même accueil favorable que la première. Nous trouvant par suite dans l'obligation agréable de préparer une troisième édition, nous avons considéré comme un devoir strict d'y apporter tous nos soins et de justifier ainsi la faveur soutenue dont notre ouvrage a été l'objet.

En raison du court espace de temps qui s'est écoulé entre la seconde édition et la présente, nous n'avons pas à enregistrer des progrès bien notables dans le domaine de la thérapeutique. Cependant, quelques médications nouvelles ont dû être mentionnées : notamment, le traitement sérothérapique de la peste, les différentes applications de l'opothérapie qui se sont multipliées depuis peu de temps, le traitement des cardiopathies par les agents physiques, les traitements chirurgicaux d'affections considérées jusque-là comme relevant exclusivement de la thérapeutique médicale (angiocholites infectieuses, ulcère de l'estomac, sténoses gastriques, etc.....)

D'autre part, un certain nombre de chapitres nouveaux ont été ajoutés, avec tous les développements que comporte leur importance ; citons notamment ceux consacrés aux cardiopathies infantiles, aux sténoses du pylore, aux angiocholites infectieuses, aux péritonites aiguës, aux méningo-myélites aiguës, aux poliomyélites, à la peste, etc.....

Le chapitre consacré aux dyspepsies a été réécrit en entier. Tous les autres chapitres de notre ouvrage ont été l'objet de modifications de détails : quelques-uns même ont été presque entièrement refondus (blennorragie, syphilis, neurasthénie, infections gastro-intestinales infantiles, etc.).

Sur la demande d'un grand nombre de nos lecteurs, une table alphabétique a été ajoutée, qui facilitera les recherches.

Le rôle du médecin change en même temps que se modifient les médications. La mise en œuvre des soins antiseptiques, l'emploi des injections de sérum, tout cela fait que le rôle actif du médecin grandit sans cesse. Nous avons tenu, dans cette édition, à insister sur les détails de direction des traitements, en un mot, à justifier, mieux encore que par le passé, notre titre de *Traité de clinique thérapeutique*.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

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

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

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

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. En souscription 150 fr.

TOME I. — 1 vol. grand in-8° avec 218 figures 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. — 1 vol. grand in-8° avec 361 figures 18 fr.

LEJARS. — Nerfs.

MICHAUX. — Artères.

QUÉNU. — Maladies des veines.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.

PONCET. — Affections non traumatiques des os.

TOME III. — 1 vol. grand in-8° avec 285 figures 18 fr.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.

QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.

GERARD MARCHANT. — Crâne.

KIRMISSON. — Rachis.

S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

TOME IV. — 1 vol. grand in-8° avec 354 figures 18 fr.

DELENS. — L'œil et ses annexes.

GERARD MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.

HEYDENREICH. — Mâchoires.

TOME V. — 1 vol. grand in-8° avec 187 figures 20 fr.

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.

HARTMANN. — Plancher buccal, glandes

des salivaires, œsophage et pharynx.

WALTHER. — Maladies du cou.

PEYROT. — Poitrine.

PIERRE DELBET. — Mâmele.

TOME VI. — 1 vol. grand in-8° avec 218 figures 20 fr.

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.

BERGER. — Hernies.

JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN. — Estomac.

FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.

HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.

QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.

SEGOND. — Foie.

TOME VII. — 1 fort vol. avec figures dans le texte (Sous presse).

WALTHER. — Bassin.

TUFFIER. — Rein. Vessie. Uretères. Capsules surrénales.

FORGUE. — Urètre et prostate.

RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.

TOME VIII. — 1 fort vol. avec figures dans le texte (Sous presse).

MICHAUX. — Vulve et vagin.

P. DELBET. — Maladies de l'utérus.

SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.

KIRMISSON. — Maladies des membres.

CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLET, P. BLOCQ, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE,
CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD,
L. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU
NETTER, OETTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUULT,
SOUQUES, THIBIERGE, THOINOT, FERNAND WIDAL.

Traité de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

BOUCHARD

Professeur de pathologie générale
à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

CONDITIONS DE PUBLICATION

Les matières contenues dans la deuxième édition du TRAITÉ DE MÉDECINE seront augmentées d'un cinquième environ. Pour la commodité du lecteur, cette édition formera dix volumes qui paraîtront successivement et à des intervalles rapprochés, de telle façon que l'ouvrage soit complet dans le courant de 1900. Chaque volume sera vendu séparément. Le prix de l'ouvrage est fixé dès à présent pour les souscripteurs jusqu'à la publication du Tome III, à 150 fr.

TOME I^{er}

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

Les Bactéries, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur de laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

TOME II

VIENT DE PARAÎTRE

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Fièvre typhoïde, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diphthérie**, par A. RUULT. — **Rhumatisme**, par OETTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

Pour paraître en mai

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

Maladies cutanées, par G. THIBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBIERGE. — **Pathologie du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

Traité de Microbiologie

PAR

E DUCLAU X

MEMBRE DE L'INSTITUT

PROFESSEUR A LA SORBONNE ET A L'INSTITUT AGRONOMIQUE

DIRECTEUR DE L'INSTITUT PASTEUR

7 volumes grand in-8° avec figures dans le texte.

VIENT DE PARAÎTRE .

TOME II*Diastases, Toxines et Venins*

1 fort volume grand in-8° avec figures dans le texte. **15 francs.**

..... Comme l'auteur l'avait annoncé, ce volume est consacré aux diastases, aux toxines et aux venins. C'est là une science toute nouvelle, qui a évolué progressivement depuis une vingtaine d'années et surtout pendant les dix dernières années; mais c'est en même temps une science extrêmement importante, car les diastases jouent un rôle capital dans les actions multiples du monde des ferments, auquel elles ne paraissent pas appartenir d'ailleurs, quoi qu'on les désigne parfois sous le nom de ferments non figurés. Leur nombre est très considérable; on peut presque dire, d'après M. Duclaux, qu'il égale celui des espèces microbiennes; celles qui sont connues aujourd'hui appartiennent à des familles dont les caractères sont très nets et précis.

