

BULLETIN DES SÉANCES

SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY

DE LA

SOCIÉTÉ DES SCIENCES

DE NANCY

ANCIENNE SOCIÉTÉ DES SCIENCES NATURELLES DE STRASBOURG

FONDÉE EN 1828

Série III. — Tome IV. — Fascicules I à IV

5^e ANNÉE. — JANVIER-DÉCEMBRE 1903

COMPOSANT LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY

ANCIENNE SOCIÉTÉ DES SCIENCES NATURELLES DE STRASBOURG

MEMBRES HONORAIRES

ÉLUS PAR RANG D'ANCIENNETÉ

BERGER-LEVRAULT ET C^{ie}, ÉDITEURS

PARIS

5, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY

18, RUE DES GLACIS

1903



BULLETIN DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY

**Fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes
en forêt. Nouvelles expériences, par E. HENRY.**

Dans une communication précédente¹, après avoir rappelé quels sont les gains et les pertes d'azote éprouvés par les sols forestiers, je disais que les causes de gain l'emportaient de beaucoup en culture forestière sur la déperdition, puisque l'on voit des sols de sable pur sans matière organique ni azote (dunes et landes de Gascogne, par exemple) supporter de magnifiques futaies de pin maritime — qui représentent déjà un chiffre important de matière azotée — et s'enrichir constamment en azote comme le montrent les analyses.

Outre les sources d'azote combiné déjà connues, j'en signalais une nouvelle, sur laquelle on n'avait pas encore appelé l'attention : c'est la *fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes*.

« En résumé, disais-je, d'après ces premiers résultats d'essais que je poursuis en variant le matériel et les conditions d'expérience, je crois avoir montré l'une des raisons, la plus importante peut-être et, en tout cas, la plus générale, pour lesquelles la forêt enrichit le sol en azote. »

En décembre 1895, après un an d'exposition à l'air dans le jardin de l'École forestière de Nancy, les feuilles mortes de chêne placées sur une plaque de calcaire qui garnissait le fond d'une

1. « L'azote et la végétation forestière. » (*Bulletin de la Société des sciences*, t. XV, 1897, p. 1-23.)

caisse en zinc recouverte d'un filet, renfermaient 1,923 p. 100 d'azote et les feuilles mortes de charme placées sur une plaque de grès bigarré contenaient 2,246 p. 100 d'azote, les feuilles étant supposées desséchées à 100°.

Comme les taux initiaux étaient de 1,108 pour le chêne et de 0,947 pour le charme, le gain a été de 0^{gr},815 d'azote par 100 grammes de feuilles de chêne et de 1^{gr},299 par 100 grammes de feuilles de charme.

Mais, pendant cette année, les feuilles de chêne ont perdu 21,62 p. 100 de leur poids primitif à 100° et les feuilles de charme 23,01 p. 100.

Si nous rapportons les chiffres d'azote trouvés après un an d'exposition à l'air, non plus aux feuilles déjà décomposées qui ont perdu le cinquième de leur poids, mais aux feuilles mortes prises au début de l'expérience, le taux de 1,923 devient 1,508 pour le chêne, accusant un gain d'azote de 1^{gr},508 — 1^{gr},108 = 0^{gr},400 pour 100 grammes de feuilles mortes pesées au moment de l'installation.

Quant aux feuilles de charme, le taux de 2,246 devient 1,727 avec un gain d'azote de 1^{gr},727 — 0^{gr},947 = 0^{gr},780 p. 100 grammes de feuilles fraîchement mortes.

Ces gains sont très importants, puisqu'ils s'élèvent à la moitié ou aux deux tiers du taux primitif.

En admettant que le sol de la forêt reçoive à chaque automne par hectare 3000 kilogr. de feuilles mortes (desséchées à 100°), c'est un poids de 23^{kg},4 d'azote pour le peuplement de charme et de 12 kilogr. pour la futaie de chêne que l'atmosphère fournit à la couverture, c'est-à-dire presque le quantum absorbé par la fabrication du bois.

Les feuilles de deux autres caisses identiques (chêne sur plaque de grès bigarré, charme sur plaque de calcaire) furent laissées deux ans à l'air, de décembre 1894 à décembre 1896. De plus, en mai 1896, j'ai ajouté à chaque caisse 50 grammes de terre fine de la forêt de Haye (près Nancy) dont j'avais préalablement dosé l'eau et les matières organiques. Les dosages d'azote donnèrent des résultats absolument concordants avec les précédents : 1,73 p. 100 de feuilles mortes séchées à 100° pour le chêne sur grès bigarré ; 2,15 p. 100 pour le charme sur calcaire, c'est-à-dire un peu moins (0,1 à 0,2 p. 100) que le chiffre trouvé à la fin de

la première année ; mais ces chiffres sont toujours, on le voit, très supérieurs aux taux primitifs.

Pendant ces deux ans, les feuilles de chêne ont perdu 29,64 p. 100 de leur poids à 100° et les feuilles de charme 28,61 p. 100.

En tenant compte des 28 à 29 p. 100 disparus, c'est-à-dire en rapportant ces taux aux feuilles initiales, on constate néanmoins un enrichissement absolu de 0^{sr},11 d'azote p. 100 du poids primitif des feuilles de chêne et de 0^{sr},58 pour le charme.

Ainsi donc, si les choses se passent dans la nature comme dans les essais dont je viens de parler, les 3300 kilogr. de feuilles mortes reçus annuellement par un hectare contiennent au moment de leur chute 1 p. 100 d'azote, soit 33 kilogr. d'azote ou 206 kilogr. de matières albuminoïdes.

Un an après, ces 3300 kilogr. se sont réduits à 2640 kilogr. à 2 p. 100 d'azote en moyenne, ce qui équivaut à 53 kilogr. d'azote ou 331 kilogr. de matières azotées du type albuminoïde par hectare. *Le gain d'azote par hectare s'élève donc à 20 kilogr.*

Au bout de deux ans, les feuilles de chêne et de charme, qui avaient subi comme en forêt toutes les influences atmosphériques et qui reposaient sur une dalle calcaire ou gréseuse horizontale de façon que l'humidité s'y maintint le plus longtemps possible, étaient complètement noires, mais parfaitement reconnaissables, les feuilles de charme aussi bien que celles de chêne, malgré ce que l'on dit de leur plus grande altérabilité. Elles étaient loin d'être réduites à l'état d'humus.

Les dalles de calcaire ou de grès, très propres au début, s'étaient peu à peu recouvertes d'un enduit verdâtre (algues et même petites mousses). Grâce à l'horizontalité, à l'épaisseur et à la porosité du substratum, l'humidité s'y était maintenue presque à toutes les saisons, favorisant le développement de cette végétation chlorophyllienne qui, s'installant sans doute aussi sur les feuilles, a peut-être un peu contribué à l'augmentation de leur teneur en azote.

Il était intéressant de voir ce que deviendraient, au point de vue de la captation d'azote, les feuilles mortes, soit placées à même sur le sol en forêt, soit disposées sur un substratum tel que le sable siliceux pur (sable de verrerie) qui se dessèche complètement avec une si grande facilité. Il était à prévoir que, dans ce dernier cas, les bactéries captatrices d'azote seraient tout aussi

bien entravées dans leur développement que les bactéries de l'éremacausis.

On sait que Wollny a prouvé que les matières organiques se décomposaient d'autant plus vite — c'est-à-dire étaient d'autant plus envahies par les bactéries — qu'elles étaient plus humides, à condition pourtant (cela va de soi) que l'eau n'obstrue pas les pores au point d'empêcher l'action de l'air.

D'autre part, Möller a montré que des feuilles de charme, des aiguilles de pin noir d'Autriche desséchées au soleil et mélangées à du sable quartzéux desséché de la même façon ne donnaient pas d'acide carbonique; dès qu'on eut ajouté de l'eau, le gaz se produisit abondamment.

Expériences de 1897. — Au moment de la chute des feuilles, j'installai le 1^{er} novembre 1897, en pleine forêt de Haye (massif domanial de 6 000 hectares situé entre Nancy et Toul), à la pépinière de Bellefontaine, dans le petit enclos sous bois où se trouve l'évaporomètre, quatre cadres en bois de 0^m,50 sur 0^m,50 renfermant chacun 100 grammes de feuilles de chêne, hêtre, charme, tremble et recouverts d'un filet. Quatre autres, garnis de même, furent placés en plein air dans le jardin du brigadier. J'avais eu soin de faire balayer longtemps à l'avance les emplacements pour voir si des vers de terre ou des larves d'insectes ne viendraient pas bouleverser le sol, ce qui arriva au début; mais au bout de trois semaines les places balayées restèrent bien nettes et je pus croire le sol complètement nettoyé de rongeurs souterrains.

Ces feuilles avaient été cueillies le 17 octobre 1897 par un temps très chaud et leur dessiccation à 100° donne le taux d'eau des feuilles au moment de leur chute, taux inscrit avec celui de l'azote dans le tableau ci-dessous¹ :

	Charme.	Chêne.	Hêtre.	Tremble.
Eau	51,9	53,3	56,7	56,2
Azote total	1,752	1,402	1,227	0,876

Au mois de mai, les jeunes feuilles renferment 70 à 78 p. 100 d'eau, puis ce taux s'abaisse et reste sensiblement constant de juin à la fin de la période de végétation, oscillant entre 50 et

1. Les feuilles de charme et de chêne ont été cueillies sur de jeunes rejets, tandis que celles de hêtre provenaient d'un baliveau; les feuilles de tremble étaient à la veille de leur chute et se détachaient au moindre effort.

60 p. 100. Étalées sur une surface sèche dans un endroit chaud et aéré, les feuilles perdent encore de l'eau et leur teneur tombe invariablement comme on le voit plus loin, entre 14 et 16 p. 100.

Mais lorsque les feuilles furent mises en place, les vers de terre, attirés par cette nourriture, revinrent visiter les emplacements qu'ils avaient abandonnés et, après l'hiver, le 10 mars 1898, il y avait des trous de ver dans les cadres de l'enclos de l'évaporomètre et plus encore dans ceux placés en plein air. Dès cette époque, il ne restait presque plus rien des feuilles de charme. Donc les vers avaient travaillé activement pendant l'hiver, peu rigoureux, il est vrai, et il leur avait suffi de ces cinq mois d'hiver pour détruire les quatre cinquièmes environ des feuilles de charme. Le 17 juillet, il n'y avait plus trace de feuilles de charme, soit sous bois, soit en plein air, tandis que les feuilles de chêne, hêtre, tremble, plus ou moins rongées, rassemblées en autant de tas qu'il y avait de gros vers (*Lumbricus terrestris*), présentaient encore quelques débris.

Cet accident m'a amené à faire des recherches sur les préférences qu'ont les vers de terre pour les feuilles de certaines espèces. Il m'a permis de démontrer que, si les feuilles de charme disparaissent dès le printemps qui suit leur chute, ainsi que tous les forestiers le constatent, ce n'est pas du tout parce qu'elles se décomposent plus vite que celles des autres essences (ce que montrent du reste les essais décrits ci-après), c'est parce que les vers de terre les recherchent de préférence et ainsi se trouve expliquée l'apparente contradiction qu'il y avait entre mes recherches sur la décomposition des feuilles mises dans des caisses en zinc et les faits naturels¹.

Rapportons brièvement l'une de ces expériences.

Le 1^{er} août 1898, je remplis une petite caisse en bois de 0^m,50 sur les trois côtés avec de la terre du jardin de l'École forestière qui abonde en gros vers, mais qui en avait été débarrassée en l'émiettant et la séchant au soleil. J'y mis cinq gros vers et je disséminai à la surface :

50 feuilles de charme pesant (à 100 ^o).	3 ^{gr} , 295
50 feuilles de chêne —	10 , 500
50 feuilles de hêtre —	5 , 120
	18 ^{gr} , 915

1. Voir : « Les vers de terre en forêt ». (*Bulletin des séances de la Société des Sciences de Nancy*, 1900.)

Le 5 août déjà, les vers avaient travaillé et, le 7 octobre, soit soixante-six jours après, on retrouve :

7 feuilles de charme pesant (à 100°)	0gr,330
46 feuilles de chêne —	7 ,470
45 feuilles de hêtre —	3 ,770
	<hr/>
	118r,570

Dans ces soixante-six jours, les vers ont mangé 6^{gr},475 de feuilles, soit plus du tiers de la matière organique qui leur a été fournie, mais tandis qu'ils ont laissé sur le sol 71 à 73 p. 100 des feuilles de hêtre ou de chêne, ils n'ont rebuté que la dixième partie des feuilles de charme ; il ne restait guère que les nervures. Chaque ver a détruit en deux mois 1^{er},55 de matière organique desséchée à 100°. Il serait facile, en installant aussitôt après la chute des feuilles sur divers points d'une forêt des cadres d'une surface connue et recouverts d'un filet, de déterminer le poids de feuilles mortes absorbées annuellement par les vers et rendues au sol sous forme d'humus et la répartition, suivant les sols et les régions, de ces obscurs, mais si utiles, travailleurs du sol. Sur chacune de ces places préalablement nettoyées de toute matière organique et bien limitées par ces cadres, on disposerait un poids et un nombre connu des feuilles des diverses essences du peuplement ; en les recueillant au bout d'un an, on verrait d'abord quelles sont les préférences des vers et la différence de poids donnerait la somme des décompositions par les microbes et par les vers de terre.

En installant une autre série d'expériences où l'on se mettrait à l'abri des vers de terre, on ferait la part exacte de chacun des deux facteurs dans l'ensemble du phénomène.

En tout cas cet essai, infructueux au point de vue de la recherche de la fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes *in situ*, cet essai et plusieurs autres qui ont eu le même résultat m'ont convaincu qu'il était impossible, dans ces conditions, de se mettre à l'abri des vers de terre, tant ils sentent de loin la nourriture qu'ils aiment. Il faut opérer, comme je l'ai fait l'année suivante, dans des caisses placées en forêt, mais au-dessus du sol et il n'est pas encore facile d'empêcher les vers de s'y rendre.

Si les vers n'ont jamais été considérés comme des animaux fixateurs d'azote, ils ne jouent pas moins, sous le rapport de l'as-

similabilité des matières azotées, un rôle des plus utiles dans le sol forestier.

Déjà Wollny avait montré que la quantité de matières azotées solubles et de principes minéraux solubles est plus grande dans la terre garnie de vers. Tout récemment M. Duserre, directeur de l'établissement fédéral de chimie agricole à Lausanne, s'occupant à nouveau de cette question, vient de déterminer d'une façon précise l'influence des lombrics sur les matières azotées et minérales du sol¹. Il ressort de ses analyses que, pour l'azote, la transformation en produits ammoniacaux et la nitrification finale sont activées par le passage de la matière azotée dans le corps du ver².

En même temps que j'installais les essais de Bellefontaine, je disposais (3 novembre 1897) dans le jardin de l'École forestière quatre caisses en zinc garnies de dalles calcaires ou gréseuses et recouvertes d'un treillis métallique et deux caisses en bois remplies l'une de sable pur, l'autre de craie, et couvertes d'un filet en ficelle.

Voyons ce que sont devenues ces feuilles au bout d'un an (9 octobre 1898) au point de vue du taux d'azote.

De 50 grammes de feuilles de hêtre, contenant 21^{gr},65 de matière sèche, disposées dans une caisse en zinc garnie d'une dalle calcaire on n'a plus retrouvé que 16^{gr},78, ce qui accuse une perte de 22,5 p. 100.

Le taux d'azote, qui était primitivement de 1,227, s'est élevé à 1,783, ce qui correspond à une fixation d'azote de 0,200, puisque, en tenant toujours compte des 22,5 p. 100 disparus, le taux nouveau ne devrait être que 1,583.

Les feuilles de tremble de la caisse remplie de craie pesaient à la fin de l'expérience 24 grammes, tandis que leur poids primitif à 100° était de 43^{gr},8. Il a disparu 19^{gr},8, soit 45,2 p. 100 du poids initial.

Le taux d'azote a doublé; il s'est élevé de 0,876 à 1,751, tandis qu'en tenant compte des 45,2 p. 100 disparus il ne devrait s'élever qu'à 1,598. Le gain d'azote a donc été ici de 1,751 — 1,598 = 0,153.

1. Voir *Journal d'agriculture pratique*, t. III, 1902, p. 700.

2. Je me suis assuré qu'à Nancy et dans la forêt de Haye les vers de terre travaillent pendant tout l'hiver, du moins quand il n'est pas rigoureux et que la neige ne couvre pas le sol.

Un même poids de ces feuilles de tremble a été disposé dans une caisse en zinc garnie d'une dalle de grès bigarré. A la fin de l'expérience, elles pesaient 30^{gr},5, tandis que leur poids primitif à 100° était de 43^{gr},8. Il a disparu 13^{gr},3, soit 30,36 p. 100 du poids initial. Les deux taux d'azote, au début et à la fin, sont les mêmes que pour les feuilles sur craie, c'est-à-dire 0,876 et 1,751. Au lieu de ce dernier taux, on n'aurait dû trouver, en rapportant toujours le chiffre d'azote au poids primitif, que 1,258.

La fixation d'azote a donc été de $1,751 - 1,258 = 0,493$ p. 100 de feuilles de tremble desséchées à 100°.

Dans les deux cas suivants, feuilles de chêne sur calcaire et feuilles de charme sur grès bigarré, on a soumis à plusieurs lavages les feuilles noircies pour les débarrasser de cet enduit et voir ce que donnerait l'analyse faite dans de telles conditions. Ces lavages ont certainement enlevé des matières azotées qui constituaient une partie du résidu noir dont l'eau s'était chargée. Aussi n'y a-t-il rien d'étonnant à voir le taux d'azote devenir pour les feuilles de charme quelque peu inférieur au taux primitif. Ce taux de 1,752 est devenu 2,860 et le poids s'est abaissé de 48^{gr},1 à 24^{gr}, accusant une perte en matière sèche de 49,9 p. 100.

Avec une disparition si considérable, le taux final aurait dû s'élever à 3,497 pour qu'il n'y eût point de perte en azote.

Les feuilles tendres et minces du charme ont plus perdu dans ces lavages, comme on devait s'y attendre, que les feuilles plus épaisses et plus coriaces du chêne, lesquelles accusent encore, malgré ce traitement, une légère augmentation d'azote.

Les 46^{gr},7 du début se sont réduits à 28^{gr},5, ce qui correspond à une perte de 38,54 p. 100. Le taux d'azote passe de 1,155 à 1,991. D'après la proportion $\frac{61,46}{100} = \frac{11,55}{x}$, on devrait trouver pour x 1,879.

Expériences de 1898. — Le 20 octobre 1898, on a cueilli des aiguilles à la veille de leur chute sur de jeunes *pins noirs d'Autriche* de la pépinière de Bellefontaine (forêt domaniale de Haye). Le 25 octobre, on a pris sur le même arbre que l'année précédente des feuilles de *hêtre* prêtes à tomber. En secouant l'arbre bon nombre de feuilles se détachaient et la plupart des hêtres voisins étaient déjà défeuillés. Ce même jour, on a cueilli des

feuilles de *peuplier-tremble*, de *chêne*, de *charme*, d'*épicéa* se détachant au moindre effort. Les feuilles de charme, cueillies sur de jeunes rejets, sont celles qui par leur teinte et leur aspect ressemblent le plus à des feuilles vivantes. Séchées à l'air au laboratoire, elles deviennent d'un beau jaune. Après viennent celles de hêtre, puis celles de tremble, jaunes, parsemées de taches brunes. Les feuilles de chêne, pin d'Autriche, épicéa ont tout à fait l'aspect de feuilles mortes. On a ensuite pesé trois ou quatre lots de 30 grammes ou de 40 grammes de ces diverses feuilles, munies encore de l'eau qu'elles renfermaient sur l'arbre. L'un des lots a servi à la détermination de l'eau et de l'azote ; les autres ont été mis en expérience dans des conditions diverses.

Le tableau suivant donne les taux d'eau et d'azote des feuilles mortes de différentes essences, *cueillies sur l'arbre et desséchées à l'air au laboratoire* :

	Charme.	Chêne.	Hêtre.	Tremble.	Épicéa.	Pin d'Autriche.
Eau	14,81	15,47	15,00	16,00	13,89	14,00
Azote total .	1,389	0,987	0,884	0,821	0,821	0,442

Donc les feuilles des arbres *feuillus ou résineux*, cueillies sur l'arbre par un temps sec à la veille de leur chute et desséchées à l'air autant que possible, *contiennent invariablement 14 à 16 p. 100 d'eau* qui ne disparaît qu'après dessiccation à 100°-110°. Nous venons de voir que, si on les pèse aussitôt après la cueillette, on y trouve 52 à 56 p. 100 d'eau. Quant au taux d'azote que renferment les feuilles à leur mort, il varie pour celles qui ont été analysées du simple au triple. Le pin d'Autriche, essence peu exigeante aussi bien au point de vue de l'azote que des principes minéraux, présente, on devait s'y attendre, le taux le plus faible. Ses aiguilles ne contiennent que la moitié des matières azotées que l'on trouve dans celles de l'épicéa et dans les feuilles des autres arbres, à l'exception du charme qui est trois fois plus riche que le pin d'Autriche, ce qui tient en partie à l'état jeune des tiges qui portaient les feuilles. Car ces organes, analysés en 1894, n'ont donné que 0,947 p. 100 d'azote.

Il est superflu d'ajouter que ces chiffres n'ont qu'une valeur relative ; ils montrent ce qu'est la teneur en azote des feuilles à leur chute pour une essence, un âge, une région, un sol, une

année donnés ; mais il est certain qu'ils varient avec ces divers facteurs et d'autres encore¹. En novembre 1898, les lots de feuilles, exactement pesés, furent mis en expérience dans le jardin du brigadier de Bellefontaine, en pleine forêt de la façon suivante :

On a pris de la terre de la pépinière qu'on a purgée avec le plus grand soin des vers et larves qu'elle pouvait contenir, afin d'éviter l'intervention de toute pâture animale qui avait fait manquer les expériences de 1897. Cette terre a été placée dans des caisses en zinc ou en bois, bien arrosée, puis recouverte d'une couche de 5 centimètres de sable blanc pur sur lequel on a disséminé les feuilles. Ce revêtement de sable avait un double but.

