

*Bibliothèque numérique*



**Schloesing, Théophile Jean Jacques.  
Notice sur les travaux scientifiques**

*Paris, Gauthier-Villars, 1899.  
Cote : 110133 vol. 45 n° 15*

# NOTICE

SUR LES

# TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. TH. SCHLÖSING FILS.



---

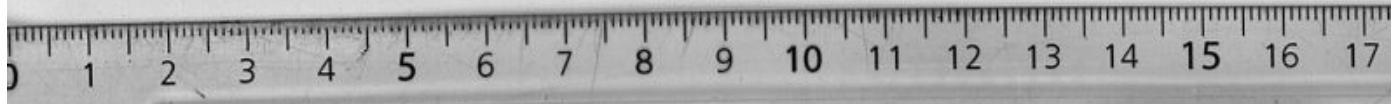
PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

—  
1899





---

## LISTE CHRONOLOGIQUE DES MÉMOIRES

PUBLIÉS PAR M. TH. SCHLOESING FILS.

---

Propriétés hygroscopiques du tabac (*Comptes rendus des séances de l'Academie des Sciences*, t. CII, p. 512).

Mémoire sur la tension de la vapeur d'eau dans le tabac (*Mémorial des Manufactures de l'Etat*, 1886).

Sur la perte de nicotine subie par le tabac dans l'opération dite *torréfaction* (*Mémorial des Manufactures de l'Etat*, 1887).

Combustion lente de certaines matières organiques (*Comptes rendus*, t. CVI, p. 1293).

Fermentation en masses du tabac pour poudre (1<sup>er</sup> Mémoire) (*Mémorial des Manufactures de l'Etat*, 1888).

Combustion lente de certaines matières organiques (*Comptes rendus*, t. CVIII, p. 527).

Fermentation en masses du tabac pour poudre (2<sup>e</sup> Mémoire) (*Mémorial des Manufactures de l'Etat*, 1889).

Sur la combustion lente du fumier et sa fermentation anaérobiose (*Mémorial des Manufactures de l'Etat*, 1889).

Sur l'atmosphère contenue dans les sols agricoles (*Comptes rendus*, t. CIX, p. 618).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CIX, p. 673).

Sur la fixation de l'azote par les Légumineuses (en commun avec M. E. Laurent) (*Comptes rendus*, t. CXI, p. 750).

Mémoire sur l'atmosphère contenue dans les sols agricoles (*Annales de Chimie et de Physique*, juillet 1891).

Contribution à l'étude des fermentations du fumier (*Annales agronomiques*, 1891).

## — IV —

Contribution à l'étude de la fermentation en cases du tabac râpé (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1891).

Sur la fixation de l'azote libre par les plantes (en commun avec M. E. Laurent) (*Comptes rendus*, t. CXIII, p. 776).

Mémoire sur la fixation de l'azote libre par les plantes (en commun avec M. E. Laurent) (*Annales de l'Institut Pasteur*, février 1892).

Sur la fixation de l'azote libre par les plantes (en commun avec M. E. Laurent) (*Comptes rendus*, t. CXV, p. 659).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CXV, p. 732).

Mémoire sur la richesse en nicotine et la combustibilité des tabacs de diverses espèces (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1892).

Échanges d'acide carbonique et d'oxygène entre les plantes entières et l'atmosphère (*Comptes rendus*, t. CXV, p. 881).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CXV, p. 1017).

Mémoire sur la fixation de l'azote libre par les plantes : 1<sup>o</sup> plantes supérieures ; 2<sup>o</sup> plantes inférieures (en commun avec M. E. Laurent) (*Annales de l'Institut Pasteur*, 1893).

Propriétés hygroscopiques de plusieurs matières textiles (*Comptes rendus*, t. CXVI, p. 808).

Mémoire sur les échanges d'acide carbonique et d'oxygène entre les plantes et l'atmosphère (*Annales de l'Institut Pasteur*, 1893, et *Annales agronomiques*, 1893).

Mémoire sur les propriétés hygroscopiques de plusieurs matières textiles (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, 1893).

Échanges d'acide carbonique et d'oxygène entre les plantes et l'atmosphère (*Comptes rendus*, t. CXVII, p. 756).

Sur la fabrication industrielle de produits riches en nicotine (*Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 1053).

Contribution à l'étude de la germination (*Comptes rendus*, t. CXX, p. 1278).

Étude sur le dosage de la nicotine dans les liquides (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1895).

— v —

Dosage de la nicotine dans un tabac (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1895).

Dosage de l'argon (*Comptes rendus*, t. CXXI, p. 525).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CXXI, p. 604).

Sur la composition du grisou (*Comptes rendus*, t. CXXII, p. 398).

Recherche de l'argon dans les gaz de la vessie natatoire des Poissons et des Physalies (en commun avec M. J. Richard) (*Comptes rendus*, t. CXXII, p. 615).

Étude sur l'azote et l'argon du grisou (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 233).

L'azote et l'argon dans le grisou et le gaz de Rochebelle (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 302).

Uniformité de la répartition de l'argon dans l'atmosphère (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 696).

Étude sur la composition du grisou (*Annales des Mines*, janvier 1897).

L'argon et l'azote dans le sang (en commun avec M. P. Regnard) (*Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 302).

Sur les fermentations en milieux composés de particules solides (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 40).

Végétation avec et sans argon (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 719).

Contribution à l'étude de la nitrification dans les sols (*Comptes rendus*, t. CXXV, p. 824).

Détermination de la densité des gaz sur de très petits volumes (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 220).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 476).

Détermination de la densité des gaz sur de très petits volumes, applications (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 896).

Étude sur l'acide phosphorique dissous dans les eaux du sol (*Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 236).

Même sujet (*Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 327).

Appareil pour la lecture des burettes graduées (*Mémorial des Manufactures de l'État*, 1898).

— VI —

Utilisation, par les plantes, de l'acide phosphorique dissous dans les eaux du sol (*Comptes rendus*, t. CXXVII, 820).

AUTRES PUBLICATIONS.

Rédaction de trois Ouvrages de M. Schlösing père : 1<sup>o</sup> Leçons de Chimie agricole professées à l'École d'application des Manufactures de l'État, 1883; 2<sup>o</sup> Leçons de Chimie analytique professées à la même école, 1882-1884; 3<sup>o</sup> Contribution à l'étude de la Chimie agricole (*Encyclopédie Fremy*, 1885).

Principes de Chimie agricole, 2<sup>e</sup> édition, 1897 (Ouvrage de l'*Encyclopédie Léauté*).

---

NOTICE  
SUR LES  
TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. TH. SCHLOESING FILS.

---

I.

RECHERCHES CONCERNANT LA DÉCOMPOSITION DES MATIÈRES VÉGÉTALES. DIVERS CAS DE FERMENTATION.

---

Sur la combustion lente de certaines matières organiques.

*Comptes rendus*, 30 avril 1888 et 11 mars 1889.

*Annales agronomiques*, 1891.

*Mémorial des Manufactures de l'Etat*, 1888 et 1889.

Bien des substances organiques, feuilles, herbes, foin, fumier, s'échauffent lorsqu'elles sont accumulées en masses perméables à l'air et atteignent, en peu de temps, des températures relativement élevées. Il est naturel de penser que l'intervention de microbes n'est pas étrangère à cet échauffement. Mais la température s'élève souvent bien au-dessus de 80° et 100°, et il arrive même que les matières prennent feu; évidemment le travail microbien a cessé alors et des actions purement chimiques s'accomplissent.

S.

I.

J'ai étudié ces phénomènes en vue de déterminer la part qu'y prennent les microbes. Plusieurs lots de matières, les uns stérilisés par la chaleur, les autres stérilisés en même temps que les premiers, puis ensemencés, ont été mis en expérience à des températures variées. J'y faisais passer de l'air en excès et je déterminais la quantité d'acide carbonique emportée avec l'air sortant des appareils. Cette quantité mesurait l'intensité de la combustion.

Voici les résultats obtenus avec du fumier. La combustion observée est imputable pour une part à des microbes et pour une autre part à des réactions purement chimiques. M. Dehérain avait déjà reconnu ces deux sortes de combustion qui s'accomplissent au sein du fumier aéré. J'ai donné diverses mesures des deux combustions et j'ai montré combien la combustion microbienne l'emporte sur la combustion purement chimique, aux températures ordinaires où l'une et l'autre se produisent; ce qui est conforme aux vues exposées depuis longtemps par Pasteur, d'après lesquelles la destruction de la matière organique et le retour de ses éléments au monde minéral sont essentiellement l'œuvre des êtres infiniment petits.

J'ai constaté enfin qu'il se rencontre dans le fumier des ferment qui fonctionnent encore avec une singulière énergie à la température de 73°; à cette température, ils ont fourni jusqu'à 15 fois plus d'acide carbonique que la simple combustion chimique. Le cas de microbes opérant à de pareilles températures, sans être absolument exceptionnel, n'est pas fréquent (M. Van Tieghem avait cultivé antérieurement un micrococcus et un bacille à 74°; M. Miquel et M. Globig avaient signalé aussi des êtres vivant à des températures voisines). A 80°, l'action des microbes ne s'observe plus dans le fumier; la production d'acide carbonique s'abaisse brusquement dans les lots ensemencés pour égaler celle des lots stériles. Elle se relève ensuite dans les deux sortes de lots, quand la température continue à croître au delà de 80°, et prend bientôt une grande intensité.

J'ai aussi appliqué la méthode précédente au tabac, dans le but de faire mieux connaître sa fermentation, dite en *masses*, fort importante en fabrication. Les deux combustions, microbienne et purement chimique, se sont encore montrées manifestement. Je les ai également mises en évidence et séparées en utilisant les vapeurs de chloroforme pour supprimer le travail microbien. Les résultats ont été les suivants. L'action comburante des

microbes est dominante à 40°; elle n'est plus appréciable à 70°. La combustion purement chimique s'élève rapidement quand la température dépasse 70°. Les transformations de matières qu'on recherche en fabrication s'accomplissent à 70° et au-dessus; les seuls microbes ne les produiraient pas.