Il ne saurait nous appartenir de suivre M. Duclaux dans l'exposé magistral qu'il fait du rôle des diastases; l'importance de ce rôle est indiquée dans cette phrase du savant auteur: « Les diastases nous apparaissent comme les agents essentiels du fonctionnement de nos tissus. A ce point de vue, elles ont détrôné la cellule. » Nous devons nous borner à exposer le plan du volume qui leur est consacré. Dans une première partie, M. Duclaux se livre à l'étude systématique des diastases: il en examine les diverses familles et leur mode particulier d'action; il étudie l'influence des agents extérieurs sur leur action; il montre leur influence notamment dans la coagulation, dans la saccharification, etc. La deuxième partie du volume est consacrée à l'étude particulière des diverses diastases que M. Duclaux examine séparément.

Quand nous aurons dit qu'au cours de l'ouvrage le savant directeur de l'Institut Pasteur indique les analogies et les différences qui existent entre les diastases et les toxines, celles-ci paraissant différer des premières surtout par leur rôle physiologique, nous aurons résumé brièvement les matières contenues dans ce nouveau volume. Mais on doit ajouter qu'on retrouve ici les qualités maîtresses de précision et de netteté qui caractérisent à un si haut degré les œuvres scientifiques de M. Duclaux.

(*Journal de l'Agriculture*, 17 décembre 1898.)

DÉJÀ PUBLIÉ :

Tome I. — **Microbiologie générale.** — 1 fort volume grand in-8°, avec figures dans le texte. **15 francs.**

Traité des OUVRAGE COMPLET
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 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. **90 fr.**

DIVISIONS DE L'OUVRAGE

TOME I. — 1 vol. in-8° de xvi-816 pages avec fig. dans le texte. **18 fr.**
 Physiologie et hygiène de l'enfance. — Considérations thérapeutiques sur les maladies de l'enfance. — Maladies infectieuses.

TOME II. — 1 vol. in-8° de 818 pages avec fig. dans le texte. **18 fr.**
 Maladies générales de la nutrition. — Maladies du tube digestif.

TOME III. — 1 vol. de 950 pages avec figures dans le texte. **20 fr.**
 Abdomen et annexes. — Appareil circulatoire. — Nez, larynx et annexes.

TOME IV. — 1 vol. de 880 pages avec figures dans le texte. **18 fr.**
 Maladies des bronches, du poumon, des plèvres, du médiastin. — Maladies du système nerveux.

TOME V. — 1 vol. de 890 pages avec figures dans le texte. **18 fr.**
 Organes des sens. — Maladies de la peau. — Maladies du fœtus et du nouveau-né. — Maladies chirurgicales des os, articulations, etc. —
 Table alphabétique des matières des 5 volumes.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

Traité de Thérapeutique chirurgicale

PAR

Emile FORGUE

Professeur de clinique chirurgicale
 à la Faculté de médecine de Montpellier,
 Membre correspondant
 de la Société de Chirurgie,
 Chirurgien en chef de l'hôpital St-Eloi,
 Médecin-major hors cadre.

Paul RECLUS

Professeur agrégé
 à la Faculté de médecine de Paris,
 Chirurgien de l'hôpital Laënnec,
 Secrétaire général
 de la Société de Chirurgie,
 Membre de l'Académie de médecine.

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

AVEC 472 FIGURES DANS LE TEXTE

2 volumes grand in-8° de 2116 pages

34 fr.

Bibliothèque

d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,
Inspecteur général des Services sanitaires.

*Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges
et est vendu séparément : 4 fr.*

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

L'hygiène thérapeutique s'appuie directement sur la pathogénie ; elle doit en être la conclusion logique et naturelle. La genèse des maladies sera donc étudiée tout d'abord. On se préoccupera moins d'être absolument complet que d'être clair. On ne cherchera pas à tracer un historique savant, à faire preuve de brillante érudition, à encombrer le texte de citations bibliographiques. On s'efforcera de n'exposer que les données importantes de pathogénie et d'hygiène thérapeutique et à les mettre en lumière.

VOLUMES PARUS

- L'Hygiène du Goutteux**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène de l'Obèse**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène des Asthmatiques**, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
- L'Hygiène du Syphilitique**, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.
- Hygiène et thérapeutique thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- Les Cures thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des Hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène du Neurasthénique**, par le professeur PROUST et G. BALLEZ, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le Dr SPRINGER, ancien interne des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.
- L'Hygiène du Tuberculeux**, par le Dr CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du Dr DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le Dr CRUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANNE-LONGUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le Dr VAQUEZ, médecin des hôpitaux de Paris.
- Hygiène du Diabétique**, par A. PROUST et A. MATHIEU.

VOLUMES EN PRÉPARATION

- L'Hygiène des Dyspeptiques**, par le Dr LINOSSIER.
- Hygiène thérapeutique des maladies de la peau**, par le Dr THIBIERGE

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL

D^r CRITZMAN, directeur

Suite de Monographies cliniques

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

La science médicale réalise journellement des progrès incessants; les questions et découvertes vieillissent pour ainsi dire au moment même de leur éclosion. Les traités de médecine et de chirurgie, quelque rapides que soient leurs différentes éditions, auront toujours grand'peine à se tenir au courant.

C'est pour obvier à ce grave inconvénient, auquel les journaux, malgré la diversité de leurs matières, ne sauraient remédier, que nous avons fondé, avec le concours des savants et des praticiens les plus autorisés, un recueil de Monographies dont le titre général, *l'Œuvre médico-chirurgical*, nous paraît bien indiquer le but et la portée.

Nous publions, aussi souvent qu'il est nécessaire, des fascicules de 30 à 40 pages dont chacun résume et met au point une question médicale à l'ordre du jour, et cela de telle sorte qu'aucune ne puisse être omise au moment opportun.

CONDITIONS DE LA PUBLICATION

Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix à forfait et payable d'avance de 10 francs pour la France et 12 francs pour l'étranger (port compris).

MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N^o 1. **L'Appendicite**, par le D^r FÉLIX LEGUEU, chirurgien des hôpitaux.
 N^o 2. **Le Traitement du mal de Pott**, par le D^r A. CHIPAULT, de Paris.
 N^o 3. **Le Lavage du Sang**, par le D^r LEJARS, professeur agrégé, chirurgien des hôpitaux, membre de la Société de chirurgie.
 N^o 4. **L'Hérédité normale et pathologique**, par le D^r CH. DEBIERRE, professeur d'anatomie à l'Université de Lille.
 N^o 5. **L'Alcoolisme**, par le D^r JAQUET, privat-docent à l'Université de Bâle.
 N^o 6. **Physiologie et pathologie des sécrétions gastriques**, par le D^r A. VERHAEGEN, assistant à la Clinique médicale de Louvain.
 N^o 7. **L'Eczéma**, par le D^r LEREDDE, chef de laboratoire, assistant de consultation à l'hôpital Saint-Louis.
 N^o 8. **La Fièvre jaune**, par le D^r SANARELLI, directeur de l'Institut d'hygiène expérimentale de Montévidéo.
 N^o 9. **La Tuberculose du rein**, par le D^r TUFFIER, professeur agrégé, chirurgien de l'hôpital de la Pitié.
 N^o 10. **L'Opothérapie. Traitement de certaines maladies par des extraits d'organes animaux**, par A. GILBERT, professeur agrégé, chef du laboratoire de thérapeutique à la Faculté de médecine de Paris, et P. CARNOT, docteur ès sciences, ancien interne des hôpitaux de Paris.
 N^o 11. **Les Paralysies générales progressives**, par le D^r KLIPPEL, médecin des hôpitaux de Paris.
 N^o 12. **Le Myxœdème**, par le D^r THIBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié.
 N^o 13. **La Néphrite des Saturnins**, par le D^r H. LAVRAND, professeur à la Faculté catholique de Lille.
 N^o 14. **Le Traitement de la Syphilis**, par le D^r E. GAUCHER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
 N^o 15. **Le Pronostic des tumeurs basé sur la recherche du glycogène**, par le D^r A. BRAULT, médecin de l'hôpital Tenon.
 N^o 16. **La Kinésithérapie gynécologique** (*Traitement des maladies des femmes par le massage et la gymnastique*), par le D^r H. STAFFER, ancien chef de clinique de la Faculté de Paris.

Les maladies microbiennes des Animaux, par Ed. NOCARD, professeur à l'École d'Alfort, membre de l'Académie de médecine, et E. LECLAINCHE, professeur à l'École vétérinaire de Toulouse. *Deuxième édition, entièrement refondue.* 1 fort volume grand in-8° 16 fr.

Traité des maladies chirurgicales d'origine congénitale, par le Dr E. KIRMISSON, professeur agrégé à la Faculté de médecine, chirurgien de l'Hôpital Trousseau, membre de la Société de Chirurgie. 1 volume grand in-8° avec 311 figures dans le texte et 2 planches en couleurs. . . . 15 fr.

Recherches anatomiques et cliniques sur le glaucome et les néoplasmes intra-oculaires, par Ph. PANAS, professeur de clinique ophtalmologique à la Faculté de médecine, chirurgien de l'Hôtel-Dieu, membre de l'Académie de médecine, et le Dr ROCHON-DUVIGNEAUD, ancien chef de clinique de la Faculté. 1 volume in-8° avec 41 figures dans le texte 7 fr.

Traité d'Ophtalmoscopie, par Étienne ROLLET, professeur agrégé à la Faculté de médecine, chirurgien des hôpitaux de Lyon. 1 volume in-8° avec 50 photographies en couleurs et 75 figures dans le texte, cartonné toile, tranches rouges. . . . 9 fr.

Cliniques chirurgicales de l'Hôtel-Dieu, par Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine, chirurgien de l'Hôtel-Dieu, recueillies et publiées par les Drs Maurice CAZIN, chef de clinique chirurgicale à l'Hôtel-Dieu, et S. CLADO, chef des travaux gynécologiques. *Deuxième série.* 1 volume grand in-8° avec figures 8 fr.

Consultations médicales sur quelques maladies fréquentes. *Quatrième édition, revue et considérablement augmentée, suivie de quelques principes de Déontologie médicale et précédée de quelques règles pour l'examen des malades,* par le Dr J. GRASSET, professeur de clinique médicale à l'Université de Montpellier, correspondant de l'Académie de médecine. 1 volume in-16, reliure souple, peau pleine. 4 fr. 50

Chirurgie opératoire de l'Oreille moyenne, par A. BROCA, chirurgien de l'hôpital Trousseau, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. 1 volume in-8° avec 98 figures dans le texte . 3 fr. 50

BRISSAUD (E.), professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

Leçons sur les maladies nerveuses; deuxième série; hôpital Saint-Antoine, recueillies par Henry MEIGE. 1 vol. gr. in-8° avec 165 figures dans le texte **15 fr.**

DIEULAFOY (G.), professeur de clinique médicale à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'Hôtel-Dieu, membre de l'Académie de médecine.

Clinique médicale de l'Hôtel-Dieu (1896-1897). 1 vol. grand in-8°, avec figures dans le texte et 1 planche hors texte **10 fr.**

Clinique médicale de l'Hôtel-Dieu (1897-1898). 1 vol. grand in-8°, avec figures dans le texte. **10 fr.**

PONCET (A.), professeur de clinique chirurgicale à la Faculté de médecine de Lyon, chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu, et **L. BERARD**, chef de clinique à la Faculté de médecine de Lyon, ancien interne des hôpitaux.

Traité clinique de l'actinomycose humaine, des pseudo-actinomycoses et de la botryomycose. 4 vol. in-8°, avec 45 figures dans le texte et 4 planches hors texte en couleurs. **12 fr.**

CHARRIN (A.), professeur remplaçant au Collège de France, directeur du laboratoire de médecine expérimentale (Hautes-Études), ancien vice-président de la Société de Biologie, médecin des hôpitaux.

Les défenses naturelles de l'organisme; leçons professées au Collège de France. 1 vol. in-8°. **6 fr.**

PANAS (Ph.), professeur de clinique ophtalmologique à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien de l'Hôtel-Dieu, membre de l'Académie de médecine.

Leçons de clinique ophtalmologique professées à l'Hôtel-Dieu, recueillies et publiées par le Dr A. CASTAN, de Béziers. 1 vol. in-8° avec figures dans le texte **5 fr.**

FLOQUET (Dr Ch.), licencié en droit, médecin en chef du Palais de Justice et du Tribunal de Commerce de Paris.

Code pratique des honoraires médicaux, ouvrage indispensable aux Médecins, Sages-Femmes, Chirurgiens, Dentistes, Pharmaciens, Étudiants, avec une préface de M. BROUARDEL, doyen de la Faculté de médecine de Paris. 2 vol. petit in-8° **10 fr.**

Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

P. POIRIER

Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien des Hôpitaux.