Il s'agissait de voir si, sur un sol si filtrant, si sec, si pauvre, si peu favorable à la pullulation des bactéries, la captation d'azote aurait lieu néanmoins. En outre, sur le sable blanc les galeries des vers ou larves souterraines, s'il y en avait encore ou s'il s'en introduisait, devaient se voir nettement. Les caisses, au nombre de douze, furent recouvertes de filets à mailles serrées et abandonnées à l'air libre.

Le 30 juillet 1889, il n'y en a déjà plus que quatre en bon état. Les vers ont senti les feuilles de charme et se sont introduits dans les quatre caisses où elles se trouvaient, les entraînant dans leurs galeries et gâtant par suite les résultats relatifs à cette essence². Certaines caisses contenant des feuilles de chêne, de tremble et de hêtre ont été aussi envahies par les vers, si bien que, le 22 octobre 1899, quand on mit fin à l'expérience, il n'y avait plus que trois caisses intactes dont l'une était garnie de feuilles de hêtre, l'autre d'aiguilles d'épicéa, et la troisième d'aiguilles de pin noir.

Il résulte de ces constatations qu'il est très difficile, sinon impossible, de se mettre à l'abri des vers si l'on veut placer les feuilles dans des conditions semblables à celles de la nature,

1. Nos analyses le montrent nettement, puisque suivant les années et les tiges qui ont été défeuillées, on a trouvé, pour les feuilles de chêne à leur chute, des taux d'azote de 1^{er},108, 1^{er},402, 0^{er},987 ; pour le charme, 0^{er},947, 1^{er},752, 1^{er},389 ; pour le hêtre, 1^{er},227 et 0^{er},884 ; pour le tremble, 0^{er},876 et 0^{er},821.

2. Bien que les feuilles de charme, placées dans une caisse en zinc dont l'eau ne pouvait s'écouler, aient été immergées dès la première pluie, les vers aiment tellement cet aliment que j'en ai trouvé, au mois d'octobre, une quarantaine noyés dans l'eau de la caisse.

c'est-à-dire en forêt, sur du sol, fût-il de sable pur, et presque à ras de terre.

On récolta avec le plus grand soin les feuilles de pin, d'épicéa et de hêtre. On vérifia, en passant la terre au crible, s'il ne restait pas de débris de feuilles dans le sol et s'il n'y avait pas de vers dans les caisses : on n'en trouva pas.

Voici les résultats des analyses :

Hêtre. — Les feuilles de hêtre pesaient au début de l'expérience 30 grammes, ce qui équivaut à 25^{sr},5 à 100°, puisqu'elles contenaient 16 p. 100 d'eau.

Au bout de onze mois, ces 25^{sr},5 sont réduits par l'éremacausis à 17^{sr},2 : donc 32,5 p. 100 de matière organique desséchée à 100° ont été enlevés par les actions microbiennes et chimiques. *Le taux d'azote sur cette terre recouverte de sable pur n'a pas varié.*

Car le taux trouvé a été de 1,314 d'azote p. 100 de feuilles de hêtre prises à la fin de l'expérience, ce qui correspond à 67^{sr},45 des feuilles initiales, puisque 32,55 p. 100 ont disparu. En calculant le taux d'azote x dans les feuilles laissées à l'air d'après la

formule $\frac{67,44}{0,884} = \frac{100}{x}$, on trouve pour x 1,310, c'est-à-dire le chiffre donné par l'analyse.

Pins d'Autriche. — Les 50 grammes mis en expérience correspondent à 43 grammes à 100°, puisqu'il y a 14 p. 100 d'eau. Ces 43 grammes sont devenus 38^{sr},5 par l'éremacausis ; il a disparu seulement 10,46 p. 100. On sait que ce sont les aiguilles de pin, riches en résine, qui résistent le mieux à la décomposition.

Le taux d'azote primitif était de 0,442. Au bout d'un an, il s'élève à 0,611 ; mais les 100 grammes primitifs sont devenus

89^{sr},54. Donc $\frac{89,54}{0,432} = \frac{100}{x}$; d'où x , le taux d'azote qui devrait

exister en tenant compte de l'éremacausis, = 0,493. — Le chiffre donné par l'analyse est 0,611. Il y a donc eu un faible gain d'azote de 0,611 — 0,493 = 0^{sr},118 p. 100 de la matière primitive. Autrement dit, 100 grammes d'aiguilles de pin d'Autriche ont gagné 118 milligrammes d'azote équivalant à 740 milligrammes de principes albuminoïdes.

Épicéa. — Les 50 grammes mis en expérience correspondent

à 43^{gr},05 à 100°, puisqu'il y a 13^{gr},9 p. 100 d'eau. Ces 43^{gr},05 sont devenus 35 grammes par l'éremacausis ; il a disparu 18,6 p. 100.

Le taux d'azote primitif était de 0,821. Au bout d'un an, il s'élève à 1,162 ; mais les 100 grammes primitifs sont devenus 81^{gr},4. Donc $\frac{81,4}{100} = \frac{0,821}{x}$; d'où x , le taux d'azote qui devrait

exister en tenant compte de l'éremacausis et en supposant que celle-ci n'ait altéré en rien les matières azotées, = 1,008. Le chiffre donné par l'analyse est 1,162. Il y a donc eu un faible gain d'azote de 1,162 — 1,008 = 0^{gr},154 p. 100 de la matière primitive.

Conclusions. — En s'appuyant sur les trois séries d'expériences précédentes, il semble qu'on soit en droit de conclure que :

1° *Les feuilles mortes (chêne, hêtre, charme, tremble, pin d'Autriche, épicéa), soit seules, soit mélangées à de la terre, ont la propriété, surtout quand elles sont sur des substratums humides (terre argileuse, plaques de grès ou de calcaire), de fixer en proportions notables l'azote de l'air¹ ;*

2° *Les feuilles mortes (hêtre, pin, épicéa) placées en forêt sur du sable siliceux pur, constituant un substratum très pauvre et très sec, ou bien ne s'enrichissent pas en azote (hêtre) ou bien s'enrichissent dans une proportion insignifiante (pin, épicéa). En tout cas, il n'y a jamais perte d'azote ;*

3° *Il est très difficile de faire des expériences de ce genre en forêt à cause de la quasi-impossibilité où l'on se trouve se mettre à l'abri des vers de terre ;*

4° *Ceux-ci s'attaquent à toutes les feuilles, mais ont des préférences manifestes pour certaines espèces et c'est bien certainement à eux que doit être attribuée la disparition si prompte, dans la couverture morte, des feuilles de charme, même quand le peuplement est en majeure partie constitué par cette essence.*

5° *La forêt, qui constitue un milieu bactériologique bien spécial, puisque les microbes de la nitrification, par exemple, qui pullulent dans les champs n'y peuvent vivre, donne asile, tout comme les champs cultivés, aux algues et aux microbes fixateurs d'azote.*

Ces deux faits sont de la plus haute importance pour l'expli-

¹. Annales de la Science agronomique française et étrangère, t. II. 1897.

cation du rôle fertilisant que la forêt joue dans le monde. La question de l'azote est vitale pour l'agriculture. Les récoltes françaises exportent en moyenne 600 000 tonnes d'azote et la quantité de fumier produite annuellement ne contient que 326 000 tonnes d'azote environ¹. L'agriculteur est obligé, pour empêcher la stérilisation de sa terre, de réparer incessamment les pertes d'azote qu'elle subit et par les eaux de drainage qui emmènent les nitrates et par l'exportation des récoltes.

La forêt, au contraire, enrichit constamment le sol en azote en même temps qu'elle améliore ses propriétés physiques. Elle offre à l'homme, comme je l'ai dit ailleurs, le seul moyen qu'il possède d'enrichir sans aucuns frais, mais avec le concours du temps, les sols pauvres et de les mettre à même de porter des récoltes agricoles.

Les causes de cet enrichissement progressif du sol forestier en azote nous apparaissent clairement aujourd'hui.

1° Exportation très réduite de matières azotées, le bois, les gros bois surtout, étant très pauvres en ce rare et précieux principe.

Cette faible exportation est plus que compensée par :

2° Les apports de l'atmosphère et des eaux météoriques ;

3° La fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes et par les tubercules radicaux des légumineuses.

Quant à la déperdition, elle est nulle, ou à peu près, puisqu'il n'y a pas de nitrification². Les eaux de drainage de la forêt ne renferment pas de nitrates.

Dans mon premier mémoire³ je citais, à l'appui de mes conclusions, outre les expériences de M. Berthelot sur la fixation de

1. Voir *La Production du blé en France. Ce qu'elle est; ce qu'elle devrait être*, par L. Grandeau, 1888, p. 27.

2. Le 18 octobre dernier, je pris en forêt de Haye deux échantillons voisins de sol au canton des Trois-Fourchons sans déranger sa structure et deux autres dans la futaie située derrière la pépinière de Bellefontaine. De ces quatre échantillons, deux restèrent dans les cylindres métalliques qui avaient servi à les recueillir; les deux autres furent émiettés et étalés sur des assiettes. On sait combien l'émiettement favorise la nitrification. Les quatre échantillons furent arrosés, exposés à l'air et à la pluie de la même façon. Le 29 octobre, au bout de dix jours, le sulfate de diphénylamine ne décéla pas plus de nitrate dans l'un que dans l'autre. Si la nitromonade avait existé, fût-ce à l'état de vie latente, elle se serait réveillée sous l'influence de ces circonstances favorables et aurait pullulé pendant ces dix jours; ce qui n'eut pas lieu. Il est donc probable qu'elle n'existait pas dans ces deux points de la forêt de Haye.

3. *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, t. II, 1897.

l'azote par les sables argileux, le kaolin, la terre végétale, la découverte récente faite par M. Vinogradsky d'un microorganisme fixateur d'azote, le *Clostridium pasteurianum*, et l'opinion de M. Kossowitch, celle de M. Bouilhac sur la fixation de l'azote par l'association de certaines algues et de bactéries.

Depuis, les bactériologistes ont fait avancer la question. M. Neumann¹ a recherché si les bactéries qui se trouvent dans le sol en contact direct avec les nodosités des racines des légumineuses ou les microorganismes existant sur les organes aériens sont capables d'assimiler l'azote libre de l'atmosphère. Il a utilisé dans ces essais la terre adhérente aux nodosités du *Vicia faba*. — *Il y eut, dans tous les cas, assimilation d'azote.*

D'autre part, MM. Beijerinck et Van Delden viennent de démontrer² que les cultures pures d'*Azotobacter chroococcum* assimilent réellement l'azote libre de l'atmosphère. Le maximum de gain d'azote observé a été de 7 milligrammes pour 1 gramme de sucre consommé. Le mécanisme de l'assimilation de l'azote par ces associations serait, d'après Beijerinck, le suivant : les organismes assimilateurs de l'azote libre (*Granulobacter*, *Aerobacter*) sont symbiotiques de l'*Azotobacter*. Celui-ci accumule l'azote mis en combinaison par d'autres bactéries (telles que *Granulobacter*) et, comme les essais l'ont montré, sous une forme facilement transformable en ammoniacque et qui peut alors être nitrifiée.

En somme, ce fait de la fixation de l'azote par les feuilles mortes des forêts devient de jour en jour moins surprenant à mesure que s'élargit le champ des découvertes en bactériologie. Sur une trentaine d'essais, installés dans des conditions diverses, onze seulement n'ont pas été troublés par des causes d'erreur (vers de terre, excès d'eau) et ont pu être utilisés. Neuf ont accusé une captation d'azote plus ou moins intense; un autre (hêtre sur sable pur) n'a pas varié dans son taux d'azote; dans le dernier il y eu diminution, mais on se rappelle qu'il s'agissait de feuilles de charme qui, à la fin de l'expérience, ont été soumises à plusieurs lavages.

En présence de ces résultats³, je considère comme démontré le

1. *Annales agronomiques*, 1902, p. 378.

2. Voir le *Centralblatt für Bacteriologie*, t. II, 1902. (Analysé dans *Botanische Zeitung*, numéro du 1^{er} janvier 1903, p. 11.)

3. Pour plus de sûreté, la plupart des analyses ont été faites à la fois au labora-

fait de la fixation de l'azote de l'air par les feuilles mortes de nos arbres forestiers. Par quel mode, par quels intermédiaires s'opère cette captation ? C'est ce que je ne puis préciser. Il est probable qu'outre les bactéries fixatrices d'azote, dont nous ne connaissons encore qu'un très petit nombre (*Clostridium pasteurianum*, *Granulobacter*, *Azotobacter*), les végétaux inférieurs (algues, hyphomycètes, lichens, mousses) qui se développent si aisément sur les substratums les plus divers, surtout en présence de l'humidité, interviennent dans une certaine mesure.

toire de l'École forestière, à la Station agronomique de l'Est, à Paris (43, rue de Lille), et à la Station agronomique de Nancy.

La critique qu'Ebermayer a faite des conclusions de mon travail (voir *Forstlich-Naturwissenschaftliche Zeitschrift*, 1898, p. 180-182) n'a aucune valeur, puisqu'elle ne s'inspire que d'idées théoriques, d'opinions *a priori* sans fondement, telles que celles-ci : « Un enrichissement en azote ne serait possible que si les nombreuses bactéries participant à la décomposition avaient, à l'état isolé, la propriété d'assimiler l'azote, ce qui est très invraisemblable, d'après tout ce que l'on sait jusqu'ici des conditions biologiques des bactéries et ce dont il faudrait d'abord fournir la preuve expérimentale. » Or, on sait que cette preuve vient d'être fournie par les savants cités plus haut. Ebermayer ajoute : « Jusqu'ici nous ne connaissons que les algues vertes du sol qui aient le pouvoir de transformer de faibles quantités d'azote libre. » Je crois aussi que certains végétaux inférieurs autres que les bactéries jouent un rôle dans le phénomène. « Les algues pourvues de chlorophylle, dit M. Dehérain (*Chimie agricole*, 1902, p. 465), créent de la matière organique et peuvent dès lors nourrir les bactéries fixatrices d'azote. »

La chaleur à Nancy, de 1878 à 1903 (températures de 30° et au-dessus), par C. MILLOT.

ÉTÉS.	NOMBRE DE JOURS où le maximum diurne s'est élevé à 30° et au-dessus.				DATE de la première TEMPÉRATURE de 30° ou au-dessus.	DATE de la dernière TEMPÉRATURE de 30° ou au-dessus.	TEMPÉRATURE LA PLUS ÉLEVÉE, sa date.	PLUS GRAND NOMBRE DE JOURS CONSÉCUTIFS où le maximum diurne a été de 30° et au-dessus.
	Mai.	juin.	juillet.	Août.				
1878	»	»	1	»	21 juillet	21 juillet	31° , le 21 juillet	1, le 21 juillet.
1879	»	5	3	»	11 juin	21 août	36°4, le 3 août	4, du 31 juillet au 3 août.
1880	»	3	7	»	25 mai	29 juillet	36° , le 16 juillet	4, du 14 au 17 juillet.
1881	»	2	15	»	21 juin	8 août	39°2, le 16 juillet	9, du 12 au 20 juillet.
1882	»	2	2	»	3 juin	19 juillet	31°3, le 24 juin	1, les 3 et 24 juin, les 15 et 19 juill.
1883	»	2	2	»	5 juin	14 août	32°2, le 29 juin	2, les 29 et 30 juin.
1884	»	»	11	»	2 juillet	12 août	33° , le 13 juillet	3, du 6 au 10 août.
1885	»	2	10	»	28 mai	10 août	32°2, le 5 juin	5, du 4 au 8 juin.
1886	»	2	5	»	21 mai	3 septemb.	34°2, le 19 juillet	6, du 29 août au 3 septembre.
1887	»	5	9	»	14 juin	9 août	34°3, le 30 juillet	4, du 6 au 9 août.
1888	»	3	»	»	3 juin	5 juin	33° , le 3 juin	3, du 3 au 5 juin.
1889	»	4	3	»	1 ^{er} juin	12 juillet	31° , le 1 ^{er} juin, les 40 et 41 juillet	3, du 10 au 12 juillet.
1890	»	1	2	»	26 juin	10 août	31°6, le 15 juillet	1, le 26 juin, les 15 et 17 juillet, le 1 ^{er} et le 10 août.
1891	»	2	1	»	29 juin	1 ^{er} juillet	32° , les 29 et 30 juin	3, du 29 juin au 1 ^{er} juillet.
1892	»	5	2	»	26 mai	24 août	37° , le 17 août	5, du 15 au 19 août.
1893	»	3	6	»	17 juin	23 août	33°3, le 4 juillet	6, du 16 au 21 août.
1894	»	1	6	»	30 juin	26 août	32°6, le 24 juillet	3, du 30 juin au 2 juillet, et du 22 au 24 juillet.
1895	»	3	7	»	28 juin	10 septemb.	33°4, le 8 septembre	4, du 25 au 28 juill., et du 19 au 22 août
1896	»	8	»	»	7 juillet	26 juillet	34° , le 9 juillet	4, du 7 au 10 juillet.
1897	»	2	9	»	30 mai	11 août	34° , le 29 juin	4, du 30 mai au 2 juin.
1898	»	1	5	»	21 juin	9 septemb.	34°8, les 18 et 19 août	9, du 14 au 22 août.
1899	»	3	15	»	6 juin	6 septemb.	35°4, le 21 juillet	3, du 2 au 6 août.
1900	»	3	15	»	4 juin	19 août	36°4, le 20 juillet	7, du 15 au 21 juillet.
1901	»	1	6	»	31 mai	10 août	33°6, le 13 juillet	7, du 8 au 14 juillet.
1902	»	3	9	»	3 juin	26 juillet	32°6, le 7 juillet	5, du 5 au 9 juillet.
1903	»	2	5	»	29 mai	6 septemb.	33° , les 28 et 29 juin	2, les 29 et 30 mai, les 28 et 29 juin, les 2 et 3, 11 et 12 juillet, les 5 et 6 septembre.
Élé moyen.	1	3	6	3	12 juin	10 août	33°8, le 16 ou le 17 juillet	4, du 15 au 18 juillet.

Charles Authelin. Ses travaux scientifiques, par René NICKLÈS, professeur adjoint de géologie à la Faculté des sciences de l'Université de Nancy, collaborateur adjoint au Service de la carte géologique de la France.

Messieurs,

Certains caractères semblent par leur modestie vouloir à tout prix cacher leur réel mérite ; incompris souvent de ceux qui ne les voient qu'en passant, ils paraissent s'être réservés entièrement pour ceux qui, pouvant mieux les connaître par des relations fréquentes et par la culture d'une même science, sont à même de se rendre compte de leur valeur que rehausse encore cet effacement volontaire.

De ce nombre était certainement Charles Authelin, préparateur de géologie à la Faculté des sciences de l'Université de Nancy.

Né à Mailly le 8 octobre 1871, il avait montré très tôt de bonnes dispositions qui après d'excellentes études l'avaient conduit, en 1888, à l'École normale primaire de Nancy. Après y avoir passé les trois années réglementaires et avoir obtenu en 1891 son brevet supérieur, il avait pendant six ans exercé les fonctions d'instituteur adjoint à Flavigny d'abord, puis à Nancy, à l'école des Cordeliers.

Il était doué d'un goût prononcé pour les sciences naturelles, et la géologie en particulier avait pour lui un attrait tout spécial. Il suivit assidument en 1897 les excursions géologiques de la Faculté des sciences : je le remarquai dès la première de ces excursions : parlant peu, il n'osait vaincre sa timidité que quand il avait à émettre une remarque qu'il lui semblait ne pouvoir garder pour lui.

Ses réflexions extrêmement justes dénotaient un esprit observateur au suprême degré. Un fait surtout m'avait frappé : sans autre guide que les livres classiques du D^r Bleicher et de M. Brannonier, — et le désir ardent d'apprendre, — il avait essayé de rectifier le tracé de la faille de Mailly et y avait parfaitement réussi : c'était un travail extrêmement délicat, qui n'aurait semblé pouvoir être exécuté que par un géologue de profession, la faille de Mailly ne se manifestant pas dans tout son parcours par des modifications du relief, et ne pouvant être repérée qu'au moyen

des zones stratigraphiques, très souvent masquées par les alluvions anciennes de la Seille.

Ne pas chercher à encourager une telle ardeur au travail jointe à un caractère si précieusement doué eût été un acte coupable. Authelin avait bon accueil au laboratoire de géologie, et chaque jour, sa tâche finie, il venait y passer trois quarts d'heure pour classer ses fossiles et se mettre peu à peu au courant de la bibliographie paléontologique. Il entreprenait aussi l'étude des matières du certificat de géologie générale dont il subissait très brillamment les épreuves au mois de juillet 1898. Quelques jours après, il était attaché comme collaborateur auxiliaire au Service de la carte géologique de France, et chargé de relever les contours géologiques d'une partie de la feuille de Saint-Affrique.

A force de privations, il avait mis de côté le nécessaire pour demander un congé lui permettant de préparer les certificats de zoologie et de botanique. C'est à ce moment qu'il voulut faire partie de la Société des sciences où il fut admis comme membre titulaire et dont il devint plus tard secrétaire annuel. Une circonstance heureuse vint, au bout de quelques mois, améliorer une situation aussi difficile que méritoire : il fut délégué dans les fonctions de préparateur de botanique, sous la direction de M. Le Monnier, qui lui avait donné cette preuve de confiance et d'estime, bien qu'Authelin n'eût pas l'intention de poursuivre cette voie. Au mois de juillet, il obtenait le grade de licencié ès sciences naturelles ; au mois de novembre 1899, il était nommé préparateur de géologie à la Faculté des sciences à la création de ce poste.