Il ressort de ces essais, tant sur le fumier que sur le tabac, que, dans les phénomènes dont il s'agit, les microbes servent à amorcer les réactions chimiques et à les porter au point où elles se continuent d'elles-mêmes; suivant l'expression de M. Berthelot (*Comptes rendus*, 2<sup>e</sup> sem. 1893, p. 1039), ils jouent le rôle d'agents provocateurs.

#### Fermentation sans air du fumier.

*Comptes rendus*, 11 mars 1889, et *Annales agronomiques*, 1891.

Comme dans le cas des fermentations aérobies, j'ai été conduit à préciser jusqu'à quelle température se poursuivait le travail microbien, lorsque la décomposition du fumier a lieu à l'abri de l'air. J'ai constaté que la production de méthane, due, d'après les travaux de M. Dehérain et de M. Gayon, aux ferments, n'avait plus lieu vers 65°. De plus, en l'absence d'air, il se détruit bien moins de matière dans le fumier qu'au sein des parties aérées du tas.

#### Contribution à l'étude de la nitrification dans les sols.

*Comptes rendus*, 22 novembre 1897.

La nitrification et, d'une manière générale, les combustions microbiennes de matière organique sont d'ordinaire moins actives dans les terres fortes, à éléments très fins, que dans les terres légères, à éléments relativement grossiers. C'est là un fait connu, dont M. Müntz a signalé des exemples précis et que les praticiens traduisent en disant que les terres fortes conservent le fumier. Pour l'expliquer, on invoque communément la facilité plus grande avec laquelle l'air pénètre dans les terres légères.

Dans bien des cas, je ne dis pas dans tous les cas, ce n'est pas l'air, mais l'eau qui manque aux terres fortes pour que les combustions s'accomplissent

avec intensité, et cela alors qu'elles présentent des taux d'humidité égaux ou supérieurs à ceux des terres légères où les mêmes combustions ont toute leur énergie.

J'ai fait, à ce sujet, des expériences dans lesquelles j'ai employé des sols artificiels qui étaient composés de sable et d'argile, et où la dose d'argile allait croissant, l'humidité restant constante. La nitrification de l'ammoniaque s'opérait bien dans les lots correspondant, par la proportion de sable, à des sols légers, et très imparfaitement dans ceux qui contenaient 25 ou 30 pour 100 d'argile. Tous ces sols étaient extrêmement divisés, nullement tassés, tout à fait perméables; on ne pouvait songer que l'air y manquât.

Dans les lots fortement argileux (à 30 pour 100 d'argile), qui nitrifiaient très mal, il a suffi de faire passer l'humidité de 9,5 à 11,5 pour 100 pour obtenir une nitrification complète; or, cette addition d'eau a plutôt diminué l'aération, le liquide ajouté occupant une partie des espaces lacunaires libres auparavant. Ce n'est donc pas l'air, mais l'eau qui avait manqué aux sols.

Les terres fortes des champs se trouvent fréquemment dans ces conditions où, sans manquer d'air, elles n'ont pas assez d'eau; la nitrification et les autres combustions microbiennes y sont alors fort ralenties.

Comment ce manque d'eau agit-il sur les combustions microbiennes? Les terres fortes, relativement riches en argile, comprennent une proportion élevée d'éléments très petits, dont l'ensemble présente une très grande surface. A égalité d'humidité avec des terres légères, leurs éléments sont recouverts de couches d'eau bien plus minces; l'épaisseur de ces couches peut facilement, par exemple si l'humidité s'abaisse vers 10 pour 100, atteindre un degré de petitesse qui, un calcul approximatif le montre, est tout à fait de l'ordre des dimensions des microbes et doit entraîner une gêne pour leur alimentation.

La lenteur avec laquelle s'opère la nitrification dans les terres fortes ne constitue pas précisément pour elles une infériorité. L'engrais peut y avoir moins d'effet, mais son effet est plus durable; les entraînements de nitrates par les eaux peuvent y être moins sensibles. Et puis, les terres fortes ont toujours cet avantage qu'elles gardent l'eau mieux que les terres légères et sont plus capables de donner de bonnes récoltes dans les années sèches.

L'art du cultivateur est, en grande partie, de savoir les travailler en temps opportun, pour ne pas les *gâter*, c'est-à-dire les mettre dans un état physique défavorable.

**Sur les fermentations en milieux composés de particules solides.**

*Comptes rendus*, 5 juillet 1897.

Il y a longtemps déjà, M. Schlösing, mon père, a fait remarquer la re-crudescence qu'éprouve la nitrification dans une terre à la suite d'une trituration du milieu; M. Dehérain a insisté sur le même sujet dans ces dernières années et montré son importance au point de vue agricole. Ce n'est pas là un phénomène particulier à la terre végétale ni à la nitrification. D'une manière générale, quand un milieu composé de particules solides est le siège d'une fermentation, chaque fois qu'on le brasse, la fermentation reprend de l'intensité; elle augmente, atteint un maximum, puis diminue et s'arrête, alors que le milieu se trouve bien loin d'être épuisé, pour se réveiller de nouveau lorsqu'un brassage lui sera encore donné. La raison de ce phénomène est mal connue. J'ai seulement examiné un point de la question.

On est souvent porté à croire que l'action du brassage résulte du renouvellement de l'air au sein des matières et, par suite, de la pénétration d'oxygène dans des parties qui en étaient privées et qui, pour ce motif, ne fermentaient plus. Je me suis proposé de voir si cette explication, bonne sans doute en certains cas, était toujours à adopter.

J'ai d'abord cherché si une fermentation anaérobiose s'exalterait par le brassage pratiqué en dehors de toute aération. Des lots de fumier ont été abandonnés dans des flacons à la fermentation sans air; dans une première partie de l'expérience, les uns étaient secoués périodiquement dans les flacons mêmes, les autres demeuraient immobiles; ensuite, les premiers restaient immobiles, tandis que les seconds étaient remués de temps à autre. Mesurant l'intensité de la fermentation par le dégagement total de gaz, j'ai vérifié nettement dans chaque cas l'influence du brassage sur l'exaltation de la fermentation. Or ce brassage n'introduisait pas d'air. Ce n'est donc pas par l'aération qu'il opérait.

Considérons maintenant le cas d'une fermentation aérobie. Un grand nombre d'expériences antérieures (sur le tabac) m'avaient montré que le brassage peut très bien produire le réveil de la fermentation, alors même qu'au moment où on le pratique l'atmosphère contenue dans le milieu est très riche en oxygène. Dans ces conditions, on pouvait se demander si le réveil observé était dû à ce que le brassage faisait pénétrer l'air, non pas dans l'ensemble du milieu, où cet air était présent, mais dans des conduits étroits, capillaires, où l'oxygène ne se renouvelait pas quand le milieu demeurait immobile. J'ai soumis cette idée à l'épreuve de l'expérience.

Il y a un moyen de renouveler complètement l'air dans un milieu composé de particules solides, mieux encore que par un brassage minutieux ; c'est d'y faire le vide un instant, puis de rendre la communication avec l'atmosphère. M'a aidant de ce moyen, j'ai mis à fermenter plusieurs lots de fumier, à 55°, en y faisant passer un grand excès d'air ; l'un était brassé périodiquement, un autre brassé et, pendant quelques minutes, soumis au vide, un troisième soumis au vide sans brassage ; enfin, le dernier ne subissait aucune manipulation. Le résultat a été que les lots brassés, avec ou sans vide, ont, seuls, éprouvé des recrudescences de fermentation.

Ainsi, l'aération, même l'aération profonde obtenue par le vide, est restée sans effet sur la marche de la fermentation, tandis que le simple brassage, même sans l'aération profonde du vide, a exercé une action manifeste. Ce n'est donc pas par l'aération que le brassage a influé sur la fermentation.

Il va de soi qu'il peut agir par l'air qu'il introduit dans le milieu, si l'atmosphère comprise dans l'ensemble de ce milieu est notablement appauvrie en oxygène.

**Sur la rapidité avec laquelle sont solubilisées dans le sol certaines matières employées comme engrais.**

Les morceaux d'étoffes de laine, les peaux, qu'on emploie comme matières fertilisantes, présentent une certaine résistance aux agents de destruction qu'ils rencontrent dans le sol. Mais, quand diverses circonstances propices se trouvent réunies, ils peuvent être solubilisés très rapidement. J'ai enfoui dans des terres légères, très perméables à l'air, des bandes de flanelle et de

— 7 —

peau de chevreau longues de plusieurs mètres. Les sols étaient entretenus, par des arrosages, dans un état d'humidité marquée et les expériences avaient lieu par un temps chaud. Dans ces conditions, la flanelle et la peau ont intégralement disparu en six ou sept semaines; au bout de ce temps, il était à peu près impossible d'en retrouver la trace dans les sols.

## II.

## RECHERCHES CONCERNANT LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES.

## Recherches sur la fixation de l'azote libre par les plantes.

*Comptes rendus*, 1890, 1891 et 1892.

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

Ces recherches ont été exécutées avec la collaboration de M. Ém. Laurent. Nous les avons entreprises sur le conseil de M. Duclaux. Elles nous ont occupés durant plusieurs années.

A la suite de longs et très remarquables travaux, Hellriegel et Wilfarth avaient montré définitivement que les Légumineuses possédaient la précieuse faculté de puiser des quantités d'azote souvent considérables à une source située dans l'atmosphère. C'était là un résultat capital, tant au point de vue de la nutrition végétale qu'à celui de la pratique agricole. De plus, Hellriegel et Wilfarth avaient établi que l'absorption d'azote avait lieu sous l'influence d'êtres microscopiques vivant sur les racines des Légumineuses et y produisant ces nodosités particulières, bien connues des botanistes. Ils admirent que l'azote ainsi fixé était emprunté à l'azote *libre* et non pas aux combinaisons azotées de l'atmosphère. Mais sur ce point important il était légitime de conserver quelque doute. Nous avons voulu déterminer avec rigueur ce qu'il en était réellement.

*Méthodes suivies.* — Les méthodes suivies présentent ici un intérêt majeur ; il est utile d'y insister.