A. CHARPY

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine
de Toulouse.

PAR MM.

A. CHARPY

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Toulouse.

A. NICOLAS

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Nancy.

A. PRENANT

Professeur d'histologie
à la Faculté de Nancy.

P. POIRIER

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine
de Paris
Chirurgien des hôpitaux.

P. JACQUES

Professeur agrégé
à la Faculté de Nancy
Chef des travaux
anatomiques.

RIEFFEL

Chef des travaux anatomi-
ques à la Faculté
de Médecine de Paris
Chirurgien des hôpitaux.

M. Poirier s'est associé, pour la direction de cette importante publication, son ami et collaborateur M. le professeur A. CHARPY. En réunissant leurs efforts, les deux directeurs pourront hâter l'achèvement de l'ouvrage et le mener à bonne fin dans le courant de l'année 1899.

ÉTAT DE LA PUBLICATION AU 1^{er} AVRIL 1899

TOME PREMIER

Embryologie; Ostéologie; Arthrologie. *Deuxième édition.* Un volume grand in-8° avec 807 figures en noir et en couleurs 20 fr.

TOME DEUXIÈME

- 1^{er} Fascicule : **Myologie.** Un volume grand in-8° avec 312 figures. 12 fr.
2^e Fascicule : **Angéiologie (Cœur et Artères).** Un volume grand in-8° avec 145 figures en noir et en couleurs 8 fr.
3^o Fascicule : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** Un volume grand in-8° avec 75 figures en noir et en couleurs 6 fr.

TOME TROISIÈME

- 1^{er} Fascicule : **Système nerveux (Méninges, Moelle, Encéphale).** 1 vol. grand in-8° avec 201 figures en noir et en couleurs 40 fr.
2^e Fascicule : **Système nerveux (Encéphale).** Un vol. grand-in-8° avec 206 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

TOME QUATRIÈME

- 1^{er} Fascicule : **Tubé digestif.** Un volume grand in-8°, avec 158 figures en noir et en couleurs 12 fr.
2^e Fascicule : **Appareil respiratoire; Larynx, trachée, poumons, plèvres, thyroïde, thymus.** Un volume grand in-8°, avec 121 figures en noir et en couleurs. 6 fr.

IL RESTE A PUBLIER :

- Un fascicule du tome II (Lymphatiques);
Un fascicule du tome III (Nerfs périphériques. Organes des sens);
Un fascicule du tome IV (Organes génito-urinaires).

PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

Recettes et Procédés utiles, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. *Neuvième édition*.

Recettes et Procédés utiles. Deuxième série : La Science pratique, par Gaston TISSANDIER. *Cinquième édition*, avec figures dans le texte.

Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques. Troisième série, par Gaston TISSANDIER. *Troisième édition*, avec 91 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Quatrième série, par Gaston TISSANDIER. *Deuxième édition*, avec 38 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Cinquième série, par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. Avec figures dans le texte.

Chacun de ces volumes in-18 est vendu séparément

Broché 2 fr. 25 | Cartonné toile 3 fr.

La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire, par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. *Septième édition des Récréations scientifiques. Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon)*. Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

Dictionnaire usuel des Sciences médicales

PAR MM.

DECHAMBRE, MATHIAS DUVAL, LEREBoulLET

Membres de l'Académie de médecine.

TROISIÈME ÉDITION, REVUE ET COMPLÉTÉE

1 vol. gr. in-8° de 1.800 pages, avec 450 fig., relié toile. 25 fr.

Ce dictionnaire usuel s'adresse à la fois aux médecins et aux gens du monde. Les premiers y trouveront aisément, à propos de chaque maladie, l'exposé de tout ce qu'il est essentiel de connaître pour assurer, dans les cas difficiles, un diagnostic précis. Les gens du monde se familiariseront avec les noms souvent barbares que l'on donne aux symptômes morbides et aux remèdes employés pour les combattre. En attendant le médecin, ils pourront parer aux premiers accidents, et, en cas d'urgence, assurer les premiers secours.

VIENT DE PARAÎTRE

L'Anatomie comparée des Animaux

BASÉE SUR L'EMBRYOLOGIE

Par **LOUIS ROULE**LAURÉAT DE L'INSTITUT (Grand Prix des Sciences Physiques),
PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE (Faculté des Sciences).*Deux volumes grand in-8° de xxvi-1.970 pages
avec 1.202 figures dans le texte.*

48 fr.

Ce traité ne s'adresse pas seulement aux étudiants désireux d'avoir un guide en anatomie. Il est de portée plus haute. Par sa méthode de rigoureuse logique, par son esprit de synthèse, il mérite d'intéresser les personnes qui, de près ou de loin, s'attachent aux sciences biologiques, soit pour elles-mêmes, soit pour leurs applications, soit pour leurs conséquences philosophiques.

L'ouvrage comprend deux volumes, et compte 1.970 pages. Il est divisé en seize chapitres, dont chacun renferme l'étude anatomique d'un embranchement déterminé. Les chapitres varient, dans leur étendue, suivant l'importance des embranchements; certains se réduisent à quelques pages; d'autres, celui des *Vertébrés*, par exemple, en mesurent près de six cents, et constituent autant de traités spéciaux. Les figures, nouvelles pour la plupart, sont nombreuses, et fort soignées; rien n'a été omis pour les rendre des plus artistiques, sans ôter à leur valeur scientifique ni à leur simplicité.

VIENT DE PARAÎTRE

Cours de Minéralogie

Par **A. de LAPPARENT**Membre de l'Institut,
Professeur à l'École libre des Hautes-Études.**TROISIÈME ÉDITION, revue et corrigée.***1 volume grand in-8. de xx-703 pages avec 619 figures dans le texte
et une planche hors texte chromolithographiée. 15 fr.*

La troisième édition du *Cours de Minéralogie* se distingue par une révision complète de la partie descriptive, enrichie d'une vingtaine de figures nouvelles et mise au courant de tous les derniers progrès de la science.