Cette nomination fut une joie profonde pour lui ; ce fut surtout un événement des plus heureux pour le laboratoire de géologie. On peut dire que c'est de ce moment que date l'éclosion scientifique de Charles Authelin.

C'était d'ailleurs le moment où le regretté D^r Bleicher, en pleine activité scientifique, accueillait avec la bienveillance affectueuse que l'on sait les jeunes gens remplis du désir de chercher. Authelin avait eu souvent recours à ses indications et à ses conseils : le D^r Bleicher venait fréquemment au laboratoire, apportant presque chaque fois pour les collections quelques-uns des plus beaux fossiles qu'il avait recueillis. Authelin lui avait voué une pro-

fonde reconnaissance, justement méritée, et n'en parlait qu'avec vénération. Sur un esprit comme celui d'Authelin ses conseils ne pouvaient avoir qu'un heureux effet.

Extrêmement rigoureux dans l'observation, n'acceptant un fait qu'après l'avoir soumis à un examen et à une critique des plus sévères, apportant dans ses recherches une énergie et une ténacité infatigables, n'émettant une opinion que lorsqu'elle était basée sur une observation aussi consciencieuse que précise : tel était son caractère. Ces qualités rares étaient remarquablement servies par un don physique, une vue merveilleusement nette qui lui permettait de recueillir, à chaque excursion, les plus beaux échantillons là où tous les excursionnistes venaient de passer — et de chercher. A ce point de vue, il était légendaire parmi les élèves du laboratoire de géologie. Une fois lancé dans une recherche, rien ne l'arrêtait : combien de fois lui est-il arrivé, malgré mes observations — ce sont les seules que j'aie eu à lui faire, — de remplacer son repas de midi par le morceau de pain qu'il avait emporté dans son sac, pour pouvoir plus rapidement poursuivre un contour ou pour visiter un gisement paléontologique intéressant ! Certainement ce fait arrive assez fréquemment aux géologues dans leurs tournées ; mais chez lui c'était presque journalier lorsqu'il abordait une région nouvelle. Il est facile de comprendre qu'avec une telle énergie il ait pu en si peu de temps — en quatre ans — recueillir la magnifique collection qui devait servir de base à sa thèse, et qu'il a léguée par testament à l'Université de Nancy, pour être conservée au laboratoire de géologie, désirant sans doute que son œuvre ne disparût pas complètement avec lui, mais voulant encore, même après sa mort, contribuer au développement du laboratoire auquel il avait apporté tant de zèle et de dévouement.

Atteint vers le milieu de 1902 par un rhume persistant qu'il n'avait peut-être pas soigné à temps et sous lequel couvait une maladie implacable, il lutta énergiquement pendant plusieurs mois, oubliant son état en se livrant à ses recherches paléontologiques ; quand les médecins lui interdirent tout travail, il dut certainement éprouver une des plus grandes souffrances morales de son existence.

Il passa ses derniers mois, à Mailly, son pays natal, dans la petite maison ensoleillée où il était né et où il revenait tous les

ans à l'époque des vacances. C'est là que le trouvaient, — toujours courageux et souriant, malgré ses souffrances, — les amis fidèles qui pouvaient distraire de leur travail une journée pour venir le voir ; sans l'éloignement de Nancy, les visites eussent été plus fréquentes, car Authelin, malgré son peu d'expansion, avait su se faire estimer et aimer de tous par son caractère loyal et honnête. Les belles journées de la fin de l'été avaient semblé apporter une amélioration à son état ; cette amélioration était due surtout à l'affection et aux soins délicats d'une mère pour laquelle Authelin avait une piété filiale : il ne lui avait dans sa trop courte existence donné aucun souci, et sa joie de se retrouver auprès d'elle n'en était que plus pure et plus profonde. On sentait chez lui parfois un rayonnement intérieur qui pouvait faire espérer à ses amis un retour possible à la santé : ce n'était malheureusement qu'une illusion. Vers la fin de septembre, le mal qui le minait reprenait avec une violence qui ne laissait aucun espoir¹, et le 11 octobre 1903 Charles Authelin succombait à l'âge de trente et un ans.

Les notes succinctes, claires et précises et renfermant un assez grand nombre de faits nouveaux qu'il a publiées ne peuvent donner l'idée de l'étendue de ses recherches, ni de l'importance des travaux qu'il préparait et qui auraient abouti brillamment dans un avenir prochain s'il avait vécu. Il semble que l'effacement volontaire qui le caractérisait l'ait poursuivi jusque dans ses publications.

Elles méritent cependant, par les faits nouveaux qu'elles renferment et par l'importance incontestable qu'elles ont pour la connaissance géologique de la Lorraine, d'être l'objet d'une analyse. Je crois bien faire d'en donner la liste complète et d'en résumer les principaux traits, pensant ainsi être utile à ceux qui reprendront un jour ces recherches.

Ses travaux concernant particulièrement deux régions :

L'Est du bassin de Paris ;

L'Est du Languedoc (Aveyron et Gard).

1. Je tiens à rappeler ici le dévouement si affectueux et si délicat dont ont fait preuve les D^{rs} Pillon, Sadler, Jacques et Mansion qui l'ont soigné dans sa longue maladie.

I. — JURASSIQUE INFÉRIEUR DE L'EST DU BASSIN DE PARIS¹.

C'est sur les terrains jurassiques de la région de Nancy que se sont portées les premières recherches d'Authelin. Sa première note sur le calcaire ocreux, présentée le 15 novembre 1898 à la Société des sciences de Nancy, fixe exactement l'âge et la faune de cette assise. Authelin signale son caractère mixte malgré son peu d'épaisseur. Si elle se rattache d'une façon générale par sa faune à *Oxynoticeras* (dont *O. oxynotum*) et par ses *Arietites* au Lias inférieur ou Sinémurien dont elle constitue la partie supérieure, on trouve cependant dans les bancs supérieurs une forme considérée déjà comme nettement charmouthienne dans d'autres régions, le *Deroceras armatum*. Dans cette note très courte, mais déjà très importante, tous les mots portent ; les études plus complètes qu'il doit publier ensuite ont d'ailleurs le même caractère.

Le 6 avril 1899, il présente à la Société géologique de France une note intitulée : *Sur le Toarcien des environs de Nancy*. Il y indique très simplement en quelques mots le but des recherches qu'il a entreprises : « Les observations stratigraphiques présentées dans cette note, dit-il, ne sont que le préliminaire d'un travail d'ensemble ayant pour but l'étude des faunes du Toarcien de Lorraine, et leur répartition stratigraphique. »

Limitant nettement la base du Toarcien, il signale la zone à *Harpoceras falciferum*, reprend avec beaucoup de précision l'étude de la zone *H. bifrons*, fait connaître et décrit dans ses détails la zone à *Grammoceras fallaciosum*, montre que la partie supérieure renferme *Gr. striatulum*. La zone la plus élevée du Toarcien est représentée dans notre région par le minerai de fer : il en décrit la faune, et montre qu'elle ne correspond pas, comme on l'avait cru, à la zone à *Lioceras opalinum*, qui fait absolument défaut et n'est représentée que par une lacune.

A la base du Bajocien il signale une autre lacune, celle des dépôts à *Ludwigia Murchisonæ* qui n'existent pas, la zone à *H. concavum* formant la base de cet étage.

Ces premiers faits généraux signalés, Authelin élargit le champ de ses recherches : il prolonge ses études au nord, dans la région

1. Les explorations qui l'ont conduit à publier cette première série de notes lui ont été facilitées par deux subventions de l'Association française pour l'avancement des sciences en 1899 et 1900.

de Longwy, et au sud entre Vézelize et Bourmont. Les documents qu'il y recueille et les faits qu'il y observe sont l'objet de deux notes qu'il présente à la Société des sciences de Nancy le 15 janvier 1902.

Il signale dans l'une les caractères de la zone à *H. concavum* du Bajocien inférieur dans la région de Mont-Saint-Martin ; il montre les variations que présente le contact de cette assise avec les marnes micacées qui la surmontent.

Dans l'autre, plus étendue, il fait part des observations qu'il a faites, entre Sion et Bourmont, dans le Jurassique inférieur du sud de Meurthe-et-Moselle, des Vosges et de la Haute-Marne.

S'il y retrouve une uniformité remarquable dans la base du Toarcien, dans les couches à *H. falciferum*, il décrit des changements de faciès importants dans le Toarcien lui-même : d'abord le développement du minerai de fer, non exploitable, dans les couches à *Gr. fallaciosum*, à un niveau bien inférieur à celui qu'il a à Nancy ; il donne des indications précises sur l'assise de base de ce minerai qui de marneuse qu'elle était à Nancy devient calcaire en Haute-Marne ; signale un niveau à nodules phosphatés qui, ainsi que l'assise supérieure, renferme des formes voisines de *L. opalinum* dont il avait démontré l'absence près de Nancy, contrairement à ce que l'on avait cru longtemps.

Ainsi donc, en 1901, Charles Authelin connaît déjà à fond la région qu'il veut étudier dans sa thèse, depuis Longwy jusqu'à Bourmont : il compte prolonger au delà. A ce moment, par une coïncidence heureuse la revision géologique de la feuille de Langres au 320 000^e m'est confiée, et M. A. Michel-Lévy, directeur de la carte géologique, veut bien m'adjoindre mon préparateur pour ce travail. Les faits très intéressants qu'il y a observés n'ont malheureusement pas été publiés ; mais ces nouvelles recherches ne font que confirmer les faits nouveaux indiqués par lui. A ce moment il aurait pu rédiger sa thèse, mais tel était son caractère consciencieux, ennemi des généralisations prématurées, qu'il voulut encore approfondir ses recherches et recueillir de nouveaux documents pour dissiper le doute qui planait encore sur certains points.

Bien d'autres questions le passionnaient : on sait la part qu'il avait prise aux recherches sur la possibilité de l'existence de la houille en Lorraine. C'est d'après ses souvenirs anciens mais

exacts qu'avait été trouvé l'affleurement des argiles de Levallois repérant près d'Éply et de la ferme de Preis le passage de l'anticlinal de Sarrebruck, et beaucoup de ses observations inédites, qu'il m'avait communiquées verbalement, nous avaient confirmés dans notre opinion.

Au commencement de 1902, M. Dupont, directeur du musée royal d'histoire naturelle de Bruxelles, et M. Rutot, conservateur de ce musée, lui confiaient la classification des matériaux jurassiques, classification qu'il devait entreprendre pendant ses vacances, et lui donnaient ainsi une preuve de confiance et d'estime bien méritée, mais des plus flatteuses, venant de la part de ces deux savants éminents. Les matériaux qu'il avait commencé à classer à Bruxelles lui permettaient de pousser plus avant au nord l'étude du Jurassique inférieur, qui dès lors aurait compris tout le golfe de Luxembourg et se serait étendu jusqu'au détroit de la Côte-d'Or.

II. — JURASSIQUE DE L'AVEYRON.

C'était pendant le courant de l'année scolaire, en utilisant les dimanches et les vacances de Pâques, qu'il travaillait le sol de la Lorraine ; pendant le mois de septembre, il relevait les contours du nord de la feuille de Saint-Affrique. C'est ainsi qu'il a été conduit à publier sur cette région plusieurs notes au bulletin du Service de la carte géologique de France (Ministère des travaux publics), notes dont on trouvera la liste plus loin, et dont voici les principaux résultats nouveaux.

A la partie supérieure de l'Infralias, la présence de récifs coralligènes très étendus depuis Nant jusque près de Lodève ;

Le Sinémurien supérieur de la vallée du Cernon et de la région de Nant, Sinémurien avec nombreux *Arietites* dont il donne une liste détaillée ;

Une description sommaire très complète du Charmouthien et du Toarcien ;

L'indication exacte des zones du Toarcien et de leur faune ;

Des détails intéressants sur le Bajocien, mais surtout sur le Bathonien de La Cavalerie et de la Liquisse ;

Enfin le tracé des grandes failles qui traversent la région explorée par lui.

Certainement il avait été aidé dans son travail par des rensei-

gnements très utiles ; mais qui ne se serait fait un plaisir d'encourager une ardeur au travail comme la sienne ?

Au plus haut degré, Authelin avait — et je l'ai partagé avec lui — un sentiment de vénération et de sincère reconnaissance pour le regretté M. Julien de La Salle, de Saint-Jean-du-Bruel, ami de longue date du Dr Bleicher. M. Julien de La Salle nous avait accueillis avec la plus grande bienveillance, nous indiquant sans réserve les gisements les plus intéressants, nous faisant voir les superbes séries qu'il avait recueillies, séries pieusement conservées maintenant par son fils, qui voulut bien, au dernier voyage d'Authelin, alors qu'il était déjà souffrant, lui permettre d'en revoir les parties les plus intéressantes.

Authelin, si réservé, était profondément touché de ces marques de sympathie ; tous ceux qui les lui ont données — et ils sont nombreux — lui ont, sans s'en douter, procuré de grandes joies, et ont contribué certainement, par le souvenir qu'il en avait gardé, à adoucir les souffrances morales qu'il a dû éprouver dans sa longue maladie.

L'importance des observations qu'il avait faites dans l'Aveyron était assez grande pour qu'il ait eu un instant l'idée d'en faire son sujet de thèse, ou tout au moins d'y consacrer quelques chapitres ; si ce fait s'était réalisé, il aurait ainsi repris, après un intervalle de trente ans, une partie des questions traitées par G. Bleicher dans sa thèse de doctorat. Certainement, Authelin a signalé dans leurs traits essentiels les faits nouveaux qu'il a découverts ; mais il emporte avec lui la solution de bien des problèmes que l'on sera peut-être longtemps à résoudre. Travailleur émérite comme il l'était, aimant passionnément la géologie et la paléontologie dont il faisait son unique but et son unique distraction, il avait toutes les qualités pour rendre un jour de grands services à sa science de prédilection. On peut, sans exagération, dire que la mort prématurée d'Authelin porte un coup sensible aux progrès de la géologie et de la paléontologie de la Lorraine.

Liste des travaux scientifiques de Charles Authelin.

1898. « Sur le calcaire ocreux. » (*Bulletin des séances de la Soc. des sciences de Nancy.*)
 1899. « Sur le Toarcien des environs de Nancy. » (*Bull. Soc. géol. de France*, 3^e série, t. XXVII.)

1899. « Sur les terrains secondaires de la feuille de Saint-Affrique. » (*Bull. Carte géol. de la France.*)
— « Sur le calcaire ocreux. » (*In* NICKLÈS, « Excursion du 10 août 1898 ».) [*Bull. Soc. belge de géologie*, t. XIII.]
— « Sur le Toarcien des environs de Nancy. » (*Ibid.*)
1900. « Terrains secondaires de la feuille de Saint-Affrique. » (*Bull. Carte géol. de la France.*)
1901. « Terrains secondaires de la feuille de Saint-Affrique. » (*Ibid.*)
— « Sur le Toarcien de la région comprise entre Sion et Bourmont. » (*Bull. Soc. des sciences de Nancy.*)
— « Note préliminaire sur la zone à *Harpoceras concavum* dans le nord de la Lorraine. » (*Ibid.*)
-

Séance du 1^{er} décembre 1903.

Odeur, couleur et limpidité de l'eau¹, par M. le D^r Ed. IMBEAUX, ingénieur des ponts et chaussées, à Nancy.

Si l'on consulte les traités classiques en Europe de distributions d'eau, on n'y trouve que fort peu de renseignements sur les qualités physiques de l'eau, telles que la saveur, l'odeur, la couleur et la transparence : ce n'est guère que dans les ouvrages de *limnologie* ou d'*océanographie* qu'on a abordé ces questions, et encore leur étude ne date-t-elle que de la fin du dernier siècle. Cela tient à ce que les ingénieurs européens ont pu recourir à des eaux de sources, de lacs ou de rivières, généralement inodores, incolores et claires, — ou du moins ne se troublant que faiblement, — et que, dès lors, les défauts de cette nature n'ont guère attiré leur attention. Il en a été autrement en Amérique : là, on a trouvé en effet des eaux très chargées en couleur (eaux de marais et d'étangs) et des fleuves presque constamment troubles. Au début, les Américains ont couru au plus pressé et ont distribué ces eaux telles quelles ; mais, dans ces dernières années, les progrès de la science et de l'hygiène aux États-Unis ont marché avec une rapidité inouïe, et une armée de savants s'est appliquée à l'étude des qualités de l'eau et à la recherche des moyens propres à en corriger les défauts. On ne sera donc pas étonné, si dans ce qui suit nous devons faire de larges emprunts aux publications de nos collègues de l'autre côté de l'Atlantique.

1. Communication faite à la Société des sciences de Nancy le 1^{er} décembre 1903.

Saveur et odeur de l'eau.

L'eau pure n'a ni odeur, ni saveur : ce sont donc des corps en dissolution ou en suspension qui lui communiquent parfois l'une ou l'autre, ou toutes deux ensemble. La plupart des sels minéraux, le sucre, etc..., donnent une saveur sans odeur, tandis que les gaz dissous, les huiles essentielles, impressionnent bien plus le nez que le palais. (bien qu'on rapporte souvent ces impressions au goût).

Les saveurs se ramènent à quatre groupes : salées, sucrées, acides, amères. Le palais humain¹ n'est pas très sensible, car il faut pour la plupart des sels au moins 1/2 à 1 gramme par litre pour que la saveur soit appréciable ; on doit cependant faire exception pour les sels de fer et de cuivre, qui ont un goût métallique particulier, sensible à partir de 5 ou 6 centigrammes. Quant aux matières organiques, elles donnent généralement une mauvaise odeur avant de développer un mauvais goût : les eaux qui en sont là sont évidemment à rejeter.

L'odeur se reconnaît plus facilement : comme elle est produite par des substances volatiles entraînées avec la vapeur d'eau jusqu'à notre muqueuse olfactive, elle se dégage bien de l'eau par l'agitation, et en outre on peut, comme l'a enseigné Flügge, la développer en chauffant le liquide à 40° avec un peu de lessive de potasse ; une haute éprouvette rincée alors plusieurs fois avec cette eau et vidée laisse bien percevoir le fumet de l'hydrogène sulfuré et quelques autres. Certaines eaux souterraines profondes dégagent à leur issue une odeur très sensible de gaz sulfureux ou sulfhydrique (tels les forages de Pecquencourt pour Roubaix-Tourcoing), mais cette odeur disparaît très vite et n'est plus sensible pour le consommateur : ce n'est pas un mauvais indice. Il n'en est pas de même quand l'odeur provient de matières organiques, le plus souvent en décomposition, ou d'organismes vivants : cela arrive pour les eaux de surface, notamment les eaux stagnantes et peu profondes, et il convient d'entrer un peu dans le détail.

Les odeurs se distinguent par leur intensité et par leur nature

1. C'est la base de la langue qui est la région la plus sensible et perçoit spécialement les saveurs amères, la pointe, les saveurs sucrées et acides.

ou qualité, mais on n'a pas encore trouvé de procédé définitif pour mesurer objectivement les propriétés odorantes des corps et on doit s'en tenir à des appréciations et comparaisons subjectives¹. Cependant, M. A. Gérardin, après de longues études, est arrivé à doser les odeurs de l'air, ou plutôt les matières organiques qui les produisent dans l'atmosphère, soit par la réduction de l'acide iodique anhydre, soit par le permanganate de potasse, et il a établi une échelle en *degrés ozométriques* (le degré ozométrique est le poids en milligrammes d'acide oxalique cristallisé, qui produit sur le permanganate sulfurique le même effet que les matières organiques contenues dans 1 gramme d'air) qui peut rendre de grands services dans l'expertise de l'air : rien ne dit que des méthodes analogues ne permettraient pas de caractériser scientifiquement les effluves émis par une masse d'eau odorante, mais nous ne connaissons pas encore de tentatives dans ce sens. En attendant, on caractérisera donc encore l'intensité d'une odeur par les termes de *faible, distincte, marquée (decided en anglais), forte, etc.*, et sa nature par le rappel d'une odeur analogue bien connue. Les odeurs des mauvaises eaux, généralement désagréables, sont rapportées soit à des végétaux : odeur de paille, de foin, d'herbe, de concombre (nauséuse), soit à la vase : odeur de terre, de tourbe, de marais, soit à des corps en putréfaction : odeur de moisi, de poisson, etc. ; souvent aussi on signale une odeur fade, douceâtre (*sweetish*), analogue à celle des vieux troncs d'arbres pourris ou encore de certaines cultures bactériennes dans la gélatine liquéfiée.

Mais les odeurs les plus fréquentes et les plus gênantes dans les distributions d'eau (eaux de lacs et d'étangs et eaux filtrées au sable principalement) sont dues à des organismes vivants, dont nous étudierons plus loin la flore et la faune. Le trouble apporté par ces odeurs est plus fréquent qu'on ne pense, car d'après les études du *State Board of health* du Massachusetts, sur 71 distributions d'eau d'étangs ou de barrages-réservoirs dans cet État, 45 ont manifesté à certains moments une mauvaise odeur ou un mauvais goût, et sur ce nombre 30 ont occasionné une gêne sérieuse : sur 1404 échantillons de ces eaux examinés, 20 p. 100

1. Elles ont le tort d'être très variables, comme la sensibilité de la muqueuse olfactive elle-même, suivant les individus, et pour le même individu suivant l'état (sécheresse ou trop grande humidité) de sa muqueuse nasale.

seulement n'avaient pas d'odeur, 26 p. 100 avaient une odeur végétale, 7 p. 100 une odeur douceâtre, 6 p. 100 une odeur aromatique, 15 p. 100 une odeur d'herbe, 3 p. 100 de poisson, 10 p. 100 de moisi, 6 p. 100 une odeur désagréable et 7 p. 100 une odeur repoussante. A Brooklyn, il y a quelques années, l'eau de la distribution (provenant en partie d'étangs et en partie de puits profonds, mais passant par des réservoirs de décantation), prenait au printemps et à l'automne une odeur très prononcée qui donnait lieu chaque fois à des réclamations pressantes : l'étude faite prouva que la chose était due à la pullulation d'*Asterionella formosa* (de 5000 à 15000 et parfois même 40000 au centimètre cube), cette algue trouvant des conditions plus favorables dans les réservoirs, précisément quand la proportion d'eau des puits (contenant plus de silice) augmentait. A Boston, on percevait aussi souvent l'odeur de concombre, et après de longues discussions on reconnut qu'elle était due à un autre organisme, *Synura*.