Les recherches de Hellriegel et Wilfarth et celles de leurs devanciers reposaient toujours sur la comparaison des quantités d'azote renfermées par les graines, les récoltes et les sols pris au début et à la fin des expériences. Cette méthode, inaugurée par Boussingault, permet bien de constater avec certaines plantes un gain d'azote prélevé en dehors du sol et des graines ; mais, quant à l'origine même de l'azote gagné, elle est impuis-

## — 9 —

sante à la prouver positivement. Elle ne montre pas si cet azote a été emprunté aux composés azotés ou à l'azote libre de l'air. Le raisonnement qui s'appuie sur la rareté de ces composés, pour conclure à leur insuffisance comme source d'azote, est, pour des expériences faites en présence d'une quantité d'air illimitée, sans aucune force. D'ailleurs, tous les composés azotés de l'atmosphère ne sont peut-être pas déterminés. Celle-ci pourrait contenir, par exemple, quelques dix-millièmes de protoxyde d'azote, sans qu'aucun analyste ne l'eût aperçu. Les Légumineuses eussent été douées de la faculté spéciale d'absorber l'azote de ce composé et non l'azote libre, que toutes les expériences de Hellriegel et Wilfarth (sauf une peut-être, faite en vase à peu près clos) ne l'eussent pas révélé.

Telle était notre manière de voir. La découverte récente des nouveaux gaz de l'atmosphère est venue la justifier singulièrement, en prouvant qu'en réalité cette atmosphère n'était pas si parfaitement connue qu'on pensait.

Il restait donc encore, après tous les travaux faits, à tenter une démonstration, en quelque sorte décisive, de l'origine de l'azote fixé par les Légumineuses, en s'appuyant sur une méthode tout à fait rigoureuse. Il fallait faire pousser des Légumineuses dans les conditions où elles passaient pour fixer l'azote libre et constater cette fixation par la mesure, avant et après culture, de l'azote même en présence duquel elles se seraient développées.

Mais ce n'est pas tout. Si la fixation avait lieu, serait-elle due aux plantes ou aux sols qui les auraient portées ? Des expériences témoins permettraient d'en décider : à côté des sols avec plantes, on aurait, dans des conditions identiques, les mêmes sols sans culture, et l'on verrait, toujours par la mesure de l'azote libre mis en contact avec eux, si ces sols nus auraient fixé du gaz azote ; dans le cas de la négative, on serait en droit d'attribuer aux plantes la fixation.

Enfin, pour ajouter encore à la force démonstrative de nos essais, nous avons recouru, non seulement à la mesure de l'azote libre, mais aussi, en même temps, à la méthode en usage d'ordinaire, rendue aussi précise que possible, consistant à doser l'azote, avant culture, dans les sols et les graines et, après culture, dans les sols et les plantes.

Les deux méthodes devraient s'accorder rigoureusement dans leurs résultats ; la seconde permettrait de retrouver dans les plantes, à l'état com-

S.

2

biné, l'azote dont on aurait, par la première, constaté la disparition à l'état libre. Tout en se vérifiant réciproquement, elles conserveraient chacune son utilité propre : la seconde montrerait si les plantes avaient fixé de l'azote; la première, d'où viendrait véritablement l'azote fixé.

On aperçoit les difficultés spéciales qui se rencontrent dans l'exécution de la première méthode. Il faut faire vivre et se développer convenablement des plantes en vase clos, problème jugé malaisé par bien des physiologistes. Si l'on veut saisir avec précision la variation de l'azote libre, on est conduit à réduire le volume de l'atmosphère mise en rapport avec les plantes; dès lors, on ne peut ni introduire au début dans les appareils tout l'acide carbonique qui sera nécessaire à la végétation, ni y laisser dans la suite tout l'oxygène qui se produira par l'accomplissement de la fonction chlorophyllienne. Il faut donc pourvoir à l'obligation de fournir peu à peu le premier gaz et d'absorber le second de temps en temps dans la mesure voulue.

D'autre part, on ne peut guère abaisser le volume des appareils au-dessous de 6<sup>lit</sup> à 10<sup>lit</sup>, si l'on veut laisser aux plantes la faculté d'acquérir le développement désirable; par suite, pour apercevoir une variation de quelques centimètres cubes dans le volume de l'azote, il est indispensable d'arriver à des moyens de mesure d'une haute précision. Pour satisfaire à ces nombreuses conditions, nous avons été conduit à instituer tout un ensemble de dispositifs et de procédés entièrement nouveaux, qui ont trait à la forme et à l'arrangement général des appareils, à l'introduction et à la circulation des gaz, à leur extraction par le vide, à leur mesure rigoureuse, à leur préparation, à leur analyse (les détails sont donnés sur ces différents sujets dans notre premier Mémoire des *Annales de l'Institut Pasteur*, rappelé plus haut).

Cet ensemble de dispositifs et de procédés, en dehors des résultats auxquels il a permis d'atteindre, paraît constituer dans notre travail une part de quelque importance et mériter d'être signalé. Il représente une véritable méthode d'expérimentation susceptible d'être appliquée, comme on verra, à bien d'autres recherches physiologiques que celles dont il s'agit actuellement.

#### EXPÉRIENCES DE 1890, SUR DES LÉGUMINEUSES (*Comptes rendus*, 17 no-

vembre 1890). — Nos premières expériences, exécutées en 1890, portèrent sur des Légumineuses (Pois nains). Les sols employés consistaient en sable quartzeux, imbibé d'une solution nutritive sans azote et stérilisé par la chaleur. Les graines semées furent arrosées avec quelques gouttes de liquide contenant en suspension des microbes de nodosités.

Finalement, la mesure de l'azote libre fit reconnaître, dans les atmosphères où les plantes avaient vécu, une disparition de 29<sup>cc</sup>, 1 ou 36<sup>mg</sup>, 5 de ce gaz pour l'une des expériences et de 25<sup>cc</sup>, 9 ou 32<sup>mg</sup>, 5 pour l'autre. Cet azote disparu fut, par la seconde méthode, aux erreurs permises près, retrouvé dans les plantes à l'état de combinaison.

Les Pois avaient donc bien prélevé 32<sup>mg</sup> ou 36<sup>mg</sup> environ d'azote, c'est-à-dire une quantité tout à fait supérieure aux erreurs d'expérience, sur l'azote libre de l'air.

La preuve désirée était faite.

**EXPÉRIENCES DE 1891, SUR DES LÉGUMINEUSES ET SUR DES PLANTES D'AUTRES FAMILLES** (*Comptes rendus*, 30 novembre 1891). — Nos études ont été étendues, en 1891, à des plantes représentant, à côté des Légumineuses, des familles botaniques différentes.

Les dispositions ont été les mêmes que l'année précédente, si ce n'est pour le sol. Au lieu de sable quartzeux, nous avons pris une terre naturelle, à laquelle nous avons ajouté un peu de délayure de plusieurs autres terres; cela, en vue d'introduire les microbes, s'il en existait, susceptibles de produire la fixation d'azote chez les plantes non légumineuses.

Une première série d'expériences fit trouver, avec toutes les plantes, une notable fixation d'azote libre, mise hors de doute par la concordance des deux méthodes. Mais nous remarquâmes d'abord que dans des expériences témoins, où les sols n'avaient reçu aucune graine, une fixation d'azote s'était produite, et, de plus, que tous les sols, compris les témoins, s'étaient recouverts, d'une façon plus ou moins complète, de plantes vertes inférieures. Enfin, ayant séparé la couche d'Algues d'une des expériences, nous y retrouvâmes tout l'azote fixé. Étaient-ce donc ces plantes inférieures, ces algues, auxquelles il faudrait attribuer la fixation?

Une deuxième série d'expériences fut entreprise, dans laquelle on s'efforça d'éviter le développement des Algues; on y réussit par un artifice très

simple, consistant à recouvrir la surface des sols, après l'enfouissement des graines et l'arrosage avec la délayure des terres, d'une couche de quelques millimètres de sable quartzeux calciné, ayant pour effet de protéger les sols contre la lumière. Dès lors, aucune trace d'Algues n'apparut, et, sauf pour les Légumineuses, on n'observa plus d'absorption d'azote, ni par les plantes cultivées, Avoine, Moutarde, Cresson, Spergule, ni par les sols témoins. C'étaient donc bien les plantes inférieures qui avaient fixé l'azote dans la première série.

**EXPÉRIENCES DE 1892 :** 1<sup>o</sup> *Expériences sur diverses plantes supérieures* (*Comptes rendus*, 31 octobre 1892). — Nous avons confirmé nos résultats antérieurs, en nous appliquant à obtenir des plantes plus développées (Avoine, Colza, mélange de Graminées, Pommes de terre).

2<sup>o</sup> *Plantes inférieures* (*Comptes rendus*, 7 novembre 1892). — Nous avons institué des cultures spéciales d'Algues diverses et constaté, dans plusieurs cas, d'importantes fixations d'azote libre.

M. Bornet, qui a bien voulu déterminer les Algues venues, les a reconnues principalement pour des *Nostocs*. Mais nos cultures n'étaient pas pures et nous avons émis l'hypothèse que peut-être la fixation d'azote était le fruit du concours de plusieurs êtres. Les travaux effectués depuis lors par divers auteurs paraissent bien avoir établi l'exactitude de cette hypothèse.

**CONCLUSIONS.** — De tout ce qui précède, nous avons tiré les conclusions suivantes, que nous avons données non pas comme entièrement nouvelles, mais comme trouvant dans nos expériences une base solide qui leur manquait.

1<sup>o</sup> Les Légumineuses sont réellement capables d'emprunter à l'atmosphère de l'azote à l'état *libre*.

2<sup>o</sup> Il y a des Algues qui, à l'exemple des Légumineuses, jouissent de la propriété de prélever sur l'atmosphère de l'azote libre et de le faire passer dans leur propre substance.

3<sup>o</sup> Dans les conditions de nos expériences, les sols nus, c'est-à-dire exempts de toute végétation apparente, n'ont pas fixé d'azote libre en

quantité mesurable; l'Avoine, la Moutarde, le Cresson, la Spergule, le Colza, la Pomme de terre et diverses Graminées n'en ont pas fixé davantage, alors que, dans des conditions identiques, les Pois en fixaient abondamment.