Pour la première fois, l'auteur a introduit dans son *Cours* le *Recueil d'indications pratiques* qu'il avait rédigé en vue de son *Précis de Minéralogie* et qui, pour la circonstance, a été refondu et notablement agrandi, de façon à pouvoir suffire à tous les besoins des étudiants. Enfin, le *Lexique alphabétique* des noms d'espèces et de variétés a subi un remaniement total. Ce lexique se recommande particulièrement à tous ceux qui, ne disposant pas d'un manuel très détaillé, veulent connaître rapidement la signification de l'un des trop nombreux termes dont la minéralogie s'est peu à peu enrichie.

On jugera du progrès survenu dans l'œuvre, depuis la première édition, publiée à la fin de 1883, si l'on remarque que l'ouvrage, contrôlé avec le plus grand soin en ce qui concerne les indications numériques, s'est accru de plus de cent quarante pages et de cent dessins.

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 1.650 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, *fabriqués spécialement pour l'ouvrage.*

Chimie

des Matières colorantes

PAR

A. SEYEWETZ

Chef des travaux
à l'École de chimie industrielle de Lyon

P. SISLEY

Chimiste - Coloriste

1 volume grand in-8° de 822 pages.

30 fr.

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.

VIENT DE PARAÎTRE

Traité d'Analyse chimique

QUANTITATIVE PAR ÉLECTROLYSE

PAR

J. RIBAN

Professeur chargé du cours d'analyse chimique
et maître de conférences à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.

1 vol. grand in-8°, avec 96 figures dans le texte. 9 fr.

L'analyse quantitative par électrolyse acquiert chaque jour une plus grande importance dans les laboratoires consacrés à la science ou aux essais industriels. Ses méthodes ont très heureusement simplifié bien des problèmes délicats et introduit dans les dosages ordinaires, tout en conservant l'exactitude indispensable, une grande rapidité d'exécution.

Le livre que l'auteur présente aujourd'hui sur ce sujet n'est que le développement d'une portion du cours d'analyse quantitative qu'il professe depuis bien des années à la Faculté des sciences de l'Université de Paris. Il a pour but, non seulement d'initier le lecteur à l'analyse chimique par électrolyse, mais encore de lui servir de guide dans ses applications journalières.

Tenu au courant des derniers progrès accomplis, il résume l'état actuel de la science sur la question qui en fait l'objet.

Cet ouvrage est divisé en quatre parties :

La première partie est consacrée aux notions préliminaires de physique les plus indispensables au chimiste qui veut aborder avec fruit l'étude et la pratique de l'analyse électrolytique : définitions, généralités, lois, sources d'électricité, appareils de mesure, leur maniement et leur contrôle, appareils d'électrolyse, etc... Ces notions, exposées en vue de la pratique, sont mises sous une forme élémentaire à la portée de tous.

La deuxième partie traite du dosage individuel des métaux et des métalloïdes par électrolyse.

La troisième, de la séparation des métaux par le même moyen.

La quatrième, enfin, n'est qu'un recueil d'exemples et de marches à suivre dans les analyses complexes en général, et plus particulièrement dans les analyses des produits industriels et des minerais.

De nombreux tableaux numériques, pour les mesures ou les calculs relatifs à l'électrolyse, terminent l'ouvrage.

VIENT DE PARAÎTRE

Manuel pratique de l'Analyse des Alcools ET DES SPIRITUEUX

PAR

Charles GIRARDDirecteur du Laboratoire municipal
de la Ville de Paris.**Lucien CUNIASSE**Chimiste-expert
de la Ville de Paris.*1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile.*

Ce nouveau manuel pratique de l'analyse des alcools et des spiritueux forme un recueil dans lequel les nombreux procédés analytiques qui intéressent les produits alcooliques se trouvent condensés sous une forme brève et exacte, dans le but d'éviter les recherches au chimiste praticien.

Au début du livre, les auteurs divulguent les secrets de la dégustation ; ils passent ensuite en revue les différentes méthodes et les appareils proposés pour le dosage direct de l'alcool. La méthode de distillation est décrite avec soins, en indiquant les précautions à prendre afin d'éviter les causes d'erreurs et d'unifier les résultats obtenus. De nombreuses tables très complètes accompagnent les différents chapitres. Les méthodes d'analyse des spiritueux sont exposées de façon à pouvoir être mises en œuvre pratiquement, et presque sans raisonnement ; ces méthodes sont données avec les dernières modifications qui ont pu leur être apportées. Des tables et des courbes inédites, rigoureusement exactes, accompagnent les méthodes. Enfin des tableaux représentant les résultats de l'analyse d'un grand nombre d'échantillons en spiritueux terminent l'ouvrage.

VIENT DE PARAÎTRE

Cent vingt Exercices de Chimie pratique

Décrits d'après les textes originaux et les notes de laboratoire
et choisis pour former les chimistes

PAR

Armand GAUTIERMembre de l'Institut,
Professeur à la Faculté de médecine.**J. ALBAHARY**Doct. Phil. des Laboratoires
de E. Fischer et A. Gautier.*1 volume in-16, avec figures dans le texte. Relié toile.***3 fr.**

Ce petit ouvrage a pour but de former au métier de chimiste ceux qui ont déjà quelque habitude du laboratoire. Il consiste en une suite de préparations, ou exercices, empruntés aux diverses branches de la science. Mais ces exercices, toujours décrits avec détail d'après les textes des auteurs originaux ou la pratique du laboratoire, sont suffisamment précisés pour que l'élève puisse les exécuter pour ainsi dire sans maître, et leur choix est tel qu'il permet d'aborder successivement les sujets les plus intéressants et les plus délicats de la chimie minérale, organique et biologique.

Ce livre est à la fois un guide de laboratoire et un éducateur méthodique. En le suivant pas à pas, un bon étudiant peut facilement, en une année, se former comme chimiste praticien, et prendre une idée très complète des principales synthèses de la chimie, des méthodes qu'elle met en œuvre, et de l'analyse immédiate.

La Photographie Française

REVUE MENSUELLE ILLUSTRÉE

*des Applications de la Photographie à la Science, à l'Art
et à l'Industrie.*

Louis GASTINE, DIRECTEUR

TIRÉE sur beau papier de luxe, abondamment illustrée de magnifiques phototypies et de simili-gravures hors texte, ainsi que d'une foule de reproductions de tous genres intercalées dans le texte, **La PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE** est le journal **le plus lu et le moins cher** de tous les véritables journaux de photographie.