Les organismes causes des odeurs sont le plus souvent des Algues, parfois des Protozoaires : ils agissent soit à l'état vivant par suite de l'odeur propre qu'ils possèdent, soit après leur mort par suite de la mise en liberté des globules d'huile essentielle contenues dans leur corps (on a pu parfois extraire cette huile essentielle par l'éther ou la benzine)¹. Il faut naturellement une certaine dilution pour qu'une huile essentielle soit perceptible : ainsi, d'après Whipple, l'essence de piperment est reconnaissable à $\frac{1}{50\ 000\ 000}$, l'essence de girofle à $\frac{1}{8\ 000\ 000}$, l'huile de foie de morue à $\frac{1}{1\ 000\ 000}$. Il faut dès lors la présence d'un certain nombre minimum d'organismes très odorants pour que l'odeur commence à être sensible : ainsi il faudrait 100 colonies de *Synura* par centimètre cube, ce qui pour l'huile essentielle de ce protozoaire correspondrait à une dilution de $\frac{1}{25\ 000\ 000}$, et 50 000 *Asterionella*, dilution de $\frac{1}{2\ 000\ 000}$. L'odeur augmente avec le nombre des individus, mais parfois elle change aussi de caractère. Quand on chauffe ou qu'on agite l'eau, on détruit un certain nombre de ces frêles organismes, et les gouttelettes d'huile étant mises en liberté, on augmente l'odeur ; quand on filtre sur papier ou qu'on concentre l'eau (mé-

1. Callins l'a extraite pour *Uroglenu*, Jackson et Ellms pour *Anabæna*, Whipple pour *Asterionella* et *Mallomonas*.

thode de Sedgwick-Rafter), les organismes étant en plus grand nombre sur le filtre ou dans l'eau concentrée, on a aussi une odeur accrue. Enfin, il est clair que la production des odeurs de ce genre est essentiellement liée aux périodes de multiplication des algues dans les lacs et étangs, lesquelles dépendent elles-mêmes de la circulation et du mouvement des couches aqueuses.

Voici les odeurs propres reconnues à certains organismes :

I. Odeur aromatique : principalement les Diatomacées : *Asterionella* (dont l'odeur est celle de géranium, puis, si l'intensité augmente, celle de poisson), *Cyclotella*, *Diatoma*, *Meridion*, *Tabelaria*, et quelques protozoaires : *Cryptomonas*, *Mallomonas* (arrive à sentir la violette, puis le poisson).

II. Odeur d'herbe : les Cyanophycées : *Anabaena*, *Rivularia*, *Clathrocystis*, *Cœlosphærium*, *Aphanizomenon*, et quelques Diatomacées : *Synedra*, *Melosira*.

III. Odeur de poisson : les Chlorophycées : *Volvox*, *Eudorina*, *Pandorina*, *Dictyosphærium*, et des protozoaires tels que : *Uroglena* (odeur d'huile de foie de morue), *Synura* (odeur de concombre mûr et d'épices), *Dinobryon*, *Bursaria*, *Peridinium*, *Glenodinium*.

Après leur mort, les Cyanophycées, les Beggiatoacées, les Characées donnent par la décomposition des odeurs fortes, ainsi que de l'hydrogène sulfuré ou carburé, et cela d'autant plus que ces corps contiennent plus d'azote. Quant aux plantes aquatiques, généralement attachées aux berges, elles ne donnent guère d'odeur qu'après avoir été coupées, et si l'étendue d'eau est tant soit peu grande, cette odeur n'a pas d'importance.

La question de savoir si l'odeur et la présence même des organismes odorants dans l'eau de boisson est dangereuse pour la santé n'est pas bien résolue. Les organismes sont si petits (Whipple dit qu'une *Asterionella* pesant $\frac{4^{\text{er}}}{10^{10}}$, cela fait 8 milligrammes de matières solides, dont moitié seulement de matières organiques, dans un verre de 200 centimètres cubes d'eau contenant 100 000 individus au centimètre cube), qu'ils ne paraissent pas pouvoir nuire aux hommes bien portants : il n'en est peut-être pas de même pour les intestins déjà affaiblis, pour les enfants, ou pour les personnes non accoutumées. Quant aux poisons que

ces Algues pourraient contenir, ils n'ont pas encore pu être mis en évidence d'une manière certaine.

L'élimination des odeurs de ce genre, en même temps que celle des organismes producteurs, réussit souvent, mais pas toujours avec les simples filtres à sable: cela résulte d'expériences faites à Lawrence et Springfield en 1901¹, où on opéra sur l'eau du réservoir Ludlow avec des teneurs variables en *Dinobryon*, *Anabæna*, *Asterionella*. L'odeur d'*Anabæna* persista seule après une première filtration, mais elle céda à une double filtration.

Nous ne citerons que pour mémoire les odeurs chimiques, résultant de déversements de résidus industriels dans les cours d'eau, ou encore celle de goudron qui provient au début de la coaltarisation des conduites neuves, etc.

Couleur, trouble ou limpidité (turbidité) et transparence de l'eau.

Il y a ici trois propriétés à distinguer: la couleur propre de l'eau, c'est-à-dire la nuance qui lui est afférente, indépendamment des corps qu'elle peut tenir en suspension; la *turbidité* (ce mot, en anglais *turbidity*, exprime mieux l'idée que celui de trouble), c'est-à-dire le louche plus ou moins intense produit par la mise en suspension de corpuscules très nombreux et très petits; enfin, la transparence (*Sichtbarkeit*), qui est la résultante des deux qualités précédentes, et donne la manière dont la masse d'eau se laisse pénétrer par la lumière. En général, quand les eaux sont troubles, leur apparence résulte presque exclusivement de la turbidité et la couleur propre ne joue qu'un faible rôle, en sorte que dans le langage vulgaire le public appelle couleur l'effet du trouble; de même on confond aussi la transparence avec la turbidité et on mesure l'une pour l'autre.

Couleur propre de l'eau. — L'eau chimiquement pure n'a pas de couleur sous faible épaisseur, mais elle a une teinte bleue tirant sur le vert quand elle a une épaisseur de quelques mètres.

Toute couleur autre provient donc de substances dissoutes. Le plus fréquemment, ces substances sont d'origine végétale, proviennent des feuilles, mousses et herbes et donnent à certaines eaux

1. CLARK, « Removal of color, organisms and odor from water » (in *Journal of the New England waterworks Association*, mars 1903).

de surface une coloration jaunâtre, analogue à celle du thé léger. Dans la nature, on trouve des eaux courantes ainsi colorées dans les montagnes à sol granitique ou gréseux, jamais dans les terrains calcaires : l'eau en couche peu épaisse est jaune-brun, quoique très claire, mais en masse elle paraît noire. Le phénomène est bien connu dans les Alpes (où un bon nombre de cours d'eau portent le nom d'*Eau-Noire* ou de *Schwarzbach*) et aux États-Unis, mais il est surtout développé dans les bassins montagneux de l'Orénoque et de l'Amazone (versant oriental des Andes du Brésil), d'où aussi le nom fréquent de *Rio-Negro*. J. Reindl¹ vient d'en donner une explication satisfaisante que voici.

Les eaux de cette nature ont pris dans les terrains traversés, d'une part de l'acide humique et autres composés analogues (et cela d'autant plus facilement qu'il y a plus de mousses, herbès, tourbe et marécages sur leur passage), d'autre part des alcalis provenant des roches feldspathiques ou argilo-siliceuses : ces corps se combinent en précipitant la silice, qui tapisse en blanc le fond du lit (les rivières noires coulent sur fond blanc), tandis que les combinaisons solubles mais peu stables des alcalis et de l'acide humique teignent l'eau en jaune ou en brun. Mais que cette eau arrive dans un terrain calcaire ou magnésien, l'acide humique se combine alors avec la chaux et la magnésie et les précipités insolubles tapissent le lit en noir, tandis que l'eau se décolore complètement. Les composés du fer jouent aussi un rôle analogue : les roches siliceuses ou silicatées contiennent de l'oxyde de fer qui se réduit en présence des matières organiques et reste dissous sous forme de carbonate ferreux (un peu verdâtre) ; plus loin, en présence de la chaux ou d'un apport d'oxygène, cette combinaison se dissocie et l'oxyde de fer se précipite.

Dans les eaux souterraines, la couleur est rare, mais quand elle existe, elle tient presque toujours à ces composés ferreux, solubles, qui se forment en l'absence d'oxygène et se précipitent par l'oxydation, le brassage avec l'air, etc. : la déferrisation se fait en même temps que la décoloration². Dans les lacs, en dehors des périodes

1. J. REINDL, « Die schwarzen Flüsse Südamerikas » (in *Münchner Geographische Studien*, 1903). Précédemment, Schwager avait fait jouer aux Diatomées un rôle important dans la coloration de l'eau des fleuves, mais il semble aujourd'hui qu'il l'ait bien exagéré.

2. Toutefois, l'oxyde de fer qui reste longtemps en suspension en flocons gélatineux

de circulation il est avéré que la couleur augmente avec la profondeur, et il en est de même pour la quantité de fer dissous : on peut penser que cela tient précisément au manque d'oxygène dans les couches profondes, et à l'accumulation des matières organiques d'origine végétale déposées sur le fond ; d'un autre côté, on sait que la lumière solaire détruit la couleur, et les couches superficielles se trouvent ainsi décolorées¹. Enfin, dans les lacs comme dans les cours d'eau, la couleur a des variations saisonnières et annuelles, qui dépendent de l'intensité et de la dilution plus ou moins grande de l'*infusion végétale* par les pluies et les fontes de neige, de l'abondance des feuilles, de leur couleur momentanée, etc., ainsi que de la présence d'argile délayée (les composés de l'alumine fixant la matière colorante, et pouvant décolorer l'eau en se précipitant ensuite).

Les deux figures ci-après, empruntées aux beaux travaux du laboratoire des Waterworks de Boston, donnent une bonne idée de ces variations de la couleur avec les saisons, et dans les lacs avec la profondeur. La première (fig. 1) représente les moyennes

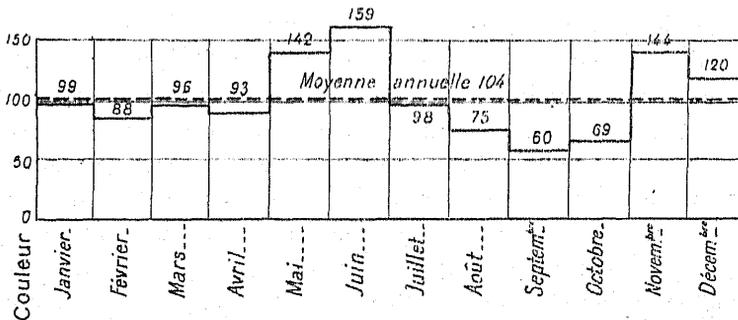


Fig. 1. — Couleur (moyennes mensuelles) des eaux du Cold Spring Brook (alimentant Boston) en 1894.

mensuelles de la couleur du Cold Spring Brook, petit cours d'eau alimenté en partie par de grands marais et arrivant au bassin n° 4

continue à donner une couleur rougeâtre, mais cette couleur n'est plus propre à l'eau même et ressort de la turbidité (*colored turbidity*) ; elle disparaît avec les flocons en suspension et par conséquent au filtrage.

1. D'après Whipple, cette action décroît très vite en s'éloignant de la surface et elle disparaît entre 2 et 3 mètres ; elle peut être considérable et manger 50 p. 100 de la couleur de la surface en un mois. Stearns, qui a laissé un réservoir de 6 mètres de profondeur abandonné à lui-même pendant six mois, y a vu la couleur moyenne de l'eau passer de 39 à 18.

de Boston : on y voit deux maxima, l'un en mai et juin et l'autre en novembre et décembre, et deux minima. Le minimum d'hiver correspond à l'époque où la végétation manque et où les pluies et fontes de neige diluent l'eau des marais, celui d'été à la période où les marécages ont leur niveau très bas et ne se déchargent pas dans la rivière : il arrive qu'une pluie d'orage fait déborder parfois l'eau très colorée des marais et produit une brusque augmentation de couleur du Spring Brook. Au Massapequa Pond qui alimente Brooklyn, le climat est plus doux, le maximum du printemps arrive plus tôt et celui d'hiver est reculé en janvier. Généralement en été et en automne, les variations de la couleur suivent la pluie, ce qui se comprend puisque c'est la pluie qui lessive les feuilles et leur prend les matières colorantes. Quant à la nature exacte de ces dernières, on l'ignore, comme du reste celle de la chlorophylle dont elles dérivent : ce sont sans doute des tannins, des glucosides et autres dérivés hydrocarbonés, et ce qu'on sait en tout cas c'est que leur proportion dans l'eau augmente parallèlement d'une part avec celle de l'ammoniaque albuminoïde, d'autre part avec l'oxydabilité (quantité d'oxygène consommé emprunté au permanganate pour brûler les matières organiques, principalement le charbon).

La seconde figure (fig. 2) représente ce qui se passe dans le

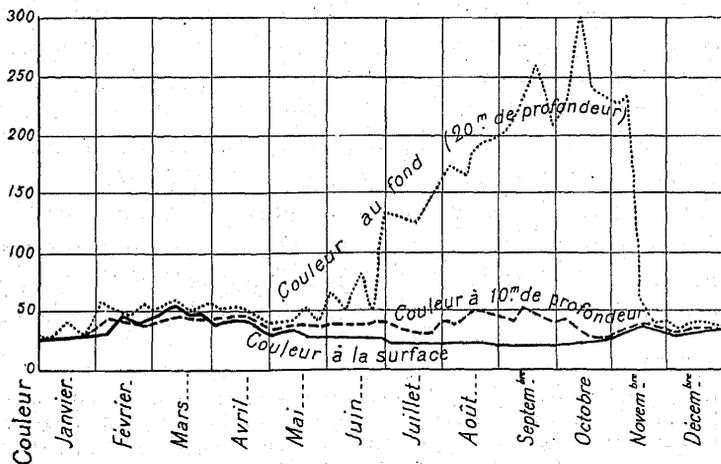


Fig. 2. — Couleur à la surface, au fond et à mi-hauteur du lac Cochituate (alimentant Boston) en 1896.

lac Cochituate qui alimente aussi Boston. Le trait plein montre

que la couleur à la surface reste peu élevée et assez constante, mais plus faible en été et en automne (à cause de l'action de la lumière solaire). Le trait ponctué montre une constance plus parfaite encore pour la couleur à mi-profondeur (l'action de la lumière ne s'exerçant plus); enfin le trait pointillé indique, pour la couleur au fond du lac, une différence considérable de juin à novembre avec celle des couches supérieures, soit un maximum ayant atteint 300 en 1896, alors que d'autres années il ne dépasse pas 120. Le même phénomène se reproduit tous les ans depuis 1891 : l'augmentation de la couleur commence après la période de circulation de printemps et cesse brusquement fin novembre, quand celle de circulation d'automne va commencer. Ajoutons enfin que l'eau du fond, lorsqu'elle est retirée et exposée à la lumière, se fonce encore considérablement (de 120 à 370, d'après Fitz-Gerald qui attribue le fait à une oxydation rapide des composés ferreux).

Mesure de la couleur de l'eau. — C'est Tidy qui imagina le premier *colorimètre*. Il se composait de deux tubes de verre de 0^m,60 de long, fermés à la base par des plaques de verre : dans l'un, l'eau à examiner ; dans l'autre de l'eau distillée sur une même hauteur (pour égaliser la perte de lumière), puis par-dessus on essayait des godets de verre contenant un liquide coloré, jusqu'à ce que la nuance et l'intensité obtenues égalent celles de l'échantillon. Les liquides colorés servant de terme de comparaison étaient des solutions de chromate neutre de potassium pour le jaune et de sulfate de cuivre pour le bleu, et on comptait tant de degrés de jaune et tant de bleu. Forel s'est servi de couleurs du même genre pour les lacs de Genève et de Constance¹.

Ce procédé ne put servir aux Américains qui ont des eaux bien plus chargées de couleur que les Anglais, et trouvent souvent en outre une nuance rouge. Leeds proposa d'adopter *l'échelle de Nessler*, c'est-à-dire la série des dix-sept teintes obtenues en traitant

1. Les solutions de Forel (dont s'est aussi servi Delebecque pour les lacs français) étaient : solution bleue : 1 de sulfate de cuivre, 5 d'ammoniaque et 194 d'eau; solution jaune : chromate de K, 1; eau, 199. Les teintes étaient numérotées de I à XI et composées sur 100 parties de 0, 2, 5, 9, 14, 20, 27, 35, 44, 54, 65 de solution jaune, le reste de solution bleue. Les lacs de Genève, d'Annecy, du Bourget sont bleus (teinté IV); les lacs Lanoux et d'Orédon (Pyrénées) ont la teinte V; le lac de Constance entre VI et VII (lacs verts); les lacs de Nantua, de Chailleon (Jura) ont la teinte XI et sont jaunes.

par le réactif de Nessler ¹ des éprouvettes de 50 centimètres cubes d'eau contenant des proportions de 0,1 à 5 centimètres cubes (accroissement de 0^{cc},3 d'une éprouvette à l'autre) d'une solution d'ammoniaque à 10 milligrammes d'Az H³ par litre ; les échantillons d'eau à examiner et les liquides colorés types sont mis dans des tubes de 0^m,30 de haut et de 0^m,015 à 0^m,020 de diamètre pour être comparés. Mais la méthode avait de sérieux inconvénients : les liquides des teintes foncées sont troubles, la couleur est influencée par la température et par le mode de préparation, les intervalles de la gamme des teintes ne sont pas égaux, etc. ; bref, on l'a abandonnée, mais il est encore bon de savoir que la teinte 0,10 de l'échelle de Nessler correspond à la couleur 18, la teinte 0,50 à 46, la teinte 1 à 81 et la teinte 2 à 150 de l'échelle au platino-cobalt.

La méthode au platino-cobalt, proposée par Allen Hazen, n'a aucun des inconvénients ci-dessus et les types colorés se gardent indéfiniment ; aussi est-elle désormais généralement adoptée. Voici la traduction de la circulaire n° 8 (1^{er} mai 1902) du service hydrographique du Geological Survey des États-Unis qui la prescrit :

« On prépare une solution type qui aura la couleur 500 en faisant dissoudre 1^{gr},246 de chlorure platinico-potassique ² (P² Cl⁴, 2 KCl) contenant 500 milligrammes de platine et 1 gramme de chlorure cobalteux hydraté cristallisé (Co Cl², 6 H²O) contenant 250 milligrammes de cobalt, avec 100 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré, puis on étend d'eau distillée pour former un litre. On étend cette solution avec de l'eau distillée pour former les dilutions 5, 10, 15, etc., 70 correspondant au nombre de milligrammes de platine métallique contenus dans un litre, nombre qui définit l'intensité de la couleur³. Ces types colorés ainsi obtenus sont conservés dans des tubes de 100 cen-

1. On sait que le réactif de Nessler s'obtient en dissolvant à reflux de l'iodure mercurique dans une solution d'iodure de potassium additionnée d'une solution de potasse caustique.

2. Ne pas confondre le chlorure platinico-potassique ou chloroplatinate, de potassium avec le chlorure platinoso-potassique : ce dernier a une couleur rougeâtre tandis que le premier est jaune.

3. Tous nos remerciements à M. le professeur Arth, qui avait bien voulu préparer à l'Institut chimique, pour les montrer à la Société, la solution type 500 et les solutions dérivées 500, 100, 50, 25 et 10.

timètres cubes de capacité, avec 0^m,20 de hauteur, bien à l'abri de la poussière.

« L'échantillon à examiner est mis dans un tube semblable et comparé avec les types ; pour cela, on regarde au travers des tubes vers le bas, au-dessus d'une surface blanche placée sous une inclinaison telle que la lumière soit réfléchie vers le haut au travers du liquide. On prend le chiffre du type le plus voisin. Si la couleur est de plus de 70, il faut faire une dilution préalable, afin de pouvoir apprécier les nuances. L'eau trouble doit être filtrée tout d'abord de manière qu'il n'y ait plus de corps en suspension : le papier-filtre suffit parfois, mais le filtre Berkefeld est à recommander en général, tandis que le filtre Chamberland est à éviter à cause de l'action décolorante de l'alumine qui entre dans sa constitution.

« Il est impraticable d'emporter les tubes des couleurs types dans les opérations sur place, opérations si fréquentes et si importantes dans le service du Geological Survey. Pour y suppléer, Allen Hazen et Whipple ont préparé des disques de verre coloré ayant exactement les mêmes teintes que les types au platino-cobalt, et gradués en conséquence. Un de ces disques (ou plusieurs superposés, auquel cas leurs indications s'ajoutent) se place au bout d'un tube métallique de 0^m,20 de haut qui théoriquement devrait être rempli d'eau distillée, mais qui pratiquement peut rester vide, alors que l'eau à examiner remplit un autre tube semblable fermé par des verres incolores, et on cherche à obtenir l'égalité de teinte (fig. 3). Les disques colorés ont une monture en aluminium, et se vissent à l'extrémité des tubes. Le tube qui doit recevoir l'eau étudiée doit naturellement être lavé et rincé plusieurs fois avec cette eau : les tubes et les disques doivent être tenus très propres et les vis pas trop serrées.