Le fait de la fixation de l'azote par des Algues présente un intérêt qui n'échappera pas. Lorsqu'on songe à l'universelle diffusion de ces plantes sur la surface des sols, leur faculté d'absorber de l'azote libre apparaît comme devant tenir une place importante dans les faits agricoles. Dans ses recherches sur les assolements, Boussingault a montré qu'il y avait, même en dehors de toute culture de Légumineuses, excédent d'azote à la fin d'une rotation. MM. Lawes et Gilbert et M. Dehérain ont observé la même chose pour les prairies. Il faut vraisemblablement compter les Algues comme ayant une part considérable dans la production de cet excédent d'azote.

MM. Berthelot et André, MM. A. Gautier et Drouin, avaient déjà signalé la présence d'Algues dans des expériences sur la fixation de l'azote par les sols ou les Légumineuses. M. B. Franck avait même attribué aux Algues la faculté d'absorber l'azote atmosphérique. Nos méthodes nous ont permis de mettre cette faculté hors de doute et de montrer avec rigueur que la véritable source de l'azote fixé était l'azote *libre* de l'air.

Pour donner une idée du degré d'intérêt que nos expériences parurent présenter à l'un des meilleurs juges, il me sera sans doute permis de citer le fait suivant. En 1892, M. Dehérain a publié une nouvelle édition de son important *Traité de Chimie agricole*, édition dans le corps de laquelle il exposait les différentes expériences faites sur la question de la fixation de l'azote. Au moment où l'Ouvrage allait paraître, il eut connaissance de nos recherches et nous fit l'honneur d'ajouter un Appendice à son Livre pour rendre compte de nos méthodes et de nos résultats.

**Sur les échanges d'acide carbonique et d'oxygène entre les plantes et l'atmosphère.**

*Comptes rendus* 21 nov. et 5 déc. 1892; 27 nov. et 4 déc. 1893.

*Annales agronomiques*, 1893.

De nombreuses recherches ont été faites sur les échanges d'acide carbonique et d'oxygène ayant lieu entre les plantes et l'atmosphère. On connaît,

— 14 —

en particulier, celles de Boussingault, celles de MM. Dehérain et Moissan, Dehérain et Maquenne, celles de MM. Bonnier et Mangin. Dans toutes ces recherches, on a tantôt distingué la respiration et l'assimilation du carbone, tantôt considéré l'ensemble de leurs effets. Les expériences ont toujours été, à ma connaissance, exécutées non sur des plantes entières, mais sur des parties de plantes, plus ou moins étendues, le plus souvent séparées des sujets auxquels elles appartenaient; très généralement elles ont eu une durée limitée à quelques heures.

Je me suis proposé d'étudier les échanges dont il s'agit dans d'autres conditions, de manière à pouvoir répondre à une question qui m'a paru intéresser vivement la nutrition végétale et, en même temps, la Physique du globe: quelle est, pour une plante entière et pour toute son existence, la résultante des échanges d'acide carbonique et d'oxygène qu'elle effectue avec l'air ambiant? Combien d'oxygène, au total, dégage-t-elle pour un volume donné d'acide carbonique qu'elle fait disparaître?

J'ai abordé cette question par la méthode la plus directe, qui consiste à faire vivre des plantes en vases clos et à étudier les variations de l'acide carbonique et de l'oxygène enfermés avec elles.

J'ai employé aux expériences des appareils analogues à ceux qui nous avaient servi, à M. Laurent et à moi, dans nos études sur la fixation de l'azote libre par les plantes.

Comme dans ces études, les dispositions étaient prises pour qu'on pût surveiller journallement par l'analyse la composition de l'atmosphère interne des appareils; introduire, quand il y avait lieu, de l'acide carbonique et absorber (sur du cuivre chauffé au rouge) l'excès d'oxygène produit par la végétation; de plus, je mesurais rigoureusement tous les gaz donnés et tous ceux qui étaient retrouvés à la fin, compris l'oxygène absorbé par le cuivre, de manière à obtenir par différence l'acide carbonique total disparu et l'oxygène total apparu. Une expérience témoin, sans culture, permettait d'éliminer l'influence, extrêmement peu sensible d'ailleurs, du sol. On arrivait en définitive à connaître avec précision toutes les modifications de l'atmosphère dues aux plantes entières pendant telle durée qu'on voulait.

Je me suis astreint, généralement, à vérifier les résultats de l'étude des gaz par l'analyse des plantes et des sols.

Opérant dans ces conditions avec des plantes variées (Cresson à larges

feuilles, Houque laineuse, Lin commun, Moutarde blanche) ayant vécu de six à sept semaines, j'ai obtenu les résultats suivants :

1<sup>o</sup> Le rapport  $\frac{\text{CO}_2 \text{ total disparu}}{\text{O total apparu}}$  a présenté des valeurs constamment inférieures à l'unité et comprises entre 0,75 et 0,90.

2<sup>o</sup> On sait qu'il entre dans la composition de la matière organique d'une plante entière un poids d'hydrogène supérieur à celui qui, avec l'oxygène de cette matière, formerait de l'eau. Ce fait important a été signalé par Boussingault dès 1838. Mes résultats en rendent compte. Car s'il sort de la plante plus d'oxygène qu'il n'en entre avec l'acide carbonique, il faut bien que cet excès d'oxygène vienne de quelque source; l'oxygène de l'eau assimilée par la plante peut le fournir, au moins en partie; d'où l'excès d'hydrogène constaté.

3<sup>o</sup> Dans une des expériences, on a fait des plantes récoltées une analyse complète. On a vu qu'elles avaient dû, pour constituer leur substance organique, puiser de l'oxygène, non pas seulement dans l'eau et dans les gaz carbonique et oxygène de l'atmosphère, suivant ce qu'on indiquait d'ordinaire, mais aussi, et en proportion très notable, dans les sels minéraux oxygénés absorbés par les racines. Qu'on ajoute, en effet, à l'oxygène apporté aux plantes par les gaz qui les environnaient, celui qu'elles ont reçu de l'eau dont elles ont assimilé les éléments; puis, qu'on retranche de cette somme l'oxygène total qui est sorti (on peut faire le calcul grâce aux chiffres de mes expériences); on trouve comme reste une quantité d'oxygène inférieure à celle qui existe réellement dans la matière organique des plantes. Il faut donc qu'une partie de l'oxygène de cette matière ait une origine autre que l'eau et les gaz de l'air; elle ne peut venir que des sels oxygénés, sulfates, phosphates et surtout azotates tirés du sol. On a trop négligé ces sels jusqu'ici dans l'étude de la synthèse végétale.

Les essais ci-dessus, répétés sur diverses Algues, que M. Bornet a pris la peine de déterminer, ont donné encore un rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  très inférieur à l'unité.

Dans les essais qui nous occupent, les plantes recevaient comme aliment azoté des azotates. Le rapport  $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$  eût-il été changé si, au lieu d'azotates, on eût employé soit des sels ammoniacaux rendus par stérilisation inaptes à la nitrification, soit de l'azote libre, au cas où l'on eût opéré avec des

## — 16 —

Légumineuses ou des Algues fixant l'azote? La question vaut la peine d'être étudiée. Mais on peut remarquer que, dans les champs, les plantes puisent essentiellement leur azote dans les azotates, produits de la nitrification naturelle.

Ainsi les plantes de nos champs doivent, dans l'ensemble, dégager 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 n'est pas inutile qu'elles fonctionnent comme je viens de le dire. On peut 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, en volume, plus d'oxygène qu'elle ne dégage d'acide carbonique; car la matière végétale contient dans son ensemble moins d'oxygène qu'il n'en faut pour brûler la totalité de son seul hydrogène; sa combustion complète, c'est-à-dire sa transformation en acide carbonique, eau, acide azotique, exige par suite 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. Pour contrebalancer cet excès de consommation d'oxygène dû à la destruction de la matière végétale et pour en diminuer l'effet sur la composition de l'atmosphère, il est bon que les plantes dégagent, durant leur vie, 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.

#### Contribution à l'étude de la germination.

*Comptes rendus, 10 juin 1895.*

La question particulière que j'ai voulu examiner est celle des pertes d'azote pouvant se produire, à l'état gazeux, pendant la germination. Par l'analyse comparée des graines et des plantules, on avait trouvé déjà que ces pertes ne pouvaient être que très faibles. J'ai appliqué dans ma recherche

la méthode, si précise, qui repose sur la mesure et l'analyse des atmosphères enfermées dans les récipients où vivent et se développent les êtres étudiés. De plus, je me suis efforcé de me rapprocher autant que possible des conditions où s'accomplit la germination dans les champs. Opérant sur des graines de Blé et de Lupin, j'ai trouvé que leur germination n'avait pas entraîné une perte appréciable d'azote à l'état gazeux.

**Recherches entreprises en vue de savoir si l'argon joue un rôle dans la végétation.**

Je me suis proposé d'examiner si, comme les autres éléments de l'atmosphère, l'argon jouait un rôle dans la synthèse végétale. Pour arriver à ce but, toute une série de recherches m'a paru utile. Il fallait d'abord instituer un procédé de dosage très précis de l'argon, puis déterminer la teneur en argon de l'atmosphère; enfin voir, dans des expériences spéciales de culture, si les plantes mettaient à profit l'argon en présence duquel elles se développaient. Tel est aussi le programme que j'ai suivi.

**DOSAGE DE L'ARGON** (*Comptes rendus*, 14 octobre et 28 octobre 1895). — On est assez naturellement porté à doser l'argon, vu sa rareté ordinaire, sur de grands volumes de gaz. Mais le maniement et la mesure précise de très grands volumes gazeux entraînent des difficultés et des inconvénients que connaissent bien les analystes habitués à opérer avec les gaz. En outre, si l'on doit expérimenter sur de grands volumes gazeux, les prises et les transports des échantillons à étudier sont fort compliqués. Il est possible d'arriver, grâce à un ensemble de dispositifs que je ne saurais décrire ici, à de très bons résultats en employant seulement des volumes d'air relativement faibles; de là résulte, dans l'exécution de l'analyse, l'usage d'appareils de capacité restreinte, où il devient aisé de produire le vide, aussi bien avant l'introduction qu'après l'extraction du gaz à mesurer, ce qui constitue une ressource des plus précieuses.