C'est un organe *absolument indépendant*, ouvert à toutes les communications intéressantes et fait dans un esprit absolument libéral pour contribuer au progrès de la photographie de la façon la plus élevée.

La PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE peut être mise dans toutes les mains. En dehors de ses chroniques d'actualité illustrées, **La PHOTOGRAPHIE FRANÇAISE** publie des articles de fond sur toutes les plus récentes applications de la photographie à la science, à l'art et à l'industrie; des **relations de voyage**, des **nouvelles** et des **romans** illustrés par la photographie. — Elle rend compte de toutes les nouvelles créations d'appareils et de produits photographiques. — Elle signale tous les procédés, les nouvelles recettes, les nouvelles formules, les nouveaux brevets photographiques et publie dans ses *Echos* toutes les informations capables, à un titre quelconque, d'intéresser ceux qui s'occupent de photographie. Chaque numéro contient une **Revue** de tous les journaux de photographies. — Enfin, elle mentionne tous les *Concours*, les *Expositions*, les *excursions*, *Congrès* et *Conférences* photographiques ainsi que les travaux des Sociétés françaises et étrangères, sans préjudice des articles qu'elle consacre à la vulgarisation des innombrables applications de la photographie par de véritables traités pratiques sur tous les travaux spéciaux de cet art.

C'est un journal technique, mais rédigé de façon à être compris par les lecteurs les plus étrangers aux choses photographiques et dont la lecture est **très attrayante** parce que chaque numéro contient une part considérable de *Variétés littéraires, artistiques, industrielles et scientifiques* que tout le monde peut apprécier.

ABONNEMENTS :

UN AN. — PARIS, 6 fr. 50. — PROVINCE, 7 fr. — ÉTRANGER, 8 fr.

Prix spéciaux pour les abonnés de LA NATURE

Paris : 5 fr. — Départ. : 5 fr. 50. — Étranger : 7 fr.

Envoi de numéros spécimens à toute personne qui en fait la demande.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS.

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

ŒUVRES MATHÉMATIQUES
DE RIEMANN,

TRADUITES

Par **L. LAUGEL,**

Avec une préface de M. HERMITE et un discours de M. Félix KLEIN.

Un beau volume grand in-8, avec figures; 1898..... 14 fr,

TRAITÉ
D'ALGÈBRE SUPÉRIEURE

Par **Henri WEBER,**

Professeur de Mathématiques à l'Université de Strasbourg.

Traduit de l'allemand sur la deuxième édition

Par **J. GRIESS,**

Ancien Élève de l'École Normale Supérieure,
Professeur de Mathématiques au Lycée Charlemagne.

PRINCIPES. — RACINES DES ÉQUATIONS.
GRANDEURS ALGÈBRIQUES. — THÉORIE DE GALOIS.

Un beau volume grand in-8 de XII-764 pages; 1898..... 22 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LES MÉTHODES NOUVELLES
DE LA
MÉCANIQUE CÉLESTE,

Par H. POINCARÉ,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences,

TROIS BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Solutions périodiques. Non-existence des intégrales uniformes. Solutions asymptotiques 1892..... 12 fr.

TOME II : Méthodes de MM. Newcomb, Gylden, Lindstedt et Bohlin; 1894. 14 fr.

TOME III : Invariants intégraux. Stabilité. Solutions périodiques du deuxième genre. Solutions doublement asymptotiques; 1898..... 13 fr.

LEÇONS

SUR LA

THÉORIE DES MARÉES,

PROFESSÉES AU COLLÈGE DE FRANCE

Par Maurice LÉVY,

Membre de l'Institut, Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
Professeur au Collège de France.

DEUX BEAUX VOLUMES IN-4, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I^{re} PARTIE : Théories élémentaires. Formules pratiques de la prévision des marées, avec figures; 1898..... 14 fr.

II^e PARTIE : Théorie de Laplace. Marées terrestres..... (En préparation.)

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^{re} PARTIE : Principes généraux; 1894..... 13 fr.

II^e PARTIE : Étude monographique des principales fonctions d'une variable; 1895..... 14 fr.

III^e PARTIE : Questions analytiques classiques; 1897..... 6 fr.

IV^e PARTIE : Applications géométriques classiques; 1898..... 7 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES
SUR LA THÉORIE DES FORMES

ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES,
A L'USAGE DES CANDIDATS A L'AGRÉGATION DES SCIENCES MATHÉMATIQUES.

Par **H. ANDOYER**,
Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris.

UN VOLUME IN-4 DE VI-184 PAGES, AUTOGRAPHIÉ; 1898. .. 8 FR.

COURS DE PHYSIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AUX ÉCOLES SPÉCIALES
(conforme aux derniers programmes),

PAR

James CHAPPUIS,
Agrégé Docteur ès Sciences,
Professeur de Physique générale
à l'École Centrale
des Arts et Manufactures.

Alphonse BERGET,
Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des recherches
physiques à la Sorbonne.

UN BEAU VOLUME, GRAND IN-8 (25^{cm} × 16^{cm}) DE IV-697 PAGES,
AVEC 465 FIGURES.

Broché..... 14 fr. | Relié cuir souple..... 17 fr.

DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE,
PAR COURANTS POLYPHASÉS,

Par **J. RODET**,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

Un volume in-8 de VIII-338 pages, avec figures; 1898..... 8 fr.

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES
D'ACOUSTIQUE ET D'OPTIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AU CERTIFICAT D'ÉTUDES PHYSIQUES,
CHIMIQUES ET NATURELLES (P. C. N.).

Par **Ch. FABRY**,
Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille.

Un volume in-8, avec 205 figures; 1898..... 7 fr. 50 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS

SUR LA

DÉTERMINATION DES ORBITES

PROFESSÉES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS,

Par **F. TISSERAND**,

Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes.

RÉDIGÉES ET DÉVELOPPÉES POUR LES CALCULS NUMÉRIQUES,

Par **J. PERCHOT**,

Docteur ès Sciences. Astronome-adjoint à l'Observatoire.

AVEC UNE PRÉFACE DE **H. POINCARÉ**, membre de l'Institut.

UN VOLUME IN-4, AVEC FIGURES: 1899.. 6 FR. 50 C.