« Pour la comparaison, les tubes doivent être tenus à une distance de l'œil telle que les côtés cessent juste de pouvoir être vus, ce qui arrive quand l'extrémité supérieure du tube est à 0^m,20 ou 0^m,22 de l'œil. On doit voir les deux tubes ensemble du même œil, et on les change de place entre eux pour être bien sûr que l'un n'est pas plus éclairé que l'autre. Le fond doit être clair, blanc et fortement illuminé, comme une feuille de papier par un beau ciel (si le ciel est gris, on peut le regarder vers l'horizon) : ce fond est vertical et on tient les tubes horizontalement,

ou encore on les tient faiblement inclinés vers le bas en regardant un fond horizontal. Aucune lumière artificielle ne peut convenir.

« Les disques ne s'étendent pas au delà de la couleur 100. Si on a des eaux plus colorées, on peut procéder de deux manières,

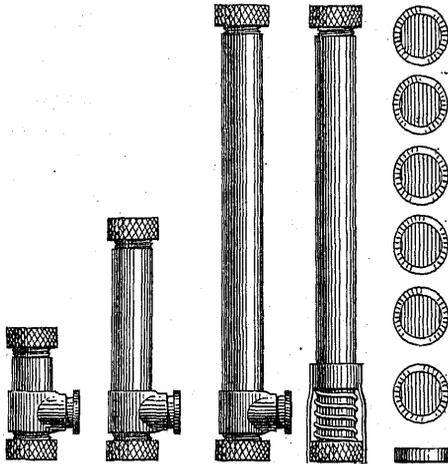


Fig. 3. — Tubes et disques colorés pour mesurer la couleur de l'eau en campagne (procédé du Geological Survey des États-Unis).

soit par dilution, soit au moyen de tubes de moindre longueur. Par dilution, il suffit d'étendre avec de l'eau distillée jusqu'à ce qu'on trouve un disque de même intensité et de déterminer la proportion. Comme il n'est pas toujours facile d'avoir de l'eau distillée en campagne, il est plus simple d'avoir un tube de 0^m,100 et un de 0^m,05 de hauteur : comme on admet que l'intensité de la couleur est proportionnelle à l'épaisseur de la tranche liquide, on met l'eau dans un de ces tubes, on cherche l'égalité avec un disque type, et on n'a qu'à multiplier son indication par 2 ou par 4.»

Dans les laboratoires bien montés, on peut se servir avec avantage, pour comparer les échantillons avec les solutions de platino-cobalt types, d'un colorimètre comme celui de Fitz-Gerald, représenté par la figure 4. Il se comprend de lui-même, sauf l'oculaire qui comporte les deux prismes A et B, éclairant chacun une moitié du champ au moyen de la lumière ayant traversé les deux tubes F et G, lesquels contiennent l'un l'échantillon, l'autre la solution type : rien de plus facile dès lors que de s'assurer de l'égalité de

teinte des deux moitiés du champ. Il n'y a pas besoin d'employer un grand nombre de solutions types ; car, en se basant sur la proportionnalité de la couleur à l'épaisseur du liquide, on voit qu'il suffit de faire varier la hauteur de la solution type dans le second

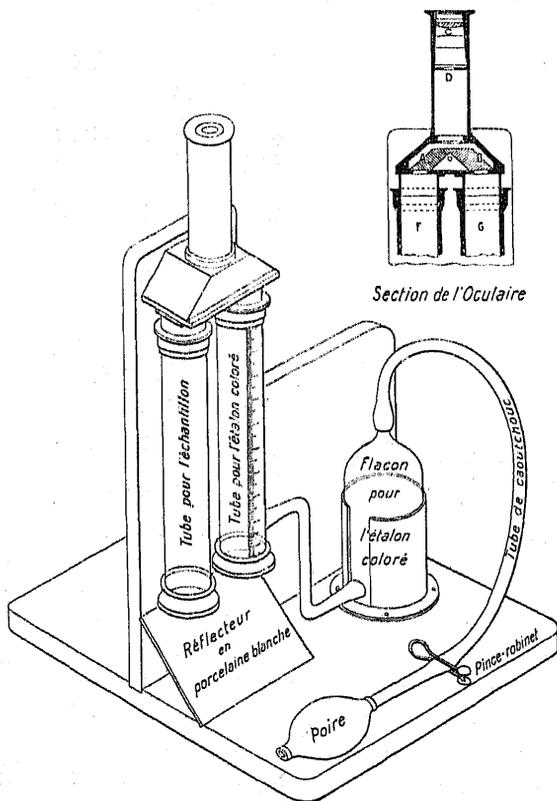


Fig. 4. — Colorimètre de Fitz-Gerald (laboratoire des Waterworks de Boston).

tube (lequel est gradué) pour obtenir une série d'intensités, fractions de l'intensité correspondant au tube plein. On peut aussi faire varier la hauteur de l'échantillon, mais on a remarqué (au laboratoire de Boston) que la proportionnalité n'est pas si exacte, et notamment qu'elle n'existe plus quand on a peu d'eau sur le fond du tube : on peut toutefois établir des tables ou des courbes de correction.

Mais quand on a mesuré la couleur d'une eau, la question se pose de savoir si cette eau peut être distribuée telle, ou, en d'au-

tres termes, quelle est la limite de couleur admissible. — Disons d'abord que les matières colorantes étudiées ci-dessus ne paraissent pas dangereuses pour la santé par elles-mêmes, mais elles indiquent une provenance suspecte et peuvent souvent être accompagnées par des germes nocifs : la couleur sera donc d'abord un avertissement. Comme aspect, Whipple¹ admet que jusqu'à 20 la couleur est peu remarquée : à ce taux, elle serait distincte dans un tube d'assez grande hauteur au-dessus d'un fond blanc, mais non dans un verre ordinaire. De 20 à 40, il y a discussion ; au-dessus de 40, l'eau est regardée comme fortement colorée et devrait être traitée avant d'être distribuée. Cela n'empêche pas qu'aux États-Unis, bien des villes ont des eaux de plus de 40 et même de plus de 100 de couleur sans qu'on les traite (ainsi le Mississipi à Minneapolis a plus de 100) : la couleur est généralement très forte dans les États du Nord-Ouest et dans ceux du Nord, où il y a des marécages et où aussi des bois flottés et de la sciure en grande quantité séjournent dans les rivières. L'eau qui sort de marais où elle est restée en contact prolongé avec des matières organiques abondantes a souvent de 100 à 500 comme degré de couleur et on en trouve même qui va jusqu'à 1000.

Nous verrons plus loin comment on peut se débarrasser de la couleur quand elle est excessive.

{ *Turbidité : matières en suspension.*

Toutes les sources ne donnent pas constamment de l'eau claire, et beaucoup d'entre elles se troublent plus ou moins à la suite de pluies violentes ou prolongées. Les cours d'eau sont plus sujets encore à donner de l'eau trouble : les eaux de ruissellement entraînent des particules terreuses dans une proportion qui dépend de la nature du sol, de l'importance des déclivités et de la violence de l'averse², et on peut dire qu'à toute crue correspond un

1. WHIPPLE, ALLEN HAZEN, etc., « The decolorization of water », in *Transactions of American Society of Civil Engineers*, 26 juin 1901.

2. Les quantités de limon et de vase charriées par certains fleuves sont énormes : c'est ainsi que Lombardini a évalué à 27 millions de mètres cubes la quantité que le Pô emmène par an à la mer ; la Durance, d'après Hervé-Mangon, apporterait plus de 5 millions de mètres cubes de limon au Rhône, et, en 1902, elle aurait été claire 72 jours, louche 30 jours et trouble 263 jours (soit les trois quarts du temps). Certains fleuves américains sont même toujours troubles.

accroissement considérable des éléments en suspension dans l'eau, c'est-à-dire de la turbidité. (Il en est de même pour le nombre des bactéries.) Le trouble peut aller depuis un simple louche jusqu'à la consistance d'une véritable boue (torrents de boue dans les montagnes). Quant aux lacs, ils subissent l'influence des apports du ruissellement dans une mesure très variable, suivant leur étendue relative ; les grandes vasques sont peu troublées en dehors d'une bande étroite le long du littoral, et c'est une raison quand on y puise pour reculer la prise vers le large.

Tous les corpuscules en suspension dans l'eau ne la troublent pas forcément : ainsi les bactéries peuvent être en nombre immense sans causer le moindre louche, tant leur taille est petite, et inversement on ne peut dire que quelques particules même d'assez grande taille réparties dans un litre d'eau claire la rendent trouble ; il faut donc à la fois une taille suffisante et un nombre assez grand. Quant à leur nature, les causes du trouble peuvent être soit des matières inertes, généralement terreuses, soit plus rarement des organismes. Ce n'est guère que dans les lacs et marais ou dans les bassins filtrants que ce dernier cas se produit, grâce à la pullulation momentanée d'algues ou de petits animaux, tout comme cela se produit dans la mer¹ : l'étude doit donc en être renvoyée au chapitre de la biologie des eaux, et dans ce qui suit ici nous ne nous occuperons que de la turbidité d'origine terreuse. Il faut encore distinguer suivant que les particules sont de nature siliceuse ou argileuse : la silice ou le sable, même très fin, troublent moins et moins longtemps que l'argile, celle-ci étant parfois en parcelles très ténues et de nature un peu gélatineuse (*argile colloïdale*), qui ne se déposent qu'avec une extrême lenteur ; on conçoit, du reste, qu'il y ait souvent un mélange des deux corps en proportion variable.

Premiers essais de mesure de la turbidité et de la transparence.

— Les premiers moyens de mesurer le trouble des eaux étaient d'ordre gravimétrique, c'est-à-dire qu'on cherchait à précipiter les matières en suspension et à les peser. C'est ainsi qu'on a trouvé dans

1. C'est ainsi que la mer Rouge doit son nom et sa coloration à des myriades d'une petite algue *Trychodesmium erythraeum*, que des milliers de noctiluques produisent la mer phosphorescente et la *mer de lai.*, que d'autres fois ce sont des petits copépodes qui transforment l'eau en une bouillie rosée, etc. On connaît aussi le trouble produit par le *Crenothrix* dans les eaux riches en fer.

le Nil en crue un poids de 1 254 milligrammes de matières en suspension, et dans le Mississipi, pour 4 échantillons, des poids de 348, 576, 788 et 1 030 milligrammes par litre : d'après Ockerson, le 2 juillet 1894, ce fleuve, à la Nouvelle-Orléans, en contenait 2 360 milligrammes, presque tout du limon. Mais ces procédés ont été abandonnés, parce que ce qu'il importe de connaître c'est l'*apparence* de l'eau, et que celle-ci n'est pas donnée par le poids des matières suspendues, cet élément seul ne tenant pas compte de la finesse des particules; de plus, la précipitation est souvent longue et difficile, et, en outre, elle entraîne avec les corps qui troublent l'eau certains autres corps qui ne la troublent pas (comme les bactéries et même une certaine fraction des sels dissous).

Pour ces raisons, on a adopté des méthodes optiques, faisant connaître, non pas précisément la turbidité, mais le degré de *transparence* qui en dépend presque exclusivement: on détermine l'effet, et non plus la cause. C'est le capitaine Bérard qui, le premier, essaya à quelle profondeur en mer une assiette de porcelaine blanche, attachée à trois cordelettes, cessait d'être visible (dans le Pacifique, il trouva que cette profondeur était voisine de 40 mètres). Le P. Secchi et Cialdi reprirent l'expérience en 1865 dans la Méditerranée en se servant d'un disque de 0^m,20 de diamètre en toile peinte en blanc avec de la céruse: par les plus beaux jours, le disque se voyait jusqu'à 45 mètres. En 1880, Wolf et Luksch opérèrent de même sur l'Adriatique. Puis Forel appliqua la méthode sur les lacs de Genève et de Constance: sur le premier, la limite de visibilité du disque a varié suivant les endroits, les jours et les saisons entre un minimum de 4 mètres et un maximum de 21 mètres; la transparence est bien plus grande en hiver qu'en été, ce qui tient tant à la température qu'à l'apport plus élevé en été des vases charriées par les affluents. Il en est aussi de même pour le lac de Constance, mais à Bregenz la limite n'est parfois que de 1 mètre à 1^m,50 en été et ne dépasse pas 10 mètres en hiver: elle va un peu plus bas à Constance. Delebecque a déterminé de même la transparence d'un bon nombre de lacs français, mais c'est avec raison qu'il tient compte de la couleur, celle-ci intervenant avec la turbidité dans la question.

En 1883, la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève opéra différemment: elle plongea une lampe électrique dans le Rhône à la sortie du lac, ce qui donna à peu près l'effet d'un

réverbère par un gros brouillard, et elle appela *limite de la vision claire* la profondeur où le point brillant cessait d'être perceptible, et *limite de la vision diffuse* celle où l'éclairement diffus disparaissait lui-même; cette dernière était à peu près deux fois plus éloignée que la première.

On a aussi cherché à quelle profondeur la lumière du jour cesse complètement de pénétrer, et pour cela on s'est servi de plaques photographiques sensibles. Forel a commencé dans le lac de Genève avec un papier au chlorure d'argent, descendu la nuit et retiré de même trois jours après : à 60 mètres, il n'était pas influencé; toutefois, en mars 1888, en plein lac, au droit de Morges, il a trouvé que la lumière pénétrait jusqu'à 110 mètres (au lac de Constance, la limite n'est guère que de moitié). C'est aussi en 1888 qu'Asper fit dans les lacs de Zurich et de Wallenstadt ses célèbres expériences avec du papier au gélatino-bromure : il y avait une série de plaques immergées à des distances égales, et c'est seulement entre 150 et 160 mètres que la lumière cessa de les influencer. Herman Fol et Sarasin cessèrent d'opérer de nuit, et se servirent d'un châssis qu'on pouvait ouvrir dix minutes et refermer à toute profondeur : dans le Léman, ils trouvèrent la limite d'influence à 170 mètres, tandis qu'elle descendait jusqu'à 400 mètres dans la Méditerranée par le soleil; la différence doit être attribuée au trouble apporté dans les eaux du Léman par les affluents.

Étude de l'absorption de la lumière dans l'eau. — A cette question se rattache celle de l'absorption de la lumière par l'eau, question que nous ne ferons qu'effleurer, mais qui cependant pourrait donner un moyen scientifique de détermination de la turbidité d'une eau, par différence entre le pouvoir absorbant constaté pour cette eau et celui de l'eau distillée ou d'une eau type. L'eau distillée absorbe en effet déjà très rapidement la lumière en profondeur : d'après Wild, la traversée d'une couche d'eau de 0^m,10 d'épaisseur réduirait l'unité de lumière à 0,94769, 0,93968 et 0,9179 suivant que la température de cette eau est respectivement de 6°,2; 17° et 24°,4. Si on admet que chaque tranche absorbe pareille fraction de la lumière qui lui arrive, l'intensité décroîtra en progression géométrique quand les profondeurs croissent en progression arithmétique, et si nous prenons la perte moyenne de 6 p. 100 à chaque décimètre de profondeur, on aura

pour l'intensité lumineuse (supposée 100 à la surface) la première courbe de la figure 5. On voit d'après cela que la lumière tomberait très rapidement dans les premiers mètres et qu'à 10 mètres elle ne serait plus que de 0,2055 p. 100; à 15 mètres elle serait de 0,0093, à 20 mètres de 0,000422 et à 30 mètres de 0,000 000 867 p. 100.

En réalité, la lumière ne baisse pas si vite aussi bas, grâce au phénomène de la *lumière diffuse*. On ne connaît pas l'absorption dans l'eau colorée ou dans l'eau trouble, mais les particules suspendues renvoient une partie de la lumière qu'elles reçoivent et

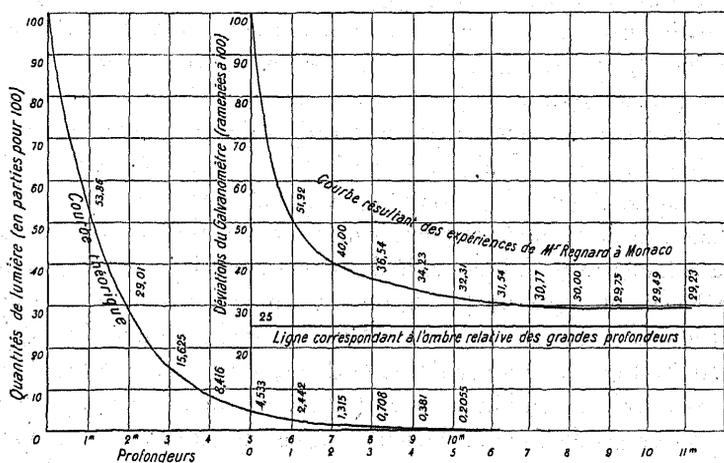


Fig. 5. — Absorption de la lumière dans l'eau, suivant la profondeur.

contribuent à illuminer autour d'elles. Il en résulte qu'après la chute rapide des premiers mètres, la lumière se maintient longtemps presque égale, ainsi que le montre la seconde courbe de la figure 5 tracée d'après les expériences de M. Regnard à Monaco (1890). Ces expériences ont été faites au moyen de deux procédés très curieux. Le premier est basé sur le fait que le sélénium diminue de résistance au courant électrique quand il est éclairé, et cela proportionnellement à l'éclaircissement : une pile de résistance au sélénium enfermée dans une boîte en cuivre avec glace supérieure est descendue aux profondeurs voulues, et reliée à un galvanomètre indicateur Thomson à miroir et à pile thermo-électrique; les déviations indiquent les résistances et par suite les

quantités de lumière qui arrivent au sélénium¹. L'autre procédé reposait sur la propriété qu'ont le chlore et l'hydrogène mélangés en quantités égales de se combiner sous l'influence de la lumière et de former une quantité d'acide chlorhydrique proportionnelle à l'intensité de la lumière qui tombe sur le mélange : on remplissait dès lors de longs tubes de verre du mélange des deux gaz (obtenu par la décomposition de HCl par l'électricité), on les immergeait de nuit, et en les retirant on n'avait plus qu'à doser les volumes de gaz restants (ce qui se faisait en ouvrant le robinet sous l'eau, celle-ci montant alors plus ou moins dans le tube suivant la quantité d'HCl formée).

M. Regnard a aussi expérimenté dans le laboratoire sur l'eau de Seine brute et sur la même eau assez grossièrement filtrée, toujours au moyen de la pile de résistance au sélénium. Son appareil, permettant de mesurer l'absorption de la lumière par une épaisseur d'eau déterminée, pourrait servir de *diaphanomètre*. Il se compose d'un grand tube placé verticalement, fermé par des glaces aux deux bouts et contenant l'eau à examiner : la lumière d'une lanterne électrique, réfléchiée par un miroir, le traverse verticalement et à sa suite la pile au sélénium, dont on mesure les variations de résistance par le Thomson précédemment indiqué. Il suffirait de déterminer l'échelle des déviations correspondant à des degrés de turbidité types (et même de coloration) pour apprécier ensuite bien facilement avec cet appareil une eau quelconque sous ces deux rapports.

La lumière qui pénètre dans l'eau n'est pas seulement modifiée en intensité, mais elle l'est encore en qualité : les radiations rouges se réfractent et s'absorbent en effet d'une manière différente des radiations violettes, etc., et il semble certain que les rouges s'absorbent les premières, puis les violettes, puis les jaunes qui pénétreraient ainsi plus profondément que les autres ; rien ne dit enfin que des radiations infra-rouges ou ultra-violettes, insensibles à la rétine humaine, mais peut-être perceptibles par les animaux des grands fonds, ne vont pas plus loin encore. Ces faits

1. Ainsi, à la surface, le galvanomètre marquait 260 divisions ; à 1 mètre de profondeur, il marquait 135 ; à 2 mètres, 104 ; puis, grâce à la lumière diffuse, il changeait peu jusqu'à 11 mètres, profondeur où l'appareil cessait d'être sensible. L'ombre des profondeurs beaucoup plus grandes correspondait à 65 divisions. C'est la traduction de ces résultats en fractions p. 100 que montre la deuxième courbe de la figure 5.

ont de l'importance pour la vie des algues qui s'étagent suivant les couleurs dont elles ont besoin : ainsi les algues bleues et vertes, à chlorophylle, qui ont besoin des rayons rouges, ne peuvent vivre que tout en haut près de la surface ; les brunes (fucus et laminaires), qui absorbent les rayons entre le violet et le jaune, descendent plus bas ; enfin à l'étage inférieur, les algues rouges (floridées), qui n'ont besoin que des rayons bleus, restent seules.

Nouveaux procédés de mesure de la turbidité et de la transparence : règles pratiques. — Venons aux procédés pratiques actuellement usités pour évaluer le trouble d'une eau. On a cherché, d'une part, à perfectionner la méthode de Secchi en essayant diverses mires au lieu du disque blanc, d'autre part, à déterminer des types ou étalons des divers degrés de turbidité. Ce sont encore les Américains qui ont précisé les méthodes, et MM. Allen Hazen et G. Whipple se sont entendus pour combiner celle du fil de platine et celle des types à la silice (en suspension)¹, comme il est dit dans la circulaire n° 8 déjà citée du Geological Survey et traduite ci-après :

« L'étalon type de la turbidité 100 est l'eau qui contient 100 milligrammes de silice en suspension par litre, dans un tel état de division qu'un fil de platine brillant de 1 millimètre de diamètre cesse d'être aperçu quand il sera placé à 100 millimètres en dessous de la surface de l'eau, l'œil de l'observateur étant à 1^m,20 au-dessus du fil : l'opération doit être faite en plein air, vers le milieu du jour, à l'ombre, et l'eau doit être dans un vase assez large pour que les parois n'empêchent pas la lumière d'entrer et n'influencent pas les résultats.

« Pour apprécier les eaux plus troubles que cet étalon, on les étend d'un volume d'eau parfaitement claire tel que l'on arrive à égaler la turbidité de l'étalon, et on prend le rapport entre le volume étendu et le volume primitif. Pour les eaux moins troubles que 100, c'est l'étalon qu'on étend d'eau claire jusqu'à égaler l'échantillon, et on prend le rapport du volume primitif de l'étalon à son volume étendu.