On a toujours à séparer l'argon d'une grande masse d'azote auquel il est mêlé. A l'exemple de Lord Rayleigh et du Professeur Ramsay, j'absorbe cet azote par le magnésium chauffé au rouge. Mais l'absorption n'est pas instantanée. L'une des particularités du procédé consiste en ce qu'il permet

de faire repasser le mélange d'azote et d'argon sur une faible quantité de magnésium jusqu'à l'entièvre disparition de l'azote.

Pour obtenir finalement l'argon tout à fait pur, on le soumet dans une cloche, en présence d'oxygène et d'un peu de potasse, à l'étincelle d'une bobine d'induction pendant quelques heures; après quoi, on absorbe par le phosphore, à froid, l'oxygène restant.

Les vérifications désirables du procédé ont été faites.

RÉSULTATS DU DOSAGE DE L'ARGON DANS L'ATMOSPHÈRE. — UNIFORMITÉ DE LA RÉPARTITION DE L'ARGON (*Comptes rendus*, 14 octobre 1895 et 2 novembre 1896). — Étant en mesure de doser l'argon d'une façon très précise, j'ai cherché en quelle proportion il se présentait et comment il était réparti dans le milieu avec lequel les végétaux effectuent leurs échanges gazeux, c'est-à-dire dans l'atmosphère.

J'ai d'abord analysé des échantillons prélevés à Paris ou en Normandie, tantôt au niveau du sol, tantôt à 300<sup>m</sup> d'altitude; j'y ai trouvé pour 100 volumes d'azote et argon une moyenne de 1<sup>vol</sup>, 192 d'argon.

Puis M. J. Richard m'a rapporté, à la suite d'une campagne de la *Princesse-Alice*, des échantillons d'air provenant de régions toutes différentes (Méditerranée, Atlantique, Açores, Manche) et pris à des hauteurs allant jusqu'à 2275<sup>m</sup>; ils m'ont encore donné les mêmes chiffres. Enfin, un échantillon qui avait été prélevé par un ballon-sonde à 15 000<sup>m</sup> d'altitude et que M. Müntz avait bien voulu me prier d'examiner, a fourni une composition toute pareille.

On peut conclure de ces recherches que l'argon est, comme l'oxygène et l'azote, uniformément distribué dans l'atmosphère et qu'il s'y rencontre normalement, en tout lieu et à toute hauteur, à la dose de 1<sup>vol</sup>, 192 pour 100 volumes d'azote et argon ou de 0<sup>vol</sup>, 942 pour 100 volumes d'air, avec une variation en plus ou en moins qui généralement n'a pas dépassé  $\frac{1}{1000}$  et qui est à peu près de l'ordre des erreurs possibles.

L'ARGON ET LA VÉGÉTATION (*Comptes rendus*, 8 novembre 1897). — Quelques analyses avaient été exécutées en Angleterre sur des substances animales et végétales en vue d'y rechercher l'argon; on ne l'y avait pas rencontré. Je n'en avais pas trouvé non plus dans des échantillons de houille.

## — 19 —

Si les végétaux et des résidus de leur décomposition étaient réellement dépourvus d'argon, on pouvait être tenté d'affirmer tout de suite qu'il n'intervenait pas dans leur synthèse. Mais, d'abord, les expériences concluant à l'absence de l'argon dans les matières d'origine végétale avaient été trop peu nombreuses; en outre, il ne manque pas de réactions auxquelles prennent part des corps qui n'entrent pas dans les produits formés; il restait donc utile d'expérimenter sur la possibilité d'un rôle joué par l'argon atmosphérique dans la végétation.

J'ai fait pousser de l'Avoine en vase clos, au sein d'une atmosphère artificielle composée d'azote, d'oxygène et d'acide carbonique, absolument exempte d'argon. L'azote avait été tiré de l'azotate d'ammonium. Les plantes ont pris un beau développement; l'absence de l'argon n'a paru nullement leur nuire.

Dans une autre expérience, j'ai cultivé comparativement deux lots de Houque laineuse, dans des conditions qui étaient identiques, sauf sur un point, savoir que pour l'un l'atmosphère était tout à fait dépourvue d'argon, tandis que pour l'autre elle en renfermait à peu près la proportion existant dans l'air ordinaire. Afin de rendre aussi satisfaisante que possible la comparabilité des deux lots, j'ai employé pour le second non pas de l'azote extrait, avec son argon, de l'atmosphère, mais de l'azote chimique préparé, comme pour la première expérience, avec de l'azotate d'ammonium, et j'y ai ajouté ensuite un volume déterminé d'argon pur (j'entends par argon pur le produit d'une préparation exécutée sur l'air comme le dosage ci-dessus; dans cet argon, MM. Ramsay et Travers ont trouvé récemment de petites quantités d'autres gaz).

Les plantes se sont bien développées dans les deux lots et sont devenues tout à fait semblables sous le rapport de l'aspect et du poids. L'influence de l'argon ne s'est pas fait sentir.

D'ailleurs, on a retrouvé dans l'atmosphère du second lot, à la fin de l'expérience, tout l'argon qui y avait été introduit au début; donc, point d'argon consommé par les plantes en quantité appréciable. De plus, on a déterminé pour les deux lots le rapport  $\frac{\text{CO}_2 \text{ consommé par les plantes}}{\text{O}_2 \text{ produit par les plantes}}$ ; on lui a trouvé la même valeur pour l'un et l'autre lot; nouvelle preuve que les

— 20 —

circonstances de la végétation n'y ont pas différé notablement, et que la présence ou l'absence de l'argon a été sans effet.

Ainsi, je n'ai pas aperçu que l'argon jouât un rôle dans la végétation.

**Étude sur l'acide phosphorique dissous par les eaux du sol. Utilisation de cet acide par les plantes.**

*Comptes rendus, 25 juillet, 8 août et 21 novembre 1898.*

On sait que l'eau existant dans un sol tient en dissolution une minime quantité d'acide phosphorique. Cette quantité, qui, généralement, n'atteint pas 1<sup>kg</sup> pour toute l'eau contenue dans la couche arable d'un hectare, est à peu près négligeable devant le contenu d'une récolte et a paru sans importance pour la nutrition végétale. D'autre part, à la suite des expériences classiques de J. Sachs et d'autres physiologistes, il a été prouvé que les racines des végétaux étaient capables d'attaquer par leurs sucs acides et d'utiliser après dissolution les phosphates naturellement non dissous du sol, lesquels représentent un stock d'acide phosphorique infiniment supérieur à celui qui existe en dissolution. On a donc admis que ces phosphates non dissous étaient la source essentielle du phosphore des végétaux.

J'ai été conduit à me demander si cette opinion n'était pas trop exclusive et ne restreignait pas à l'excès le rôle des phosphates dissous, non pas seulement dans le cas particulier d'un sol ayant reçu du superphosphate, cas examiné récemment par M. J. Joffre, mais dans le cas général d'un sol quelconque.

Pour élucider cette question, j'ai étudié, d'une part, la formation de la dissolution d'acide phosphorique dans les sols et, d'autre part, l'utilisation par les plantes de cette dissolution.

*Formation de la dissolution d'acide phosphorique dans les sols.* — J'ai extrait les dissolutions contenues dans divers sols au moyen de l'appareil à déplacement de M. Schloesing, mon père, appareil permettant de les obtenir sans altération sensible. J'ai dosé l'acide phosphorique dans ces dissolutions et reconnu qu'il s'y présentait, pour chaque sol, avec un taux à très peu près constant, quel que fût le degré d'humidité du sol (de 5 à

25 pour 100). On pouvait déjà en inférer que la dissolution de l'acide phosphorique résultait d'un équilibre entre l'eau et les phosphates dits insolubles, en réalité peu solubles, du sol.

J'ai poussé plus avant, pour avoir la preuve de cet équilibre. J'ai agité dans des flacons de l'eau avec des proportions de divers sols régulièrement décroissantes et jusqu'à 5 et 10 fois inférieures au poids de l'eau. Qu'on veuille bien noter qu'alors l'eau était, par rapport aux sols, 20, 40 ou 60 fois plus abondante qu'elle ne l'est dans les sols en place. Dans tous les cas, elle a dissous, pour une terre donnée, à peu près la même quantité d'acide phosphorique par litre, cette quantité étant d'ailleurs égale à celle que contenaient les dissolutions extraites par déplacement. La réalité de l'équilibre présumé était établie; si, dans cet équilibre, l'eau prend toujours sensiblement le même titre en acide phosphorique, c'est que la terre contient en proportion relativement très grande ces phosphates non dissous, susceptibles d'entrer quelque peu en dissolution.

On aperçoit immédiatement une importante conséquence de ces faits. Les mêmes phénomènes se passant aux champs, la provision d'acide phosphorique dissous peut se renouveler à mesure que la végétation la consomme; dès lors il devient possible que l'acide phosphorique dissous, malgré sa rareté à chaque moment, contribue néanmoins d'une façon importante, dans le cours d'une saison, à la nutrition des récoltes.

Vu l'intérêt que prenait l'acide phosphorique dissous, il était bon d'instituer un procédé permettant de déterminer le taux de cet acide dissous dans une terre donnée. On avait bien à sa disposition le procédé par déplacement, procédé précieux, grâce auquel j'avais pu faire mes premiers essais; mais il exige le prélèvement et le transport au laboratoire de 40<sup>kg</sup> de terre, un appareil spécial et des expériences durant chacune une semaine. Précisant les expériences ci-dessus, j'ai fixé les conditions d'un procédé beaucoup plus simple : dans un flacon de 1<sup>lit</sup>, 5, tournant autour d'une perpendiculaire à son axe, à raison de deux tours par minute, on agite 300<sup>gr</sup> de terre avec 1300<sup>cc</sup> d'une eau ordinaire calcaire, pendant dix heures; puis on dose l'acide phosphorique dans un litre de la dissolution claire et filtrée; au moyen du phosphomolybdate d'ammonium, les dosages peuvent se faire sur 1<sup>mg</sup>, 0<sup>mg</sup>, 5 ou 0<sup>mg</sup>, 25 d'acide phosphorique avec une précision largement suffisante.