COURS DE GÉOMÉTRIE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

LEÇONS SUR LA THÉORIE GÉNÉRALE DES

SURFACES

ET LES

APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES DU CALCUL INFINITÉSIMAL

Par **G. DARBOUX**,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

4 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

I^{re} PARTIE : Généralités. Coordonnées curvilignes. Surfaces minima ; 1887.. 15 fr.

II^e PARTIE : Les congruences et les équations linéaires aux dérivées partielles.
Des lignes tracées sur les surfaces ; 1889..... 15 fr.

III^e PARTIE : Lignes géodésiques et courbure géodésique.— Paramètres différentiels.
— Déformation des surfaces ; 1894..... 15 fr.

IV^e PARTIE : Déformation infiniment petite et représentation sphérique ; 1896. 15 fr.

LEÇONS SUR LES

SYSTÈMES ORTHOGONAUX

ET LES COORDONNÉES CURVILIGNES,

Par **G. DARBOUX**,

Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de VI-338 pages ; 1898..... 10 fr.

TOME II..... (*Sous presse.*)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

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^o fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.
- (*) 2^o fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches.. 5 fr.
- 3^o 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^o fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches..... 4 fr.
- 3^o 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^o 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^o fascicules; Tome III, 2^o fascicule.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

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 viennent 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.

2^e SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY..... (*Sous presse.*)

RECHERCHES

SUR

LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES,

PAR

Le colonel A. LAUSSEDAT,

Membre de l'Institut,

Directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers.

DEUX BEAUX VOLUMES IN-8, AVEC NOMBREUSES FIGURES ET PLANCHES,
SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Aperçu historique sur les instruments et les méthodes. La Topographie dans tous les temps. Volume de XI-450 pages, avec 145 fig. et 14 pl.; 1899.. 15 fr.

TOME II : Méthode des perspectives..... (*En préparation.*)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE
DE
MÉTÉOROLOGIE

Par Alfred ANGOT,

Météorologiste titulaire au Bureau Central météorologique,
Professeur à l'Institut national agronomique et à l'École supérieure
de Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 103 FIG. ET 4 PL. ; 1899. 12 FR.

LEÇONS
SUR LA
THÉORIE DES FONCTIONS

EXPOSÉ DES ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES ENSEMBLES
AVEC DES APPLICATIONS A LA THÉORIE DES FONCTIONS;

Par Émile BOREL,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

Un volume grand in-8; 1898 3 fr. 50 c.

LES RECETTES DU DISTILLATEUR

Par Ed. FIERZ,

Liquoriste.

In-18 jésus de vi-150 pages; 1899..... 2 fr. 75 c.

HISTOIRE
-DE
L'ARCHITECTURE

Par Auguste CHOISY.

Deux beaux volumes grand in-8 de 644 pages et 800 pages, avec 866 fig. ; 1899. 40 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ D'ASTRONOMIE STELLAIRE

Par **CH. ANDRÉ,**

Directeur de l'Observatoire de Lyon, Professeur d'Astronomie
à l'Université de Lyon.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- I^o PARTIE : Étoiles simples, avec 29 figures et 2 planches; 1899..... 9 fr.
II^o PARTIE : Étoiles doubles et multiples..... (*Sous presse.*)
III^o PARTIE : Photométrie, Photographie. Spectroscopie..... (*En préparation.*)

MANUEL DE L'EXPLORATEUR

PROCÉDÉS DE LEVERS RAPIDES ET DE DÉTAILS
DÉTERMINATION ASTRONOMIQUE DES POSITIONS GÉOGRAPHIQUES,

PAR

E. BLIM,
Ingénieur-chef du service
des Ponts et Chaussées de Cochinchine.

M. ROLLET DE L'ISLE,
Ingénieur hydrographe
de la Marine.

UN VOLUME IN-18 JÉSUS, AVEC 90 FIGURES MODÈLES D'OBSERVATIONS
OU DE CARNETS DE LEVERS; CARTONNAGE SOUPLE; 1899.. 5 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,
Maître de Conférences à l'Université
de Nancy.

UN BEAU VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1897..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

ALHEILIG,
Ingénieur de la Marine.

Camille ROCHE,
Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : Thermodynamique. Puissance des machines, diagrammes et formules. Indicateurs. Organes. Régulation. Épures. Distribution et changement de marche. Alimentation etc. ; XI-604 pages, avec 412 figures ; 1895..... **20 fr.**

TOME II : Volants régulateurs. Classification des machines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints. Montage et essais. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction ; IV-560 pages, avec 281 figures ; 1895. **18 fr.**

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,
Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

A. PULIN,
Ing^r Insp^r pal aux 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.**

INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,

Par **Lucien GESCHWIND,** Ingénieur-Chimiste.

Un volume grand in-8, de viii-364 pages, avec 195 figures ; 1899 (E. I.). **10 fr.**

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **M. C. BRICKA,**

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX 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.

DEUX 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. Serres 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

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.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **M. A. CRONEAU,**

Ingénieur de la Marine,
Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.).

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de na-
vires. — 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° doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouver-
tures 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 con-
trôle 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

RÉSUMÉ DU COURS
DE
MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVÉS

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Par M. HIRSCH,
Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

DEUXIÈME ÉDITION.

Un volume grand in-8 de 510 pages avec 314 fig. (E. T. P.)... 20 fr.

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 FIGURES ET 28 CARTES DANS LE TEXTE; 1895 (E. I.)... 12 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.

DEUX 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-métalliques. Matières albuminoïdes. Fermentations. Conservation des matières alimentaires. Volume de 718 pages, avec figures; 1896..... 15 fr.

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par H. LORENZ,
Ingénieur, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR.

P. PETIT,
Professeur à la Faculté des Sciences
de Nancy,
Directeur de l'École de Brasserie.

PAR

J. JAQUET,
Ingénieur civil,

Un volume de ix-186 pages, avec 131 figures; 1898..... 7 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par **M. G. LECHALAS**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.).

TOME I; 1899; 20 fr. — TOME II (1^{re} partie; 1893): 10 fr. 2^e partie; 1898; 10 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **M. Maurice D'OCAGNE**,

Ingr et Prof^r à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.). 12 FR.

LES ASSOCIATIONS OUVRIÈRES

ET LES ASSOCIATIONS PATRONALES,

Par **P. HUBERT-VALLEROUX**,

Avocat à la Cour de Paris, Docteur en Droit.