« Dans les laboratoires, la méthode de dilution et de compa-

1. On sait qu'on obtient de la silice pure en suspension dans l'eau en la précipitant d'une dissolution de silicate de K ou de Na par HCl ; on a la silice anhydre en chauffant le précipité gélatineux à 100°, lavant et desséchant.

raison est facile à appliquer ; il n'en est pas de même en campagne. On applique alors la *baguette de poche* (fig. 6), au fil de platine. Celui-ci, toujours de 1 millimètre de diamètre et de 20 millimètres de long, est inséré à angle droit vers l'extrémité d'un

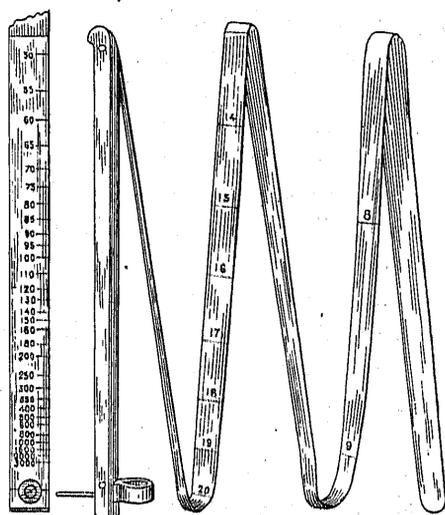


Fig. 6. — Turbidimètre de poche au fil de platine (procédé du Geological Survey des États-Unis).

bâton plat de 0^m,20 de long, prolongé par un cordon de 1 mètre, le tout gradué depuis 3 000 près du fil jusqu'à 7 vers le bout du cordon (lequel porte un anneau). La division 100 se trouve naturellement à 100 millimètres de l'axe du fil de platine ; les autres se détermineraient facilement par les dilutions, mais on peut plus simplement adopter les résultats indiqués par la table ci-dessous, dressée d'après de nombreuses expériences ¹.

TABLEAU.

1. La table de la circulaire américaine porte aussi en regard les valeurs de l'ancienne *échelle inverse (reciprocal scale)*, ainsi nommée parce qu'on prenait pour mesurer la turbidité d'une eau l'inverse de la profondeur exprimée en pouces à laquelle le fil de platine cessait d'être perceptible. Cette échelle n'a plus qu'une valeur rétrospective : ses chiffres n'étaient pas proportionnels à la quantité de matières produisant le trouble.

DEGRÉS de turbidité.	PROFONDEURS du fil de platine.						
	Millim.		Millim.		Millim.		Millim.
7	1095	22	391	80	122	200	57,4
8	971	24	361	85	116	250	49,1
9	873	26	336	90	110	300	43,2
10	794	28	314	95	105	350	38,8
11	729	30	296	100	100	400	35,4
12	674	35	257	110	93	500	30,9
13	627	40	228	120	86	600	27,7
14	587	45	205	130	81	800	23,4
15	551	50	187	140	76	1000	20,9
16	520	55	171	150	72	1500	17,1
17	493	60	158	160	68,7	2000	14,8
18	468	65	147	170	65,4	3000	12,1
19	446	70	138	180	62,4		
20	426	75	130	190	59,8		

« En mettant l'œil à l'anneau terminal, il est toujours à 1^m, 20 du fil de platine.

« Si la turbidité est de plus de 500, il faut diluer l'eau ; si elle est de moins de 7, la méthode ne peut plus servir, et on ne peut plus que comparer avec l'étalon à la silice diluée convenablement.

« Le nombre obtenu en divisant le poids des matières en suspension (en milligrammes par litre) par le chiffre indiquant la turbidité obtenue comme ci-dessus est le *coefficient de finesse*. S'il est > 1 , cela indique que les particules sont plus grosses que dans l'étalon ; s'il est < 1 , c'est le contraire¹.

« On peut expérimenter directement dans un fleuve en un endroit calme : s'il est trop agité, on puise de l'eau dans un seau ou autre vase assez large et assez profond, et on y plonge aussitôt (avant toute sédimentation) la baguette. Il faut toujours rester en plein air, car sous un toit on a des résultats trop forts. »

Comme contrôle de cette méthode à laquelle tout le monde peut se rallier, M. Weston a cité² les expériences faites à la Nouvelle-Orléans avec un diaphanomètre analogue à celui de Parme-

1. Ce coefficient varie de 1,5 à 0,5 dans les fleuves américains. On constate que les crues provenant du Haut Mississippi donnent un trouble moins fort à poids égal de matières en suspension que les crues venant de ses affluents du sud-ouest, la Rivière-Rouge et l'Arkansas. C'est évidemment une conséquence de la nature du sol dans leurs bassins respectifs.

2. Voir *Journal of the New England waterworks Association*, mars 1903.

lee et Ellms. C'est un tube d'environ 1 mètre de long, 30 millimètres de diamètre, porté sur une boîte où est logé l'appareil d'éclairage (lumière Welsbach). Le tube est fermé en bas par un verre dont on a noirci quatre quadrants laissant entre eux une croix transparente. Cette croix fortement éclairée est lumineuse, et on cherche quelle hauteur d'eau il faut verser dans le tube pour qu'on cesse de la voir d'en haut. On établit les degrés de turbidité en prenant encore l'étalon de 100 milligrammes de silice par litre et donnant à la hauteur correspondante le n° 100, puis continuant à graduer avec les dilutions comme précédemment. Cet appareil qui est bon dans les laboratoires est un peu plus exact que le fil de platine, mais en général beaucoup moins commode : toutefois il a l'avantage de pouvoir être utilisé à toute heure et même la nuit.

Rien ne serait plus facile que de graduer de la même manière le diaphanomètre expérimental de M. Regnard cité plus haut. De

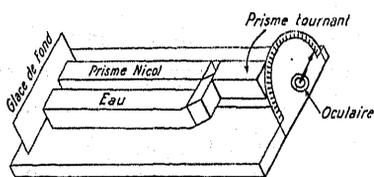


Fig. 7. — Diaphanomètre polariseur d'Anthony.

même pour le diaphanomètre d'Anthony (fig. 7) : celui-ci utilise les propriétés de la lumière polarisée, car on cherche de combien il faut tourner un Nicol mobile par rapport à un Nicol fixe pour obtenir le degré d'obscurcissement pro-

duit sur la lumière venant de la glace de fond par une tranche de l'eau à examiner d'épaisseur déterminée ; la comparaison est facilitée par une sorte d'oculaire où le champ est divisé en deux moitiés, d'un côté la lumière ayant traversé l'eau, de l'autre celle venant des Nicols.

Salback a aussi imaginé un appareil photométrique au moyen duquel on étudie par comparaison l'intensité de la lumière transmise au travers de deux colonnes liquides, celle à examiner et un étalon de turbidité connue ; mais il faut deux lumières artificielles d'intensité rigoureusement égale, et l'appareil est très embarrassant.

Enfin, tout récemment (28 juillet 1903), MM. Van den Broeck et Rahir ont présenté à la Société belge de géologie un *tholomètre* (*tholos*, trouble) qui n'est aussi qu'un diaphanomètre, assez semblable à celui de Parmelee et de la Nouvelle-Orléans : seulement

au lieu de la croix lumineuse, l'objet dont on étudie la disparition et la visibilité est un trèfle métallique émaillé dont les trois feuilles lancéolées sont l'une blanche, l'autre grise et la troisième noire. Cette mire est portée par un manchon de verre évidé, muni à l'autre extrémité d'une sorte d'oculaire pour les visées, et pouvant se mouvoir grâce au fil qui le suspend, une poulie et un contrepoids dans le grand tube gradué. On étudie les distances auxquelles s'éteignent successivement la feuille grise du trèfle, puis la noire, puis la blanche. L'appareil peut servir de *fluorescope*, au lieu du dispositif Trillat-Marboutin : pour le trouble, nous ne voyons pas qu'il présente d'avantage sur la méthode si simple du fil de platine.

Inconvénients et danger des eaux troubles. — Une eau trouble présente dans une distribution urbaine de très graves inconvénients, qui obligent d'ordinaire à la clarifier préalablement. La silice et l'argile en suspension se déposent dans les réservoirs généraux et particuliers, encombrant de boues les chaudières, usent les tuyaux, les pièces des robinets et des compteurs, etc., enfin rendent l'eau répugnante pour les consommateurs. En ce qui regarde la santé de ceux-ci, ce n'est pas que les particules siliceuses ou argileuses soient dangereuses par elles-mêmes, mais il est fort à craindre que ces particules visibles ne soient accompagnées de germes invisibles beaucoup plus nocifs : s'il s'agit d'eaux souterraines, le trouble prouve que la filtration naturelle n'est pas parfaite ou qu'il se mêle aux eaux claires des eaux peu profondes mal filtrées. Bref, là où passent les particules terreuses, les microbes peuvent passer aussi, et on peut poser presque en principe que toute eau qui se trouble a besoin d'être filtrée ou stérilisée avant d'être distribuée pour la boisson.

Correction de la saveur et de l'odeur. — Nous ne dirons que quelques mots sur ces corrections, *qu'on doit ne pas avoir à faire*. Si la saveur de l'eau est due à des composés chimiques, on retombe du reste sur la correction chimique, et en particulier s'il s'agit de la saveur métallique due aux composés du fer, on en vient à l'opération de la *déferrisation*.

Quant à l'odeur, nous avons déjà vu, si elle provient d'organismes vivants ou morts qui ont pullulé à un moment donné sur un filtre ou dans un lac, qu'on n'a de chance de s'en débarrasser qu'en arrêtant cette pullulation, en nettoyant le filtre ou le réservoir.

voir atteint, etc. La filtration soigneuse, au besoin la double filtration, paraissent le meilleur remède. M. A. Gérardin a démontré que la terre traversée par l'air odorant en arrête l'odeur, et il n'est pas étonnant dès lors qu'elle arrête aussi les odeurs de l'eau mise en contact intime avec elle.

Correction de la couleur. — 1° *Procédés naturels de décoloration.* — Ici encore, il vaut mieux prévenir que d'avoir à guérir. Comme la couleur provient surtout des matières organiques végétales restant en contact prolongé avec l'eau, il faudra faire dans le bassin collecteur des eaux de surface trop colorées divers travaux d'aménagement et d'appropriation capables d'éviter ce contact : nettoyage du lit des ruisseaux, régularisation de leur pente, revêtements et perrés, faucardement et enlèvement des herbes, drainage des parties marécageuses, ouverture de fossés d'écoulement, vidange fréquente des réservoirs, etc. Les travaux de ce genre, qui sont des travaux de détail, ne sont pas toujours très coûteux : ainsi Fitz-Gerald avait estimé que moyennant 12 000 dollars, on réduirait la couleur du réservoir d'Ashland (Boston) de 56 à 45, et que si on voulait dépenser 250 000 dollars pour creuser des fossés et canaux, on réduirait de 106 à 60 toutes les eaux du district du Cedar Swamp, d'une surface de 52 kilomètres carrés. En effet, le service des eaux de Boston a, dans ces dernières années¹, assaini dans une bonne partie du bassin de Sudbury River (y compris celui de Wachusett Reservoir) des marais

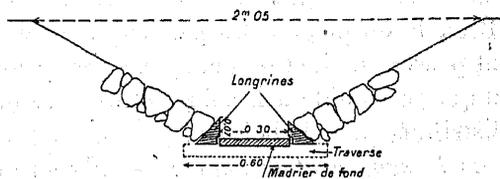


Fig. 8. — Assainissement des marais du bassin du Sudbury River pour décolorer les eaux alimentant Boston : type de fossé avec fond en bois.

occupant une surface de 433 hectares, et cela en établissant une longueur de 44 kilomètres de fossés analogues à ceux de la figure 8 : ces fossés dont le fond est en bois et les talus en partie perreyés sont des plus faciles à tenir propres, et ils n'ont coûté en moyenne

1. D'après M. STEARNS, in *Transactions of American Society of Civil Engineers*, 26 juin 1901.

que 69 cents par pied. Le prix de revient a été de 93 dollars par acre de marais assaini, tout compris, et moyennant ce sacrifice on a obtenu des résultats analogues à ceux figurés ci-contre (fig. 9) pour l'un des principaux marais, le Crane Swamp (de 460

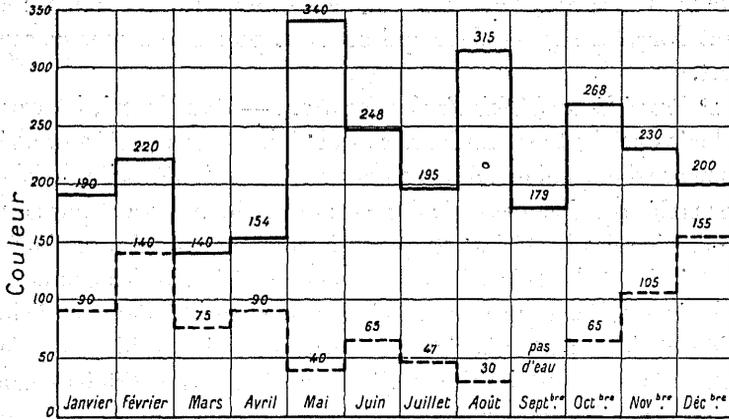


Fig. 9. — Effet de l'assainissement d'un marais sur la couleur de l'eau.
Le trait plein représente la couleur du Crane Swamp en 1895, à l'état nature.
Le trait pointillé représente la couleur en 1900, après assainissement.

acres de surface) : la moyenne de la couleur pour l'année entière est passée de 227 à 82 ; pour un autre marais du même groupe elle est passée de 144 à 47.

Nous connaissons aussi un autre procédé naturel de décoloration : c'est l'action de la lumière, surtout de la lumière solaire, qui *mange* la couleur de la tranche d'eau superficielle. On le met également à profit à Boston, où l'on a construit de grands réservoirs (notamment celui de Wachusett), où l'eau séjourne longtemps ; on admet qu'elle y perd encore un tiers de sa couleur à l'entrée. Fitz-Gerald a démontré par une série d'expériences faites en 1894¹ sur des échantillons en bouteilles que l'eau conservée indéfiniment dans l'obscurité ne perd rien de sa couleur, tandis que l'ammoniaque albuminoïde ou libre diminue et que les nitrites et nitrates augmentent ; au soleil, au contraire, la couleur disparaît totalement en 500 heures d'exposition, tandis que l'ammoniaque augmente et les nitrates diminuent². Dans un grand ré-

1. *Nineteenth annual report of the Boston Water Board.*

2. L'oxygène des nitrates se reporte sur les matières organiques végétales pour les oxyder.

servoir (ouvert, bien entendu), il faut près de deux ans pour une décoloration complète : pendant l'hiver, sous la glace, l'action est très faible. Enfin, au moyen de bouteilles colorées, on constata que la décoloration n'était, dans les bouteilles rouges et jaunes, que moitié de ce qu'elle était dans les blanches et les bleues : ce sont donc les rayons bleus qui sont les plus actifs sous ce rapport.

2° *Procédés artificiels de décoloration.* — Dans le sol, les eaux colorées perdent leur couleur, ce qui tient, d'une part aux phénomènes d'oxydation qui se passent par suite de l'état de division des molécules d'eau et d'air dans les pores de la terre et par suite de l'action des bactéries attaquant la matière organique, d'autre part à l'effet des sels de chaux et de magnésie sur les composés colorés solubles des acides humiques, et surtout à l'effet de l'alumine et de ses dérivés donnant des laques insolubles avec les colorants. On s'est inspiré de là pour décolorer artificiellement l'eau. On a d'abord songé à la filtration simple, qui imite ce que fait la nature dans les premières couches du sol, puis à l'addition de précipitants chimiques avec filtration subséquente, enfin à l'action des oxydants seuls.

Dans un filtre à sable, la silice n'agit pas par elle-même sur la couleur ; mais si bien purgé soit-il, le sable contient toujours un peu d'argile qui, elle, retient la matière colorante ; puis la principale action est sans doute celle d'oxydation indiquée ci-dessus et produite en grande partie par les bactéries détruisant la matière organique. Des expériences faites dans ces dernières années par le *State Board of Health* du Massachusetts¹, tant à Lawrence (où on ajoutait artificiellement à l'eau de la couleur provenant de matières végétales en décomposition) qu'à Springfield (où on opérait sur les eaux naturellement colorées du réservoir de Ludlow), il résulte qu'un simple filtrage au sable avec une vitesse comprise entre 1 mètre et 2^m,50 par jour, enlevait 60 à 80 p. 100 de la couleur des eaux artificiellement très chargées, tandis que sur les eaux naturelles, dont la couleur variait de 40 à 86, il enlevait de 17 à 63 p. 100. On en conclut aussi que la décoloration se fait mieux quand la couleur provient de matières végétales anciennes plutôt

1. CLARK, « Removal of color, organisms and odor from water », in *Journal of New England waterworks Association*, mars 1903.

que de feuilles fraîches, quand la décomposition est plus active, et par suite quand la température élevée la favorise et favorise aussi l'action bactérienne : c'est ainsi qu'en été bien que la couleur soit naturellement plus intense, l'eau filtrée sort moins chargée. A Springfield, on a trouvé encore qu'un filtre marchant à raison de 4^m,70 par jour de vitesse décolorait presque autant qu'un plus lent; enfin qu'en filtrant une seconde fois avec une vitesse de 9^m,35 par jour on enlevait encore 30 p. 100 de la couleur restante, ce qui permettait par la double filtration de ramener en été la couleur d'une moyenne de 64 à 13.

L'addition de coagulants ou précipitants avant filtration est pratiquée en grand aux États-Unis, tant pour produire la clarification et la réduction du nombre des bactéries que la décoloration. Les sulfates ferreux ou ferrique (les sels de fer ne se combinent pas avec la couleur), le permanganate de potasse (son action est trop lente), ont été essayés, mais c'est le sulfate d'alumine qui est de beaucoup le plus pratique. En théorie, on admet que ce sel rencontrant dans l'eau des carbonates alcalins et alcalino-terreux (c'est la quantité totale de ces carbonates que l'on désigne parfois sous le nom d'*alcalinité*) se décompose en donnant des sulfates d'une part, et d'autre part de l'hydrate d'alumine qui se précipite à l'état floconneux, en entraînant ses combinaisons avec les matières colorantes, les bactéries et généralement la plupart des corps en suspension : si les carbonates alcalins sont en quantité insuffisante pour décomposer tout le sulfate d'alumine ajouté, on aurait intérêt à augmenter artificiellement la *dureté* de l'eau. Cependant, Whipple a démontré qu'en ce qui concerne la couleur seule, cette théorie n'est pas exacte, et qu'en fait les eaux plus dures exigent pour se décolorer des quantités plus grandes de coagulant : les quantités employées dans ses expériences pour divers degrés de couleur sont représentées par la figure 10.

En pratique, il faut deux grains par gallon, soit 34^{gr},2 par mètre cube, pour décolorer une eau qui a la couleur 100, et proportionnellement plus ou moins pour des eaux plus ou moins colorées¹; il y a une grande importance à assurer un mélange

1. On admet donc qu'il faut 1/10 de grain par gallon, soit 1^{gr},71 par mètre cube, pour 5 degrés de couleur.

immédiat avec toute la masse d'eau. Il semble qu'il se produit une double action : une partie du sulfate d'alumine réagit direc-

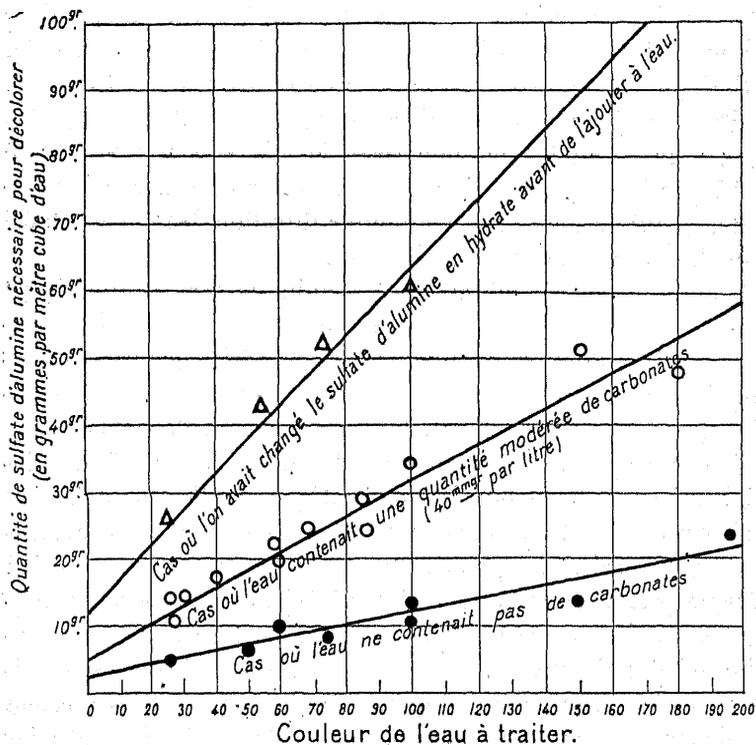


Fig. 10. — Diagramme montrant les poids de sulfate d'alumine nécessaires pour décolorer l'eau plus ou moins colorée, suivant que celle-ci contient ou non des carbonates alcalino-terreux.

tement sur les matières colorantes, tandis que l'autre partie donne avec les carbonates la décomposition ci-dessus, laquelle aboutit bien à la formation d'hydrate d'alumine, mais cet hydrate est moins actif pour enlever la couleur que le sulfate lui-même. En d'autres termes, une partie du réactif est employée à détruire la couleur, et il en faudra dès lors une plus forte proportion pour clarifier une eau colorée que pour une eau de même turbidité non colorée. Quand la couleur dépasse 50, c'est même elle et non plus la turbidité qui devient la plus importante à considérer. Il faut du reste toujours rechercher la dose suffisante tant pour décolorer que pour clarifier simultanément, une dose insuffisante ne produisant que peu ou pas d'effet. La température joue encore un rôle important (la filtration se fait plus vite avec une eau plus

chaude) : ainsi à 21° il faut un sixième de coagulant en moins qu'à 7° et l'opération se fait en six heures au lieu de dix-huit. Enfin, on n'arrive jamais à enlever toute la couleur, mais on la ramène généralement aux environs de 10 ; toutefois une eau très colorée (300), traitée avec 110 grammes par mètre cube, laisse une couleur résiduaire de 50.