Ainsi donc : 1<sup>o</sup> L'acide phosphorique dissous peut se renouveler dans les sols à mesure que les racines l'y font disparaître, et cela de telle manière qu'ils en produisent en peu de temps 20, 40, 60 fois ce qui s'y trouve dissous à un moment donné; 2<sup>o</sup> une terre étant donnée, on peut, sur un échantillon de 300<sup>gr</sup>, déterminer en quelques heures, par un procédé simple, le taux d'acide phosphorique existant d'ordinaire dans la dissolution qui l'imbibe; je crois ce procédé appelé à fournir sur les sols de très utiles renseignements; convenablement modifié, il pourra s'étendre sans doute à des principes fertilisants autres que l'acide phosphorique, par exemple à la potasse.

*Utilisation par les plantes de l'acide phosphorique existant dans les sols à l'état de dissolution.* — Il ne suffisait pas de montrer que la provision d'acide phosphorique dissous au sein des sols était, par suite de son renouvellement continu, bien plus grande qu'on le supposait, et méritait dès lors d'être prise en sérieuse considération dans la nutrition des plantes. Il convenait de prouver que non seulement les dissolutions du sol peuvent offrir aux plantes une importante quantité d'acide phosphorique, mais encore que les plantes peuvent réellement s'alimenter, exclusivement ou en majeure partie, d'acide phosphorique présenté à l'état de dissolution et aux doses infimes qui se rencontrent dans les eaux du sol. J'ai obtenu cette preuve.

J'ai cultivé des maïs, des sarrasins, des haricots et du blé sur des sols constitués par du grès, stériles en eux-mêmes, mais arrosés avec des solutions nutritives où l'acide phosphorique, donné à l'état soluble, variait de 0<sup>mg</sup> à 2<sup>mg</sup> par litre.

L'arrosage était effectué au moyen de dispositifs spéciaux qui répartissaient uniformément le liquide sur toute la surface du sol de chaque culture. Au sortir des récipients qui contenaient les sols, les eaux d'égouttage étaient recueillies; on les analysait périodiquement, afin de suivre la marche de l'assimilation de l'acide phosphorique.

Les observations auxquelles ont donné lieu ces expériences ont été des plus nettes.

Les plantes ont pu croître normalement, alors qu'elles avaient pour unique source d'acide phosphorique des solutions ne contenant par litre que 0<sup>mg</sup>, 5, 1<sup>mg</sup> ou 2<sup>mg</sup> de cet acide. Quelques-unes ont remarquablement pro-

spéré. Avec la dissolution à 2<sup>mg</sup>, les Maïs ont atteint une hauteur de plus de 3<sup>m</sup> au-dessus du sol et donné chacun deux épis ; à partir du moment où leurs racines ont eu un développement suffisant, ils ont dépouillé à peu près intégralement d'acide phosphorique la dissolution qui leur était offerte, n'y laissant que 1 ou 1,5 pour 100 de l'acide initial. Avec des dissolutions à 0<sup>mg</sup>, 5 et 1<sup>mg</sup> seulement d'acide phosphorique par litre, le Blé a encore donné des récoltes correspondant à 10 et 18 hectolitres par hectare. Ces résultats ont mis hors de doute que les plantes étaient capables de s'alimenter fort bien avec l'acide phosphorique dissous, quand même il se présentait aux taux extrêmement faibles que l'on constate dans les eaux imprégnant les sols naturels.

Ainsi, les notions nouvelles sur la formation des dissolutions d'acide phosphorique dans les sols et sur leur utilisation par les plantes se trouvent bien établies; elles éclairent un point important de la nutrition végétale.

## III.

RECHERCHES SUR L'ATMOSPHÈRE CONTENUE DANS LES SOLS  
AGRICOLES.

*Comptes rendus*, 14 octobre et 28 octobre 1889.

*Annales de Chimie et de Physique*, juillet 1891.

La plupart des phénomènes, d'ordre chimique ou biologique, dont le sol est le siège et qui intéressent la végétation, sont sous la dépendance de la composition de l'atmosphère contenue dans ce sol. De là l'utilité qu'il y a à bien connaître cette composition dans les conditions naturelles.

Aux recherches classiques de Boussingault et Léwy sur la question on pouvait adresser quelques critiques. J'ai cherché à m'y soustraire dans de nouveaux essais. Il fallait s'appliquer à prélever les échantillons de gaz sans modifier en rien la composition qu'ils présenteraient réellement à l'endroit et au moment où ils seraient pris, à n'entraîner avec eux aucune trace d'air extérieur et à connaître exactement la profondeur d'où ils proviendraient. On réussit à saisir à cet ensemble de conditions au moyen de quelques procédés et appareils assez simples, décrits en détail dans mon Mémoire inséré aux *Annales de Chimie et de Physique*.

Les expériences ont porté sur les sols les plus divers : terres de labour, de constitutions et de cultures différentes, et herbages ; j'avais spécialement l'intention de voir si l'oxygène gazeux pouvait faire défaut dans des sols qui n'avaient pas été retournés depuis de longues années.

Les conclusions de mes nombreuses expériences ont été les suivantes.

L'oxygène existe normalement dans l'atmosphère des sols en large proportion. C'est la confirmation du résultat essentiel de Boussingault et Léwy. Très généralement, jusqu'à la profondeur de 60<sup>cm</sup>, l'atmosphère des terres de labour contient à peine 1 pour 100 d'acide carbonique contre 20 pour 100 d'oxygène ; il y a plus d'acide carbonique dans l'atmosphère des terres qui n'ont pas été retournées depuis longtemps.

Les maxima d'acide carbonique correspondent, pour un même sol, aux époques les plus chaudes et aux temps les plus calmes; les causes de production d'acide carbonique et de renouvellement de l'atmosphère interne agissent alors au mieux pour fournir ces maxima.

La proportion d'acide carbonique augmente généralement avec la profondeur, ce qui paraît naturel; mais il est curieux que, dans certaines circonstances, il se produise le contraire; le fait a été très nettement constaté et s'explique fort bien.

D'une époque à l'autre, la composition de l'atmosphère d'un même sol peut subir des variations considérables. A un moment donné, elle peut varier très notablement entre des points peu éloignés d'une même pièce de terre, surtout sur des pentes si ces points se trouvent à des cotes différentes.

L'ensemble des résultats a conduit à cette notion que les nappes gazeuses répandues dans les sols agricoles y sont, non pas confinées et immobiles, mais susceptibles de se déplacer; elles cheminent plus ou moins lentement, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, sous l'influence des causes multiples qui produisent leurs incessantes variations de composition chimique (c'est-à-dire de densité), de température et de pression.

## IV.

**RECHERCHES INTÉRESSANT DIVERSES INDUSTRIES QUI TRAITENT  
DES MATIÈRES VÉGÉTALES OU ANIMALES.**

---

**Sur les propriétés hygroscopiques du tabac.**

*Comptes rendus, 1<sup>er</sup> mars 1886. Mémorial des Manufactures de l'État, 1886.*

Quand une substance hygroscopique a séjourné un temps suffisant dans une atmosphère plus ou moins humide, il existe, à chaque température, une relation bien déterminée entre l'état hygrométrique de l'atmosphère et le taux d'humidité de la substance. J'ai déterminé cette relation avec rigueur, aux températures ordinaires, pour les tabacs. Elle fournit des renseignements intéressants pour l'industrie dont ces matières sont l'objet. Entre 5° et 35° (et même bien au-dessus), la relation est presque indépendante de la température; autrement dit, l'humidité prise par les matières varie avec l'état hygrométrique de l'air et reste sensiblement la même pour un état hygrométrique donné de cet air, quelle que soit la température. Le fait avait été constaté déjà, dans quelques autres cas, par Regnault et par M. E. Sorel. Il s'est trouvé pleinement confirmé avec les tabacs, très divers, que j'ai étudiés.

**Sur les propriétés hygroscopiques de plusieurs matières textiles.**

*Comptes rendus, 17 avril 1893. Bulletin de la Société d'Encouragement, 1893.*

*Mémorial des Manufactures de l'État, 1898.*

Cette étude, exécutée par des méthodes analogues à celles qui avaient été déjà employées pour le tabac, a permis de déterminer la relation qui existe entre l'état hygrométrique de l'air et le taux pour 100 d'humidité que prend, dans cet air, chacune des substances suivantes : coton d'Amérique, d'Égypte et de l'Inde; soie grège ou décreusée de Chine et des Cévennes; laines de Buenos-Ayres et de Port-Philippe; lins et chanvres divers. La relation a été déterminée à 12°, à 24° et à 35°. Toutes les courbes représentant cette relation pour les différentes substances étudiées ont même allure générale. J'ai observé, comme plus haut, que la température influe très peu sur l'humidité des matières, laquelle dépend essentiellement

de l'état hygrométrique de l'air. Il devient donc de plus en plus probable qu'il y a là une loi générale.

Mes déterminations servent de base à la solution de différentes questions qui se présentent dans l'industrie et les transactions commerciales relatives aux textiles étudiés.

**Sur la fabrication industrielle de produits riches en nicotine.**

*Comptes rendus, 7 mai 1894.*

Les horticulteurs, les maraîchers, les jardiniers font grand usage de produits nicotinéous pour détruire divers insectes qui s'attaquent aux plantes. Mais ces produits ont une autre application, moins connue peut-être dans nos pays et bien plus importante.

Les immenses troupeaux de la race ovine, qu'on élève en particulier dans l'Amérique du Sud, sont fréquemment décimés par la gale. Pour combattre ce fléau, l'un des traitements les plus efficaces consiste dans l'emploi d'extraits de tabac; ces extraits sont l'objet d'une industrie et d'un commerce considérables.