GRAND IN-8 DE 361 PAGES; 1899 (E. I.). 10 FR.

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. Fournier, 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.

PETITS CLICHÉS ET GRANDES ÉPREUVES.

GUIDE PHOTOGRAPHIQUE DU TOURISTE CYCLISTE.

Par Jean BERNARD et L. TOUCHEBEUF.

In-18 jésus; 1898. 2 fr. 75 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES AU CHARBON,

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE.)

Par R. COLSON, Capitaine du Génie, Répétiteur
à l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8; 1898..... 2 fr. 75 c.

LA RETOUCHE DU CLICHÉ.

Retouche chimique, physique et artistique.

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus; 1898..... 1 fr. 50 c.

LE PORTRAIT EN PLEIN AIR.

Par A. COURRÈGES.

In-18 jésus, avec figures et 1 planche en photocollographie; 1898..... 2 fr. 50 c.

LA PRATIQUE DE LA PHOTOTYPOGRAVURE AMÉRICAINE.

Par Wilhelm CRONENBERG. — Traduit par C. FÉRY.

In-18, avec 66 figures et 13 planches; 1898..... 3 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE.

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens... 32 fr.

Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

Un Supplément, mettant cet important Ouvrage au courant des derniers travaux, est en préparation.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par 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 viennent 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.

2^e Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble..... 72 fr.

LA PRATIQUE DES PROJECTIONS.

Étude méthodique des appareils. Les accessoires. Usages et applications diverses des projections. Conduite des séances;

Par H. FOURTIER.

Deux volumes 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 r. 75 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ DE PHOTOGRAPHIE INDUSTRIELLE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Ch. FÉRY et A. BURAI.

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 H. FOURTIER, P. BOURGEOIS et M. BUCQUET.

Première Série; 1892..... 4 fr.

Deuxième Série; 1894..... 3 fr. 50 c.

CHIMIE PHOTOGRAPHIQUE A L'USAGE DES DÉBUTANTS.

Par R.-Ed. LIESEGANG.

Traduit de l'allemand et annoté par le Professeur J. MAUPEIRAL.

In-18 jésus, avec figures; 1898..... 3 fr. 50 c.

**LE DÉVELOPPEMENT DES PAPIERS PHOTOGRAPHIQUES
A NOIRCISSEMENT DIRECT.**

Par R.-Ed. LIESEGANG. — Traduit de l'allemand
par V. HASSREIDTER.

In-18 jésus; 1898..... 1 fr 75 c.

**TRAITÉ PRATIQUE DE RADIOGRAPHIE
ET DE RADIOSCOPIE.**

TECHNIQUE ET APPLICATIONS MÉDICALES.

Par Albert LONDE,

Directeur du Service photographique et radiographique à la Salpêtrière,
Lauréat de l'Académie de Médecine, de la Faculté de Médecine de Paris,
Officier de l'Instruction publique.

Un beau volume grand in-8, avec 113 figures; 1899..... 7 fr.

LA PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE,

THÉORIE ET PRATIQUE,

Par Albert LONDE.

3^e édition, entièrement refondue. In-18 jésus, avec figures; 1897. 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE DU DÉVELOPPEMENT.

**ÉTUDE RAISONNÉE DES DIVERS RÉVÉLATEURS ET DE LEUR MODE
D'EMPLOI.**

Par Albert LONDE.

3^e édition. In-18 jésus, avec figures; 1898..... 2 fr. 75 c.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

L'OPTIQUE PHOTOGRAPHIQUE.

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.
(COURS PROFESSÉ A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE).

Par P. MOESSARD.

Grand in-8, avec nombreuses figures; 1898..... 4 fr.

LES ÉLÉMENTS D'UNE PHOTOGRAPHIE ARTISTIQUE,

Par H.-P. ROBINSON.

Traduit de l'anglais par H. COLARD.

Grand in-8, avec 38 figures d'après des clichés de l'auteur et 1 planche; 1898.. 4 fr.

MANUEL PRATIQUE D'HÉLIOGRAVURE EN TAILLE-DOUCE,

Par M. SCHILTZ,

Un volume in-18 jésus; 1899..... 1 fr. 75 c.

LE DÉVELOPPEMENT DE L'IMAGE LATENTE EN PHOTOGRAPHIE

Par A. SEYEWETZ,

Sous-Directeur et chef des travaux à l'École de Chimie industrielle
de Lyon.

Un volume in-18 jésus; 1899..... 2 fr. 75 c.

LA PHOTOGRAPHIE ANIMÉE,

Par E. TRUTAT.

Avec une Préface de M. MAREY.

Un volume grand in-8, avec 146 figures et 1 planche; 1899..... 5 fr.

• LA PHOTOTYPOGRAVURE A DEMI-TEINTES.

Manuel pratique des procédés de demi-teintes, sur zinc et sur cuivre;

Par Julius VERFASSER.

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 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.

ORIENTAÇÕES PARA O USO

Esta é uma cópia digital de um documento (ou parte dele) que pertence a um dos acervos que fazem parte da Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP. Trata-se de uma referência a um documento original. Neste sentido, procuramos manter a integridade e a autenticidade da fonte, não realizando alterações no ambiente digital – com exceção de ajustes de cor, contraste e definição.

1. Você apenas deve utilizar esta obra para fins não comerciais. Os livros, textos e imagens que publicamos na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP são de domínio público, no entanto, é proibido o uso comercial das nossas imagens.

2. Atribuição. Quando utilizar este documento em outro contexto, você deve dar crédito ao autor (ou autores), à Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP e ao acervo original, da forma como aparece na ficha catalográfica (metadados) do repositório digital. Pedimos que você não republique este conteúdo na rede mundial de computadores (internet) sem a nossa expressa autorização.

3. Direitos do autor. No Brasil, os direitos do autor são regulados pela Lei n.º 9.610, de 19 de Fevereiro de 1998. Os direitos do autor estão também respaldados na Convenção de Berna, de 1971. Sabemos das dificuldades existentes para a verificação se uma obra realmente encontra-se em domínio público. Neste sentido, se você acreditar que algum documento publicado na Biblioteca Digital de Obras Raras e Especiais da USP esteja violando direitos autorais de tradução, versão, exibição, reprodução ou quaisquer outros, solicitamos que nos informe imediatamente (dtsibi@usp.br).