Signalons encore les expériences de décoloration par le sulfate d'alumine faites par MM. Fuller et Weston sur l'eau de puits profonds (environ 200 mètres), examinés en vue de l'alimentation de la Nouvelle-Orléans. Ces eaux avaient une couleur élevée, comprise entre 150 et 350, et elles contenaient de 365 à 441 milligrammes par litre de carbonates de K et de Na (pas de Ca, ni de Mg). Pour une moyenne de cinq échantillons, correspondant à la couleur 208 et à la teneur de 408 milligrammes de carbonates alcalins, il a fallu 102^{sr},6 de sulfate d'alumine par mètre cube pour opérer un commencement de décoloration et 171 grammes pour la décoloration complète : si on neutralisait préalablement l'eau, il ne fallait plus que 34^{sr},2 pour la décolorer ensuite. De pareilles eaux diffèrent naturellement beaucoup des eaux de surface et, n'étant pas colorées par les mêmes substances, sont bien plus difficiles à décolorer.

On sait depuis longtemps que le charbon de bois et surtout le noir animal décolorent les liquides mis en contact intime avec eux. On pensait qu'il se produisait dans ce contact une oxydation, mais on croit aujourd'hui que les phosphates de chaux jouent un rôle important. L'emploi du noir animal n'est pas à recommander, parce qu'il donne un aliment trop facile aux bactéries qui pullulent bien vite dans ses pores.

Enfin, les oxydants énergiques réussissent bien pour décolorer l'eau, et parmi eux il faut surtout retenir les composés oxygénés du chlore et l'ozone. Nous décrirons plus tard en détail leur emploi pour la stérilisation de l'eau : nous nous rappellerons alors qu'ils opèrent du même coup la décoloration ; mais, bien entendu, il faut d'autant plus de peroxyde de chlore ou d'ozone qu'il y a plus de matières organiques colorantes à oxyder.

Correction de la turbidité : clarification. — Nous ne pouvons entrer ici dans l'étude détaillée des procédés de clarification, qui nous entraînerait beaucoup trop loin. Il nous suffira de dire qu'ils se ramènent principalement à deux : la *sédimentation* ou décan-

tation et la *filtration*, chacun de ces opérations pouvant être effectuée, soit directement, soit seulement après traitement chimique, notamment par les coagulants. La précipitation des matières en suspension par les coagulants vient déjà d'être esquissée ci-dessus, et nous savons qu'on y recourt fréquemment aux États-Unis avant de faire passer l'eau dans les *filtres rapides*, dits encore *filtres américains* (par opposition aux *filtres lents* ou *filtres à sable européens*). Comme en même temps que la clarification on obtient par le filtrage une diminution très notable du nombre des bactéries — ce qui, au point de vue hygiénique, est le plus important, — on rattache d'ordinaire cette opération à l'épuration biologique et bactériologique des eaux.

Les théories morphologiques concernant la structure primaire de la tige des Phanérogames. Leurs critiques, par L. BRUNTZ, chargé de cours à l'École de Pharmacie.

Récemment, j'ai eu l'occasion d'étudier la structure primaire de la tige des Phanérogames et les théories morphologiques dont elle a été l'objet. Il m'a paru intéressant de grouper les notes bibliographiques recueillies pendant ce travail et d'exposer les remarques critiques que cette étude m'a suggérées.

Je rappellerai d'abord ce qu'est la structure primaire de la tige, envisagée non pas seulement chez les Phanérogames, mais aussi dans certains groupes de la série végétale. On comprendra plus tard pourquoi. Puis j'analyserai, naturellement par ordre d'ancienneté, les théories émises par les principaux auteurs pour expliquer la structure des tiges. Et enfin dans un troisième paragraphe j'exposerai mes remarques critiques.

I. — STRUCTURE PRIMAIRE DE LA TIGE.

La structure primaire de la tige des Phanérogames présente dans ce groupe, comme on le sait, un maximum de complications que je rapporte brièvement.

Une coupe transversale de jeune tige permet de reconnaître que cette dernière est limitée extérieurement par une couche cellulaire (*épiderme*) au-dessous de laquelle on rencontre un parenchyme

(*écorce*) plus ou moins développé et dont la couche cellulaire la plus interne porte le nom d'*endoderme*. L'ensemble des formations épidermique, corticale et endodermique constitue le *manchon cortical* par opposition au *cylindre central* complètement entouré par le premier. Le cylindre central est formé par un tissu conjonctif parenchymateux contenant un nombre variable de *faisceaux libéro-ligneux* à liber externe et à bois interne. La couche la plus extérieure du cylindre central porte le nom de *péricycle*.

Envisagée dans la série, la tige est loin de présenter une structure aussi compliquée. Il est nécessaire de l'étudier rapidement en ne s'adressant qu'à des groupes où l'étude anatomique de la tige, celle de sa ramification, peuvent présenter un certain intérêt pour la discussion des théories.

Chez les Fougères où la tige ne se ramifie pas, cette dernière présente la structure dite polystélisque. Certains auteurs avaient voulu voir dans cette polystélie une structure plus compliquée que celle existant chez les Phanérogames. Il n'en est rien. VAN TIEGHEM a montré que cette structure ne correspondait qu'à un simple accident, une fragmentation de la stèle d'une tige monostélisque.

Chez les Lycopodes, la tige est monostélisque; dans la stèle les faisceaux ligneux et libériens sont alternativement superposés.

C'est dans le groupe des Mousses que la tige apparaît pour la première fois très nettement différenciée. Chez certaines Mousses on reconnaît déjà sur une coupe transversale de tige la présence d'un tissu conducteur (*cylindre axile*) peu différencié au milieu d'un parenchyme limité extérieurement par un épiderme. Dans ce cas les feuilles peuvent être mises en communication avec ce tissu conducteur par un faisceau de même tissu. Mais dans de nombreuses Mousses, les plus inférieures, la tige n'est constituée que par un parenchyme entouré de l'épiderme limitant.

Ces faits remémorés, je puis aborder l'étude historique des théories émises pour expliquer la structure des tiges.

II. — LES THÉORIES.

C'est DE LA HIRE qui le premier, en 1708, émit une idée sur la constitution de la tige. Pour lui, une branche quelconque d'un arbre est une unité, un individu analogue à celui qui lui a donné

naissance. Le bourgeon, dont la branche provient, est analogue à un œuf ou à une graine ; il donne naissance à une plante qui enfonce sa racine entre le bois et l'écorce et dont la tige grandie constitue la branche de l'arbre.

Cette théorie a été émise par DE LA HIRE moins pour faire comprendre la constitution des tiges que pour permettre d'entrevoir comment leur accroissement en diamètre pouvait se produire, expliquer la présence des couches annuelles du bois et la direction verticale des axes des plantes.

Cette théorie complètement imaginée par DE LA HIRE, n'étant pas une déduction logique de faits apportés comme preuves à l'appui, aurait dû passer complètement inaperçue. Il n'en a rien été, et, dans la suite, de nombreux auteurs ont cherché à modifier cette théorie primitive ou à lui en substituer d'autres plus ou moins voisines afin de se mettre d'accord avec les faits.

D'après DUCHARTRE, MOELLER en 1751, E. DARWIN en 1800; ainsi que POITEAU et LINDLEY, eurent recours, pour expliquer l'accroissement des tiges, à la théorie DE LA HIRE et tous l'appuyèrent de leur grande autorité.

Les premiers auteurs qui cherchèrent à consolider la théorie que je viens d'exposer et à la concilier avec les opinions généralement admises à cette époque sont : AUBERT DU PETIT-THOUARS et ADOLF AGARDH.

En 1805-1806, AUBERT DU PETIT-THOUARS, en étudiant l'accroissement de la tige des Dragonniers, constata : que « chaque bourgeon concourt à revêtir l'ancien bois d'une nouvelle couche. A l'aisselle de chaque feuille correspond un point vital. Ce point vital est absolument analogue à la graine. Comme elle, il paraît composé de deux parties qui tendent sans cesse, l'une à se mettre en contact avec l'air et la lumière, l'autre à s'enfoncer dans l'humidité et les ténèbres. Ces fibres y filent pour ainsi dire leur organisation. Les fibres corticales partent, comme les fibres ligneuses, du bourgeon ».

J'ai rapporté les propres paroles de DU PETIT-THOUARS pour montrer que cet auteur faisait simplement sienne la théorie de DE LA HIRE. La théorie de DU PETIT-THOUARS eut néanmoins un grand succès malgré l'objection¹ des plus sérieuses qu'on opposa à l'au-

1. Trouvée dans DUCHARTRE.

teur : puisque les racines des bourgeons s'allongent de haut en bas entre le bois et l'écorce, pourquoi n'en rencontre-t-on pas à tous les degrés de développement à tous les niveaux ? C'est que, dit-il, « les fibres se produisent et s'accroissent par une force organisatrice qui, comme l'électricité et la lumière, ne semblent point connaître la distance ».

Une objection non moins sérieuse est celle qu'on tira du phénomène de la greffe. Après la greffe d'un arbre sur un autre, toutes les couches nouvelles devraient, d'après la théorie, venir de la greffe. Or, cela n'est pas, car en utilisant des bois assez différents d'aspect on constate que les couches qui se forment sur le sujet ont la couleur du bois du sujet et celles qui se forment sur la greffe, la couleur du bois de la greffe.

En 1829, AGARDH proposa une nouvelle théorie basée sur l'individualité de la feuille (par opposition aux théories déjà étudiées et qui sont basées sur l'individualité des bourgeons). Je n'ai pu me procurer le mémoire d'AGARDH, mais DUCHARTRE en donne une analyse claire et succincte ; je la rapporte textuellement. D'après AGARDH : « un bourgeon se forme ou peut se former partout où un faisceau de trachées se bifurque. Ce bourgeon, à son tour, contient plusieurs embryons soudés ensemble dont chacun est constitué par un faisceau de trachées bifurqué et, le rameau extérieur de chaque bifurcation se changeant en feuille, l'intérieur concourt à la formation de l'étui médullaire. D'un autre côté, de chaque point de bifurcation des mêmes faisceaux part un prolongement descendant que le botaniste suédois nomme *queue*. Ce sont toutes ces queues qui se réunissent pour constituer la nouvelle production ligneuse. Le bourgeon ne se prolonge pas en une seule queue, mais en autant de queues qu'il y a de paires de feuilles dans le bourgeon, le nombre de ces paires étant égal à celui des feuilles libres parce que dans chaque paire une feuille est restée dans la tige. »

La théorie d'AGARDH ne fut plus soutenable le jour où l'on sut que l'accroissement en diamètre des tiges s'effectue sur place à l'aide de méristèmes. La même objection peut être opposée à la théorie de GAUDICHAUD, théorie dite du *Phyton*. Néanmoins cette dernière remporta le plus grand succès ; il est vrai que son auteur mit pour la défendre non moins d'acharnement que ses détracteurs à l'empêcher de survivre.

La théorie du *Phyton* date de 1835. D'après GAUDICHAUD, la feuille constitue une individualité propre, une unité, une plante distincte, c'est le *Phyton*. Une plante entière résulte de la réunion de nombreux phytons soudés entre eux dans le bourgeon comme toutes les parties d'une plante (sépales, pétales, étamines, etc...) sont susceptibles elles-mêmes de se souder.

Le Phanérogame le plus simple est composé seulement d'une feuille cotylédonaire : c'est le meilleur type du phyton.

En ne considérant que les tissus vasculaires formant pour GAUDICHAUD l'*individu vasculaire*, le phyton se compose d'un système vasculaire comprenant : 1° des *vaisseaux nerveux mérithalliens* — ce sont les vaisseaux formant le *canal médullaire*; 2° des *vaisseaux tubuleux* ou *ligneux mérithalliens* — ce sont les vaisseaux formant les *canaux de bois*; 3° les *vaisseaux fibreux mérithalliens* — ce sont les *vaisseaux de l'écorce*.

Les premiers constituent le *système ascendant*, car ils se développent de bas en haut; les deuxièmes et troisièmes constituent le *système descendant*, ils se développent dans le sens contraire.

« La tige, dit GAUDICHAUD, est formée primitivement par les *vaisseaux du mérithalle inférieur de chaque feuille*, lesquels vaisseaux sont successivement recouverts dans l'ordre de leur accroissement respectif, pousse annuelle par pousse annuelle, verticille par verticille et quelquefois mérithalle par mérithalle; par des prolongements radiculaires du système descendant des mêmes feuilles, eux-mêmes développés et symétriquement séparés par du tissu cellulaire dit épidermoïde, pulpeux et médullaire selon la place qu'il occupe ou le mode particulier de son développement, ou, en d'autres termes, une tige vivace est composée de feuilles superposées et greffées les unes dans les autres, entre les vaisseaux fibreux de l'écorce par des prolongements radiculaires de ces mêmes vaisseaux. »

Ainsi donc, d'après les phytologistes, la tige est constituée par des vaisseaux tubulaires radiculaires des feuilles; ces derniers correspondent par conséquent aux formations appelées queues par AGARDH.

La théorie du phyton n'avait pas seulement pour objet d'expliquer la structure des tiges et leur accroissement, mais GAUDICHAUD attribue aussi une origine de phyton à ce qu'il a appelé les

processiles ou *parties appendiculaires* (écailles, feuilles, stipules, bractées, calice, etc.).

Parmi les auteurs qui s'élevèrent contre la théorie du phyton, il convient de citer DE MIRBEL et PAYEN. Le premier, par de nombreuses analyses chimiques, montra que plus les tissus sont jeunes plus ils sont azotés ; plus ils vieillissent plus ils contiennent de cellulose et de lignine, et que pendant ce temps les membranes s'épaississent, l'accroissement des végétaux est donc dû à l'épaississement de ces membranes. Le second, à l'aide d'expériences critiques et d'études anatomiques, montra que l'épaississement des tiges a pour cause la formation de couches utriculaires superposées les unes aux autres, lesquelles offraient d'autant moins de consistance qu'elles se rapprochaient de la base.

En résumé, ces deux auteurs tendent à prouver que la théorie de GAUDICHAUD est en contradiction avec les faits qu'ils observent puisque la théorie veut que le système descendant du phyton qui doit constituer la tige ait ses parties les plus anciennes du côté du bourgeon.

Je n'insiste pas sur les polémiques soulevées à cette époque et les diverses réponses de GAUDICHAUD, qui n'éclaircissent pas la question.

Enfin, pour terminer cette longue énumération de théories d'auteurs anciens, il convient de citer HANSTEIN et NÆGLI¹ qui, en 1857, tentèrent d'appuyer, à l'aide d'un certain nombre de faits, la théorie que je viens d'étudier. Ils montrèrent l'identité presque complète des faisceaux libéro-ligneux dans la tige et la feuille, et reconnurent que tous tirent leur origine du méristème terminal du bourgeon.

Après les longues discussions que soulevèrent les théories étudiées, la lutte se calma et les théories tombèrent presque dans l'oubli. Ce n'est que vingt-cinq ans plus tard que BERTRAND, en 1880, publia la *théorie du faisceau*, théorie qui ne devait avoir que peu de succès et qui, dans l'esprit de son auteur, devait expliquer l'organisation des axes (tiges, stipes, racines), ainsi que celle des appendicés (feuilles, frondes, porte-racines). Je la résume aussi brièvement que possible.

Les faisceaux libéro-ligneux primaires se divisent : 1^o en *fais-*

1. D'après BONNIER.

ceaux unipolaires ou *monocentres* ; 2° en *faisceaux multipolaires* ou *polycentres*.

Les faisceaux monocentres sont ceux qui, sur une coupe transversale, ne présentent qu'un seul centre de différenciation ligneuse; les faisceaux polycentres, ceux dont les sections transversales en présentent plusieurs.

Le centre de figure (que l'auteur désigne par la lettre C) d'un organe quelconque est le centre géométrique d'une coupe transversale perpendiculaire à l'axe de cet organe. Sur une telle coupe on rencontre le centre de figure d'un ou de plusieurs faisceaux, ils sont indiqués par la lettre γ .

Le centre de développement d'un faisceau, c'est-à-dire le point initial de la différenciation ligneuse, se désigne par la lettre Δ .

D'après BERTRAND, ce qui d'ailleurs est évident, un faisceau est défini quand on connaît la position des points γ , le nombre des points Δ et la situation des points Δ par rapport à la droite C γ . Sur une coupe transversale l'axe se reconnaît grâce à ce fait qui permet de le définir : les centres des faisceaux γ sont disposés symétriquement autour du centre de figure C.

En ce qui concerne la tige, le seul axe qui nous occupe, la théorie de BERTRAND le considère comme un axe dont tous les faisceaux primaires sont monocentres. Au contraire, la tige (stipe) des Cryptogames vasculaires est un axe dont tous les faisceaux primaires sont toujours bicentres.

Ce que BERTRAND dit de la tige des Phanérogames est exact. Sa conception de la tige des Cryptogames vasculaires est bien moins heureuse et M. DANGEARD n'hésite pas à la qualifier de fantaisiste. Ce dernier auteur, du reste, a fort sagement combattu la théorie du faisceau ; il a montré qu'en ce qui concerne la tige des Cryptogames vasculaires elle était en complète opposition avec les faits, et aujourd'hui on peut dire que la théorie du faisceau ne présente plus qu'un intérêt historique.

Après avoir montré le peu de valeur que l'on devait attribuer à la théorie du faisceau, M. DANGEARD, en 1889, déclare « qu'il y aurait grand avantage à revenir à la théorie de GAUDICHAUD ». D'après M. DANGEARD, le phyton doit être considéré comme composé de deux parties : 1° une *partie caulinaire* qu'il appelle *rachis* ; 2° une *partie appendiculaire* formée par l'ensemble d'un limbe, un pétiole, une gaine et quelquefois des stipules.

La tige n'est qu'une *coalescence des rachis*. L'auteur défend fort bien sa théorie en montrant que dans beaucoup de Conifères les rachis sont visibles extérieurement et se montrent sur la surface de la tige comme des bourrelets allongés limités de chaque côté par des sillons longitudinaux. C'est un même fait qu'il retrouve chez quelques Composées où la trace du rachis est indiquée extérieurement sur la tige par une aile formée par le parenchyme prolongé du limbe. Enfin, il démontre fort longuement que « les modifications qui portent sur le rachis ne sont pas plus grandes que celles qui affectent la partie appendiculaire, la feuille ».

Se rapprochant beaucoup de la théorie de M. DANGEARD et publiée plus récemment est celle de M. BONNIER. En 1901, dans son *Traité de Botanique*, M. BONNIER, « bien que ne voulant pas, dit-il, restaurer la théorie du phyton, est amené par des recherches anatomiques à considérer la tige comme formée par *un ensemble des prolongements des bases des feuilles* ». Les arguments de M. BONNIER semblent tout aussi heureusement choisis que ceux de M. DANGEARD, et à le suivre on trouve des preuves bien séduisantes.

Cette dernière théorie est basée sur un certain nombre de faits que l'auteur démontre d'une manière indiscutable :

1° La structure primaire de la tige est fonction de la disposition des feuilles ; la symétrie de la tige n'est plus radiale dans les tiges à feuilles alternes ;

2° Comme FLOT l'a pensé, la tige peut être considérée comme formée par un ensemble de segments foliaires ;

3° La différenciation des tissus est la même dans la tige comme dans les feuilles, tous les tissus se correspondent, sauf cependant l'endoderme spécial des faisceaux libéro-ligneux de la feuille qui n'est pas la continuation de l'endoderme général de la tige.

III. — REMARQUES CRITIQUES.

Les théories de MM. DANGEARD et BONNIER paraissent fort acceptables, exprimant bien et même fort élégamment la réalité de certains faits ; mais néanmoins j'estime que leurs théories ne représentent pas l'expression de la vérité, elles doivent être consi-

dérées seulement comme de simples vues de l'esprit. Du reste, bien que M. BONNIER se défende de vouloir ressusciter la théorie du phyton, il me semble que toutes les théories que j'ai étudiées (sauf celle de BERTRAND) présentent ce point commun, celui de vouloir considérer la tige comme formée par un ensemble de :

a) *Racines provenant d'un bourgeon-cœuf* (DE LA HIRE, DU PETIT-THOUARS);

b) *Queues* (AGARDH);

c) *Systèmes descendant des phytons* (GAUDICHAUD);

d) *Rachis* (DANGEARD);

e) *Prolongement des bases des feuilles* (BONNIER).

Il n'y a donc entre les diverses théories de tous ces auteurs, théories dont la suivante est toujours un perfectionnement de la précédente, que des différences d'ordres bien secondaires. J'arrive à de tout autres conclusions sur la structure de la tige en me basant sur des considérations tirées de :

1° *L'embryologie de la plante;*

2° *L'anatomie comparée de la tige.*

Des plus récentes études embryologiques, on peut conclure que (je cite textuellement BELZUNG) : « l'embryon est d'abord représenté par un massif homogène de petites cellules....., ce corps cellulaire, cylindrique ou ovoïde, dont l'axe se confond avec celui du nucelle est le *rudiment de la tige ou tigelle* de l'embryon. *Plus tard, deux protubérances marquent à l'extrémité libre de la tigelle l'origine des deux premières feuilles, les cotylédons* ».

Ainsi, dans l'embryon, la tige commence d'abord par se former, puis seulement ensuite les feuilles. Alors pourquoi faire dépendre la tige de la feuille ?