Tous les procédés qui servent à les préparer ont pour but de concentrer le jus du tabac de diverses provenances jusqu'à l'état pâteux nécessaire à la conservation des produits. Mais ainsi ils se trouvent entachés d'un même défaut : les jus mis en œuvre offrant des teneurs extrêmement variables en nicotine suivant les tabacs qui les ont fournis, les produits de la concentration ont eux-mêmes des titres en alcaloïde très variables; par suite, la nicotine étant le facteur essentiel de leur efficacité, leur valeur réelle est incertaine.

J'ai institué, dans les manufactures de l'État, un procédé permettant d'extraire à peu de frais la nicotine contenue dans les jus. Il consiste essentiellement à soumettre ces jus à une distillation méthodique et à arrêter dans de l'acide sulfurique l'alcaloïde entraîné par la vapeur d'eau. On obtient ainsi des liqueurs très riches en nicotine, que leur richesse même permet d'amener, par une légère addition d'eau ou de jus, à un titre constant (par exemple 100<sup>gr</sup> de nicotine par litre) et qui présentent, en conséquence, une efficacité déterminée et certaine. Ces liquides se conservent indéfiniment.

Une nouvelle étude, toute récente, sur ces questions m'a conduit à préparer des liqueurs contenant jusqu'à 600<sup>gr</sup> et plus de nicotine au litre. J'ai

visé à cette excessive richesse pour réduire les frais de transport de l'alcaloïde dans les régions où les communications sont difficiles.

Au moyen de ces liqueurs de titre invariable, dont je viens de parler, il a été aisément d'étudier et de fixer exactement des procédés qui permettent de traiter la gale des moutons avec un succès assuré. Il suffit d'étendre les liqueurs de manière qu'elles ne renferment que  $\frac{1}{1000}$  d'alcaloïde environ et d'y baigner quelques instants les animaux. Un premier bain tue les acares sans atteindre leurs œufs; un deuxième bain, donné une dizaine de jours après, détruit la première génération d'acares sortie de ces œufs avant la formation d'œufs nouveaux et nettoie complètement les moutons.

Le produit à 100<sup>gr</sup> de nicotine par litre s'est rapidement implanté sur divers marchés de l'Amérique du Sud, qui consomment tout ce que la Régie française en fabrique et lui procure d'importants bénéfices.

#### **Contribution à l'étude de la fermentation en cases du tabac râpé.**

*Mémorial des Manufactures de l'État, 1891.*

Il est montré, dans ce travail, par de très nombreuses expériences, que l'air se renouvelle au sein des matières en fermentation et que le bon effet de l'opération dite *transvasement*, à laquelle elles sont périodiquement soumises, ne tient pas, comme on le pensait d'ordinaire, à l'aération que ces transvasements produisent.

Au cours de ces recherches, j'ai cultivé et isolé deux microbes distincts, un bacille et un diplococcus, qu'on rencontre fréquemment dans les fermentations du tabac et dont le rôle n'est pas jusqu'ici précisé.

#### **Sur la perte de nicotine subie par le tabac à la torréfaction.**

*Mémorial des Manufactures de l'État, 1887.*

La force du tabac, c'est-à-dire son degré d'action sur l'économie, dépend, en grande partie, de son taux de nicotine. Il est utile de rechercher les variations de l'alcaloïde au cours des opérations diverses de la fabrication. Il est prouvé, dans le présent travail, que la *torréfaction* (séjour des matières vers 80° pendant une dizaine de minutes) n'entraîne qu'une perte presque insignifiante de  $\frac{1}{50}$  de la nicotine contenue dans le tabac traité.

## V.

MÉTHODES ET APPAREILS INSTITUÉS A L'OCCASION DES RECHERCHES  
PRÉCÉDENTES. — RECHERCHES DIVERSES.

---

**Étude sur le dosage de la nicotine dans les liquides.**

*Mémorial des Manufactures de l'État, 1895.*

Le dosage précis de la nicotine dans les liquides présente un grand intérêt pour l'industrie du tabac et pour la préparation des produits nicotinéux, à titre constant et garanti, dont il est question plus haut. Une étude détaillée de ce dosage m'a permis d'indiquer, en suivant une voie déjà tracée par M. Schlösing, mon père, des conditions dans lesquelles il s'effectue couramment avec une approximation de  $\frac{1}{200}$ , assez rarement atteinte dans la détermination d'un principe immédiat.

**Dosage de la nicotine dans un tabac.**

*Mémorial des Manufactures de l'État, 1895.*

Simplification d'une méthode en usage.

**Procédé d'analyse des gaz sur de très petits volumes.**

Ce procédé permet de faire une analyse exacte à 0,05 pour 100 près sur 1<sup>cc</sup> ou 1<sup>cc</sup>, 5 de gaz. Comme dans celui de MM. Bonnier et Mangin, les mesures se font dans des tubes capillaires. Mais les dispositions sont toutes différentes. La construction est assez simple pour que chacun puisse l'exécuter soi-même.

Le procédé est particulièrement commode pour les dosages courants d'acide carbonique et d'oxygène dans l'air plus ou moins altéré par un phénomène vital. Il a rendu les plus grands services dans les recherches sur la fixation de l'azote et plusieurs autres, où il fallait surveiller la composition interne des appareils par des analyses journalières, sans risquer de com-

promettre le succès des expériences au cas où un accident eût fait perdre l'échantillon sur lequel on opérait.

L'appareil et le procédé sont décrits dans le premier Mémoire sur la fixation de l'azote, inséré en 1892 aux *Annales de l'Institut Pasteur*.

**Appareils pour faciliter la lecture des tubes gradués, et, en particulier, des burettes.**

*Mémorial des Manufactures de l'État, 1898.*

Ces appareils, extrêmement simples, suppriment les erreurs tenant à ce que le rayon visuel de l'opérateur n'est pas, au moment des lectures, exactement perpendiculaire aux tubes portant les graduations.

**Dispositifs pour distribuer automatiquement des volumes égaux de gaz entre plusieurs appareils.**

*Mémorial des Manufactures de l'État, 1888 et 1889.*

Ces dispositifs m'ont servi dans les recherches sur les fermentations, avec et sans air, du fumier et du tabac. Ils m'ont permis de faire passer pendant de longs mois des courants d'air ou d'azote parfaitement réguliers dans les lots de matières en expérience.

**Sur la composition du grisou.**

*Comptes rendus, 17 février 1896.*

*Annales des Mines, janvier 1897.*

J'ai été conduit à étudier le grisou comme un produit de la décomposition lente des matières végétales dans le cas particulier de leur transformation en houille.

La décomposition lente des matières végétales à l'abri de l'air fournit assez généralement, comme produit gazeux combustible, du méthane. Ce n'est pourtant pas là le seul gaz combustible qu'elle puisse donner. Ainsi, dans la fermentation sans air de la paille du fumier, M. Dehérain a trouvé qu'il se faisait parfois de l'hydrogène, et j'ai rencontré après lui le même fait.

Dans la transformation des matières végétales en houille, s'est-il communément formé d'autres gaz combustibles que le méthane? Le méthane est-il le seul gaz combustible qui figure d'ordinaire dans la composition du grisou des mines? Des savants de haute compétence estimaient que, malgré de nombreux travaux antérieurs, la question n'était pas suffisamment éclaircie.

J'ai examiné une grande quantité d'échantillons de grisou, correspondant aux principaux types des mines françaises. Je les ai soumis à l'analyse la plus soignée. Leur partie combustible a le plus souvent consisté en méthane à très peu près pur. Dans trois cas sur seize, le méthane était accompagné d'une proportion, faible mais sensible, d'hydrocarbure étranger, par exemple de 2 à 4 pour 100 d'éthane.

En définitive, comme dans la fermentation sans air du fumier, comme dans la décomposition des matières végétales au fond des marais, le gaz combustible, dégagé en proportion tout à fait dominante dans la formation de la houille, a été le méthane.

Incidemment, j'ai constaté que le méthane doit être une combinaison de carbone et d'hydrogène un peu plus condensée qu'on l'admet d'ordinaire.

#### **L'azote et l'argon dans le grisou et dans le gaz de Rochebelles.**

*Comptes rendus, 27 juillet et 3 août 1896.*

Je pensais d'abord m'en tenir à l'étude de la partie combustible du grisou, à laquelle on attache ordinairement une importance à peu près exclusive. Mais bientôt la partie incombustible, ou plutôt l'azote de cette partie, et ensuite l'argon que j'y ai rencontré, m'ont paru très dignes d'attention.

Il y a toujours de l'azote dans le grisou. Sa proportion y varie entre des limites fort écartées (de 0,75 à 30 pour 100 sur 23 échantillons examinés). D'où vient-il? On a admis le plus souvent, je crois, qu'il avait été dégagé par les principes azotés des matières végétales passées à l'état de houille. Mais cette origine me paraissant douteuse, je me suis demandé si l'azote du grisou ne proviendrait pas de l'atmosphère. Pour le savoir, j'ai cherché si cet azote contiendrait de l'argon; j'en ai trouvé dans tous les cas.

Avant de conclure à l'origine atmosphérique de l'azote du grisou, il était bon de s'assurer que l'argon obtenu ne pourrait émaner de la houille elle-même; mais, ayant brûlé complètement de la houille, j'ai séparé l'azote

des produits de la combustion et l'ai traité en vue d'en isoler l'argon; je n'en ai pas obtenu une proportion appréciable.

Poursuivant les dosages d'argon dans l'azote du grisou, en ayant soin de n'opérer que sur des échantillons prélevés à coup sûr sans aucune introduction d'air extérieur, j'ai constaté que l'argon et l'azote, malgré de très grandes variations par rapport au total du grisou, conservaient toujours entre eux un rapport assez voisin de celui qu'ils ont dans l'atmosphère.

D'où cette conclusion que l'azote du grisou provient surtout de l'atmosphère. Ainsi l'argon peut être un témoin précieux de l'origine de l'azote.

#### **Détermination de la densité des gaz sur de très petits volumes.**

*Comptes rendus, 17 janvier, 7 février et 21 mars 1898.*

Dans des expériences sur la végétation et sur diverses fermentations, j'ai eu à vérifier la nature de gaz dont je ne possédais ou dont il importait de ne consommer que de très faibles quantités. J'ai cherché, pour m'éclairer, à en mesurer la densité. Je n'attendais, de la méthode que j'ai étudiée, qu'une approximation assez grossière; il se trouve, au contraire, qu'elle peut conduire à des résultats d'une précision à utiliser en plus d'un cas.

Qu'on suppose, au fond d'un système de deux tubes verticaux communiquant par leur partie inférieure et de même hauteur, un certain gaz A; au-dessus de ce gaz se trouve d'un côté un gaz B et de l'autre un gaz C, les gaz B et C étant plus légers que le premier et ne se mêlant pas avec lui. On conçoit que si l'on mesure verticalement, à partir d'un même plan horizontal, les colonnes gazeuses qui se font équilibre dans les deux tubes, on sera en état, connaissant les densités de deux des gaz, de calculer celle du troisième.

Seulement, il faut parvenir d'abord à disposer trois gaz comme il convient dans le système des deux tubes et à les mettre en équilibre et ensuite à mesurer des colonnes superposées de ces gaz. Un appareil et des manipulations assez simples, dont la description n'a pas ici sa place, m'ont permis de résoudre la première question. Quant à la mesure des colonnes gazeuses, la difficulté est qu'on ne les voit pas. Mais deux gaz étant placés l'un au-dessus de l'autre dans un tube sans se mêler sensiblement, on peut déterminer la position de leur surface de contact par un artifice, qui con-

siste au fond à faire disparaître l'un des deux par un réactif absorbant et à mettre à sa place du mercure. Le niveau de ce liquide, bien visible, indique le niveau, précédemment invisible, où s'arrêtait le gaz absorbé.

Pour que les choses puissent se passer comme nous le supposons, pour que des gaz restent quelque temps superposés sans qu'il s'en mêle des proportions importantes, il est manifeste que la longueur des colonnes gazeuses doit être extrêmement considérable par rapport à leur diamètre, c'est-à-dire que pratiquement il faut opérer dans des tubes très étroits. Et c'est ici que s'impose comme nécessaire une condition qui, loin d'être une gêne, entraîne le principal avantage de la méthode : les tubes devant être très étroits, les volumes gazeux employés seront très petits. En fait, j'ai obtenu d'excellentes déterminations de densité sur quelques centimètres cubes de gaz.

Il y a assez loin du principe de la méthode à sa réalisation. Pour arriver à la mettre en pratique de manière à en tirer des résultats d'une réelle précision, il a fallu étudier en détail le mouvement des gaz dans des tubes étroits, imaginer des dispositifs spéciaux pour l'absorption des gaz, pour le raccord de tubes bout à bout et toute une série de manœuvres qui finalement ont été rendues simples, si on les compare aux opérations ordinai-rement nécessaires pour déterminer une densité de gaz avec une certaine exactitude.

J'ai obtenu ainsi à moins de  $\frac{1}{1000}$  près les densités connues de l'air, de l'azote chimique, de l'oxygène, de l'argon, du méthane, chaque détermi-nation portant sur 5<sup>cc</sup> ou 7<sup>cc</sup> de gaz, ne durant que quelques minutes et se faisant sans une lecture du baromètre, sans une pesée et, pour ainsi dire, sans calcul.

L'appareil visé ci-dessus est surtout commode à employer avec l'anhydride carbonique comme gaz A auxiliaire et avec la potasse comme absorbant de ce gaz. Dès lors il s'applique spécialement à la détermination des densités des gaz plus légers que l'anhydride carbonique et non absorbables par la potasse. Je l'ai modifié de manière qu'il fournisse la solution générale du problème, quelque grandes ou petites que soient les densités cherchées, que les gaz s'absorbent ou non dans la potasse ou tout autre réactif.

Le principe est toujours de superposer des colonnes gazeuses dans un appareil à deux branches de façon qu'elles se fassent équilibre et à calculer

la densité d'un des gaz d'après celles des autres et d'après la hauteur des diverses colonnes. Seulement certaines des surfaces idéales de contact des gaz deux à deux sont fixées à des niveaux invariables, malgré le mouvement des gaz qui se produit pour l'établissement de l'équilibre. Dans ce but, on fait en sorte qu'elles se déplacent chacune dans un serpentin parfaitement horizontal, où la composition gazeuse peut devenir quelconque sans intervenir dans l'équilibre; une seule surface de contact se meut verticalement (il en faut au moins une mobile) et va s'arrêter au seul niveau qu'on ait à déterminer par une absorption unique.

La précision de cette méthode générale a été vérifiée sur l'azote chimique, l'air, l'anhydride carbonique, l'anhydride sulfureux, toujours avec quelques centimètres cubes de gaz seulement.

Revenant à mon point de départ, j'ai fait remarquer que l'azote, l'oxygène et l'argon, sur lesquels j'avais retrouvé à moins de  $\frac{1}{1000}$  près les densités vraies, étaient des échantillons de gaz mis en œuvre dans mes essais de 1897 sur la végétation avec et sans argon et que, leur pureté ressortant de leurs densités, il y avait là une nouvelle vérification des résultats obtenus dans ces essais.

#### Mesure des pressions gazeuses d'une extrême petitesse.

Le premier des deux appareils que je viens d'indiquer peut constituer un manomètre de haute précision pour la mesure de faibles pressions. Il traduit une pression correspondant à une certaine hauteur d'eau par une différence de deux niveaux qui est 1460 fois plus grande, si l'on emploie comme gaz auxiliaires l'air et l'anhydride carbonique.

#### Solubilité de l'anhydride carbonique dans l'acide sulfurique et l'acide phosphorique.

Au cours des recherches dont je viens de rendre compte, j'ai eu l'occasion de faire quelques mesures de l'absorption de l'anhydride carbonique dans l'acide sulfurique concentré, fait qui intéresse l'analyse organique élémentaire et qu'on paraît généralement ignorer. L'acide phosphorique sirupeux dissout aussi l'anhydride carbonique. J'ai trouvé :

*Solubilité de CO<sub>2</sub> à la pression de 760<sup>mm</sup>.*

100<sup>cc</sup> d'acide sulfurique, de densité 1,84, ont dissous : à 11°, 3, 111<sup>cc</sup> et, à 30°, 2, 77<sup>cc</sup>  
100<sup>cc</sup> d'ac. phosphorique, de densité 1,73, ont dissous : à 10°, 7, 43<sup>cc</sup> et, à 30°, 2, 27<sup>cc</sup>

Tout le gaz dissous s'extrait par le vide.

**Dispositifs pour la mesure des gaz et spécialement des grands volumes,  
et pour leur transvasement dans divers cas qui se présentent.**

Ces dispositifs sont décrits dans des Notes et Mémoires divers.

**Recherche de l'argon dans les gaz de la vessie natatoire  
des Poissons et des Physalies.**

*Comptes rendus*, 9 mars 1896; en commun avec M. J. Richard.

Nous avons trouvé que l'argon est présent dans l'organisme d'animaux vivant au sein de la mer, à des profondeurs atteignant 1385<sup>m</sup> et qu'il s'y rencontre en proportion à peu près de même ordre, par rapport à l'azote, que dans notre atmosphère.

**L'argon et l'azote dans le sang.**

*Comptes rendus*, 8 février 1897; en commun avec M. P. Regnard.

Il nous a semblé intéressant de chercher si l'argon existait dans le sang circulant et dans quelle proportion. 10<sup>lit</sup> de sang ont été pris à la jugulaire d'un cheval de manière à éviter tout contact du liquide avec l'air extérieur. Nous avons tiré de ce sang un volume de gaz qui nous a suffi pour la recherche à faire. Exécutant les dosages comme on l'a vu, nous avons trouvé par litre de sang : Az 20<sup>cc</sup>, 0 et Argon 0<sup>cc</sup>, 419. En vue de conséquences à tirer de ces chiffres, nous avons déterminé la solubilité de l'azote chimique (provenant de protoxyde d'azote) et celle de l'argon pur dans l'eau distillée bouillie, dans le sérum et dans le sang complet, à la température du corps de l'animal, soit à 38°. A cette température, 1<sup>lit</sup> de sang dissout, comme l'eau, 25<sup>cc</sup>, 5 d'argon et 11<sup>cc</sup>, 5 d'azote chimique. D'après

## — 36 —

cela, 1 lit de sang devrait dissoudre 8<sup>cc</sup>, 5 d'azote et 0<sup>cc</sup>, 23 d'argon. Nous avons obtenu environ le double pour les deux gaz. Nous retrouvons là le fait connu de la surcharge du sang en azote dissous, fait qu'on a attribué à la formation de composés instables entre l'azote et certains éléments du sang.

Quant à l'argon, nous avons nettement aussi constaté sa présence dans le sang en proportion bien supérieure à celle qui résulterait d'une simple solubilité. L'explication de la surcharge du sang en argon est encore à donner.

**Sur les colles à employer pour arriver à l'inviolabilité  
des matières paquetées sous papier.**

Toutes les colles se redissolvent plus ou moins vite dans le dissolvant qui a servi une première fois à leur mise en œuvre; il peut n'en être plus de même si l'on produit, après leur emploi, une modification dans leurs propriétés; c'est ainsi que l'albumine, appliquée en solution aqueuse, puis coagulée par chauffage à 100° pendant un instant, devient insoluble et fournit un collage à peu près inviolable.

**Sur la composition minérale de la ficoïde glaciale.**

J'ai fait, pour M. H. Mangon (*Comptes rendus*, janvier 1883), l'analyse complète de la partie minérale de la ficoïde glaciale. Entre autres particularités, j'ai trouvé que cette plante contenait une quantité de matière minérale inusitée, représentant presque la moitié de la substance sèche. De plus, la proportion d'alcali, et spécialement de soude, susceptible d'être absorbée par la plante était si élevée que M. H. Mangon a proposé d'essayer la culture de la ficoïde glaciale pour dessaler certains terrains du littoral méditerranéen.