Je sais bien que l'on peut objecter qu'à ce stade du développement, la tige n'est pas différenciée; qu'elle ne possède pas de faisceaux libéro-ligneux; qu'elle ne renferme pas tous les éléments constitutifs d'une tige, qu'elle n'est donc pas une tige. Mais à cette objection je dirai que peu importe la structure de la tige, la tigelle est déjà une tige puisqu'elle répond à la définition physiologique de la tige: elle supporte les feuilles, elle a donné naissance à la racine et elle réalise l'union entre ces deux sortes de membres. Si la tigelle est restée complètement cellulaire, si elle ne possède pas de tissu conducteur, c'est qu'elle n'en a pas besoin, la nutrition de la plante étant jusqu'alors capable de se

produire uniquement par des phénomènes d'osmose, la plante étant encore de très petite taille.

Et puis, si on envisage la différenciation du parenchyme en tissu libérien et ligneux, comme FLOR l'a fait (il est probable que la différenciation de l'embryon est analogue à celle du bourgeon), il me semble que, pour que l'on soit autorisé à considérer la tige comme formée par l'ensemble des prolongements des bases des feuilles, il faudrait que la différenciation vasculaire s'effectuât de la feuille vers la tige en débutant dans la première. Or, cette différenciation commence dans une plage neutre (méristème vasculaire), n'appartenant pas plus à la feuille qu'à la tige, pour ensuite se poursuivre dans deux sens opposés, vers l'extrémité de la feuille et dans la zone d'accroissement intercalaire de la tige. Il n'y a donc pas lieu de considérer cette dernière comme formée par la base de la feuille. Et, bien au contraire, ce mode de développement semble indiquer que la même valeur doit être attribuée aux deux sortes de membres considérés.

L'anatomie comparée de la tige s'oppose, comme l'embryologie, à ce que l'on considère la structure de la tige comme MM. DAN-GEARD et BONNIER l'ont comprise.

Tous les botanistes sont d'accord pour reconnaître aux Mousses ce que j'appellerai une *vraie tige*¹; or, les Mousses les plus inférieures ne possèdent aucune trace de système conducteur, mais n'en possèdent pas moins de nombreuses *vraies feuilles*. Ces Mousses, somme toute, sont restées au stade cellulaire du développement des végétaux supérieurs. Et, à ces feuilles, à ces tiges on ne peut adresser le reproche de ne pas jouer leur rôle physiologique.

Comment, de plus, les phytologistes (et ceux qui voudraient considérer la tige comme un ensemble de bourgeons ou partie de bourgeons) expliqueront-ils la structure des tiges des Mousses les plus élevées en organisation, car les bourgeons naissent plus ou moins en rapport avec les feuilles, mais dans tous les cas en moins grand nombre qu'elles? Comment expliqueront-ils la structure de la tige des Fougères qui sont totalement privées de bourgeons axillaires, la structure de la tige de Lycopodes où les ra-

1. Pour la distinguer des formations déjà appelées tiges chez certains Thallophytes, les Caulerpes par exemple.

meaux paraissent naître sans rapport déterminé avec les feuilles et toujours aussi en bien moins grand nombre qu'elles ?

Pour conclure, on ne peut donc pas dire que les diverses manières de comprendre la structure de la tige par les auteurs cités sont l'expression de la vérité; ce sont seulement des moyens commodes d'envisager cette structure, des conceptions métaphysiques sans aucune réalité objective.

La tige ne peut être subordonnée aux feuilles et les trois sortes de membres de la plante ont la même valeur anatomique, avec cette différence cependant que feuilles et racines procèdent de la tige.

AUTEURS CITÉS.

AGARDH (C. A.), *Essai sur le développement intérieur des plantes*. In-12. Lund., 1829.

AUBERT DU PETIT-THOUARS, *Essai sur la végétation*, 1805-1806.

BELZUNG (E.), *Anatomie et physiologie végétale*. Paris, 1900, p. 921.

BERTRAND (C. E.), « Théorie du faisceau ». (*Bulletin scientifique du département du Nord*, t. XII, 2^e série, 1880, p. 19, 116, 165.)

BONNIER (A.), *Cours de botanique*. Paris, 1901. T. I, fasc. II, p. 410.

DANGEARD (P. A.), « Essais sur l'anatomie des Cryptogames vasculaires ». (*Le Botaniste*, 1^{re} série, 1889, p. 210.)

DANGEARD (P. A.), « Recherche de morphologie et d'anatomie végétales ». (*Le Botaniste*, 1^{re} série, 1889, p. 174.)

DARWIN (E.), *Phytologia*.

DUCHARTRE (P.), *Éléments de botanique*, 2^e édition. Paris, 1877, p. 386.

FLOT (L.), « Sur l'origine commune des tissus dans la feuille et dans la tige des Phanérogames ». (*Comptes rendus Académie des sciences*, 1900, p. 1319.)

GAUDICHAUD (C.), « Recherches générales sur l'organographie, la physiologie et l'organogénie des végétaux ». (*Mémoires des divers savants. Académie royale des sciences*, 1841, p. 1.)

GAUDICHAUD (C.), « Premières remarques sur les deux mémoires de MM. PAYEN et DE MIRBEL, etc... ». (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXII, 20 avril 1846.)

HIRE (DE LA), « Explication physique de la direction verticale des tiges des plantes et des branches des arbres et de leurs racines ». (*Mémoires de l'Académie royale des sciences*, 1708, p. 231.)

MIRBEL (DE) et PAYEN, « Extrait d'un premier mémoire sur la composition et la structure de plusieurs organismes des plantes ». — « Extrait du second mémoire sur la structure et la composition de plusieurs organismes végétaux. » (*Comptes rendus Académie des sciences*, 1846, p. 558.)

Séance du 15 décembre 1903.

Recherches morphologiques et morphogéniques sur la membrane des zygospires, par le professeur Paul VUILLEMIN.

Les zygospires de Mucorinées sont revêtues par des enveloppes protectrices dont la complexité est supérieure à ce que l'on observe d'habitude dans les membranes cellulaires des champignons.

Ces enveloppes ne sont pas élaborées par une simple cellule, au sens biologique du mot, par une énérgide, si l'on préfère la terminologie de Sachs. Elles sont l'œuvre collective d'un grand nombre d'unités biologiques, déjà associées en symplaste dans chacune des branches copulatrices qui collaboreront à l'édification de la zygospire, puis combinées en un symplaste plus puissant à la suite de l'abouchement des protoplasmes multinucléés.

La structure de ces enveloppes est mal connue. Il semble que les auteurs se soient exagéré les difficultés techniques de son étude. Les couches superficielles sont généralement infiltrées d'un pigment sombre qui les rend opaques et cassantes; mais il est facile d'obvier à cet inconvénient en traitant les zygospires par l'acide chromique qui les éclaircit et leur donne une consistance plus homogène. Ce réactif rendra de grands services si l'on veut débiter les organes en coupes fines et déterminer les rapports du protoplasme avec la membrane.

Cet expédient était superflu pour le but que nous nous proposons. L'opacité de la membrane n'est jamais telle, qu'elle ne puisse être percée par un éclairage intense uni à l'emploi d'objets très puissants. Les colorations naturelles différencient nettement les diverses couches et accusent les reliefs que les réactions artificielles tendent à amoindrir ou à déformer.

Il n'existe donc aucune difficulté technique et l'observation directe, suffisamment prolongée, suffisamment variée, permet de pousser très loin l'analyse de l'organisation de la membrane. La dissection et la coloration artificielle permettent de préciser certains détails.

L'étude des enveloppes de la zygospire a rencontré un obstacle

plus grave. Elle a été souvent subordonnée à des vues théoriques arrêtées d'avance, tandis qu'elles auraient dû, au contraire, s'étayer sur la patiente observation des faits.

La zygospore est considérée, tantôt comme une spore nue, tantôt comme une spore endogène ou comme un œuf contenu dans un oogone. Dans la première hypothèse, les enveloppes qui la protègent constituent une membrane unique, à structure hétérogène, à développement discontinu. Dans la seconde hypothèse, on imagine un emboîtement de membranes, dont l'interne appartient seule en propre à la zygospore, tandis que l'externe provient des cellules conjuguées.

La théorie dualiste suppose un hiatus dans l'évolution des enveloppes de la zygospore, hiatus déterminé par un brusque changement de propriétés du protoplasme qui en élabore les matériaux. Ce phénomène critique ne serait autre que la conjugaison des deux gamètes. A partir de ce moment, la membrane primitive perdrait toute connexion avec le corps vivant et l'œuf ou l'embryon qui en dérive immédiatement se ferait une membrane sur de nouveaux frais. La réalité de la conjugaison n'a jamais été démontrée — l'abouchement des protoplasmes ne mérite pas ce nom, pas plus qu'une anastomose quelconque de filaments ; — les recherches de Maurice Léger¹ montrent que, si cet acte se consomme, ce n'est pas avant que l'évolution de la membrane dite propre soit complètement achevée.

Les partisans de la théorie uniciste n'ont pas jugé utile de chercher dans la membrane de la zygospore plus de complication que dans les autres membranes de spores et ils n'ont signalé que les assises les plus apparentes.

Les dualistes se sont d'abord contentés d'assigner une valeur différente aux mêmes assises. Cependant L. Mangin² restitue à la zygospore la couche noire et cassante qui est le siège des sculptures les plus apparentes et que Van Tieghem attribuait aux cellules conjuguées ; pour ce scrupuleux observateur, la membrane formant la paroi des cellules copulatrices qui se sont cloisonnées pour donner les gamètes est extrêmement mince ; elle est étroitement appliquée contre la surface externe de la zygospore. La

1. *Recherches sur la structure des Mucorinées*. Poitiers, 1895.

2. L. MANGIN, « Observations sur la membrane des Mucorinées ». (*Journal de Botanique*, 1899, t. XIII.)

divergence d'opinions entre Van Tieghem et Mangin au sujet de la limite des deux membranes montre que la théorie dualiste ne repose pas sur des faits définitivement acquis.

Nous avons donc jugé utile de faire table rase des opinions classiques. Nous avons analysé la constitution des zygospores mûres d'un certain nombre de Mucoracées et nous avons recherché, en examinant ces organes aux divers stades de leur évolution, par quelle série de transformations cette structure complexe dérivait de l'organisation simple des filaments aux dépens desquels s'élabore l'organe conservateur.

La différenciation est progressive ; nous n'y avons pas observé de catéclysmes, de séparations brusques et tranchées entre les produits successifs de l'activité du protoplasme. Cette étude montrera une fois de plus que les cadres artificiels, ces échafaudages sur lesquels la science a étayé ses premières assises chancelantes, doivent disparaître à mesure que nous avançons dans la connaissance de la nature.

1° Les cinq assises constitutives de la membrane.

La zygospore mûre des Mucoracées est limitée par une enveloppe puissante et compliquée. Nous y distinguons cinq assises principales, alternativement minces et épaisses, que nous désignerons par leurs caractères objectifs les plus saillants, pour éviter les confusions de nomenclature auxquelles ont donné lieu des vues théoriques contradictoires sur leur origine et leur valeur morphologique.

La plus interne est mince, d'aspect granuleux, se colore en brun rougeâtre par l'acide sulfurique et l'iode, en violet intense sous l'influence de l'hématoxyline¹. C'est proprement l'intermédiaire entre le protoplasme actif et les couches protectrices définitivement organisées et inertes ; c'est l'assise génératrice de la membrane, variant peu dans toute la durée de l'évolution de l'enveloppe protectrice. Nous l'appellerons la *matrice* de la membrane.

La suivante est la plus épaisse ; elle rappelle le cartilage par sa réfringence, son élasticité. D'après Mangin, elle manifeste nette-

1. VUILLEMIN, « La Membrane des zygospores de Mucorinées ». (*Bulletin de la Société botanique de France*, séance du 23 juillet 1886, p. 333.)

ment les réactions de la cellulose lorsqu'elle a subi une oxydation préalable par le séjour des zygospores dans un mélange d'acide chlorhydrique et de chlorate de potasse. C'est l'*assise cartilagineuse*.

Je nommerai *cuticelle médiane* une mince pellicule qui revêt l'assise cartilagineuse. On l'isole aisément en débarrassant mécaniquement la zygospore des assises plus extérieures et en la traitant par l'acide sulfurique qui détruit la substance d'aspect cartilagineux. J'avais signalé cette assise comme une mince cuticule (*loc. cit.*, p. 332). Elle a bien l'aspect d'une cuticule; mais comme elle n'a pas une valeur morphologique uniforme et ne répond pas au sens consacré par ce terme, je préfère rappeler simplement son apparence par le mot « cuticelle ».

La quatrième assise, assez puissante, se distingue à son défaut d'élasticité, à sa fragilité, à sa coloration le plus souvent brun sombre ou noirâtre. Selon Mangin, elle est constituée par de la cellulose imprégnée ou recouverte de substances qui offrent les réactions des matières albuminoïdes. Nous l'appellerons *assise charbonneuse*.

Enfin l'assise superficielle mince, tantôt élastique, pâle, restant appliquée à la précédente, tantôt noire, cassante, inextensible, bientôt fenêtrée ou réduite en lambeaux, sera désignée sous le nom de *cuticelle externe*.

2° Synonymie des cinq assises constitutives de la membrane.

Tous les auteurs sont d'accord sur l'existence de deux couches épaisses et sur leur aspect respectivement cartilagineux et charbonneux; leurs opinions ne divergent que sur la signification de ces couches. Les assises minces, au contraire, sont en totalité ou en partie négligées ou méconnues. La cuticelle médiane, si facile pourtant à caractériser, semble avoir échappé à tous les observateurs depuis que je l'ai signalée en 1886. L'assise-matrice a été bien comprise par de Bary et Woronine probablement, par Van Tieghem certainement. Maurice Léger a raison d'en signaler l'importance, mais ses devanciers ne l'ont pas méconnue aussi généralement qu'il se l'imagine. Quant à la cuticelle externe, elle est confondue avec l'assise charbonneuse, excepté par Mangin.

Dans la théorie uniciste, la couche charbonneuse, non distin-

guée des cuticules, est l'*exospore* (de Bary et Woronine, Brefeld, A. Fischer) ou *épisporé* (Schroeter) ; la couche cartilagineuse est l'*endospore*.

Dans la théorie dualiste, la couche charbonneuse est généralement considérée comme le produit de la transformation directe de la membrane des cellules conjuguées. Van Tieghem l'envisage comme une pellicule inerte, brunissant progressivement et se moulant passivement sur les aspérités de la spore (tubercules de *Mucor*, stries de *Spinellus*). Les dénominations d'*exospore* et d'*endospore* sont alors réservées aux assises de la membrane propre : la première à la couche cartilagineuse, la seconde à la matrice. L'*exospore* de Van Tieghem correspond à l'*endospore* de Bary et Woronine.

Tout en souscrivant à la théorie dualiste, Mangin adopte la nomenclature de Bary et Woronine, modifiée par Schroeter ; il nomme la couche cartilagineuse *endospore*, la couche charbonneuse *épisporé*. Ce que nous appelons cuticelle externe représente, pour lui, la paroi des cellules copulatrices.

M. Léger adopte une théorie uniciste ou multipliste basée sur les modifications progressives des propriétés de la membrane et analogue à celle que nous préconisons dès 1886. S'il emploie les termes d'*endospore* et d'*exospore* au sens de Van Tieghem, il propose celui de *périsporé* pour l'assise charbonneuse.

En 1886, nous distinguons dans la membrane cinq zones principales sans leur donner de noms spéciaux. Elles correspondent aux quatre assises internes, dont l'une, l'assise cartilagineuse, est stratifiée, sans que ses deux couches principales s'opposent par des propriétés suffisamment tranchées. A ces quatre assises nous ajoutons la cuticelle externe, confondue alors avec l'assise charbonneuse.

En négligeant même la complexité de certaines assises, nous n'en trouvons pas moins de cinq nettement caractérisées. Dans l'impossibilité où nous sommes de les homologuer avec les deux assises principales des spores ordinaires, il nous paraît inopportun de leur appliquer la nomenclature consacrée pour ces dernières et de perpétuer les confusions dont cette application a été le point de départ. Nous nous en tiendrons aux désignations empiriques proposées au début de cette note.

D'après leur rôle physiologique comme d'après leur degré de

différenciation, les cinq assises de la membrane se laissent classer en deux catégories. La première catégorie comprend seulement l'assise interne dont le rôle est essentiellement formateur ; la seconde se compose des quatre assises extérieures qui constituent ensemble l'organe protecteur de la zygospore.

L'assise interne ou matrice de la membrane est étroitement unie au protoplasme fondamental dont elle règle les fonctions dermatogénétiques. Elle préside à tous les phénomènes actifs de l'organisation des tissus protecteurs et recule constamment vers l'intérieur, à mesure qu'elle abandonne au dehors de nouvelles couches définitivement organisées. Sous son apparence uniforme, la matrice se renouvelle incessamment pendant toute la durée de l'évolution de la membrane, semblable à l'eau de fontaine toujours nouvelle et toujours identique à elle-même. Elle se distingue donc des autres assises par sa faible différenciation et par sa grande activité.

Les quatre assises protectrices ont une histoire plus compliquée. Leur évolution offre de notables différences d'une espèce à l'autre ; aussi devons-nous l'envisager successivement chez plusieurs types.

3° Évolution des quatre assises protectrices de la zygospore chez quelques espèces de Mucoracées.

A. — *Sporodinia Aspergillus* (Scopoli 1772) Schröter 1886.

Au moment où les branches copulatrices arrivent au contact, elles sont revêtues d'une mince membrane de nature cellulosique et pectique (Mangin). Les deux calottes terminales s'aplatissent par compression réciproque et forment un double disque que j'ai nommé *cloison mitoyenne primitive* (fig. 1, 2). Cette cloison se colore en bleu par le chloro-iodure de zinc comme les filaments dont elle procède.

Une suture s'établit à la périphérie du disque entre les portions de membrane qui appartiennent à chaque branche copulatrice et établit la continuité entre elles.

Le reste du disque se ramollit ; mais aucune communication ne

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 23 novembre 1903.

s'établit à cette période entre les deux protoplasmes, car une nouvelle assise plus ferme s'organise sur les deux faces de la cloison mitoyenne primitive et s'étend progressivement sur les parois extérieures.

Les branches copulatrices continuent à se renfler au sommet en massue et, sous l'influence de la tension croissante de leur contenu, tendent à s'arrondir de nouveau. Le disque ramolli offre une résistance insuffisante à leur rétraction et les nouvelles assises se décollent à partir de la périphérie. Un espace annulaire à coupe d'abord cunéiforme (fig. 3, 4, 5, 6), puis triangulaire (fig. 7, 8), apparaît entre les assises d'épaississement et la mince membrane primitive tendue comme un manchon d'une branche copulatrice à l'autre.

Au début, l'espace annulaire est rempli d'une matière spongieuse encore colorable en bleu par le chloro-iodure de zinc. On y reconnaît aisément les restes de la cloison mitoyenne primitive digérée par les sucs sécrétés par les corps protoplasmiques à travers la nouvelle assise affermie à leur surface. Plus tard ces débris disparaissent de l'espace annulaire en venant se déposer au moins en partie à la face interne du manchon; ils y forment une série d'épaississements échelonnés sur cette membrane et prenant, pendant un temps assez court, une coloration rosée par le chloro-iodure de zinc (fig. 8).

C'est pendant que l'espace annulaire s'élargit à la périphérie, que l'on voit apparaître les tympans d'insertion de la future zygosporé, c'est-à-dire les cloisons qui séparent chaque branche copulatrice en deux parties: le gamète et le suspenseur (fig. 7).

La seconde assise, qui a fait son apparition sous forme d'un liseré mince et ferme aussitôt après la constitution de la cloison mitoyenne primitive, s'épaissit tout autour des gamètes. Elle est bientôt plus épaisse que la membrane primitive des branches copulatrices, dont elle se distingue, même dans les portions où elle lui adhère intimement, par une réfringence plus grande et par une coloration moins bleue sous l'action du chloro-iodure de zinc.

Quoi qu'on en ait dit, la différenciation ne progresse pas toujours d'un pas égal dans les deux branches copulatrices. On rencontre des exemplaires (fig. 11, 12; 58, 59) où le gamète est déjà isolé d'un côté, tandis que la branche conjointe est encore indi-

visé. Les cas de ce genre sont particulièrement instructifs ; ils montrent en effet du côté le plus précoce un sommet arrondi, largement décollé de l'assise primitive, et une seconde assise plus épaisse que celle-ci, de l'autre côté un sommet presque plan et une seconde assise à peine ébauchée, difficilement distincte de l'assise primitive.

On peut donc dire que la première assise appartient plus spécialement aux branches copulatrices, la seconde aux gamètes. Mais il serait exagéré de faire de l'une ou de l'autre la propriété exclusive de l'un de ces organes ou plutôt de l'une de ces périodes préliminaires de la formation de la zygospore. Effectivement, la seconde assise est déjà clairement indiquée avant la séparation des gamètes et, bien qu'elle s'individualise à un haut degré avant l'abouchement des protoplasmes, elle est destinée à s'accroître et à se compliquer longtemps après la naissance de la zygospore.

La première assise est affranchie de tout lien avec le protoplasme nourricier et avec les portions encore actives de la membrane dans toute la région médiane où elle est décollée et tendue comme un manchon entre les deux extrémités des branches copulatrices. Elle représente la cuticelle externe dont l'individualisation est de moins en moins avancée, à mesure qu'on se rapproche des tympans d'insertion.

A la suite de la dissolution de la cloison mitoyenne primitive et de son refoulement à la périphérie, les deux calottes terminales ne sont plus formées que par la seconde assise, ébauche de l'assise charbonneuse ; elles se trouvent en contact dans leur portion plane et constituent la cloison mitoyenne secondaire (fig. 8).

Les gamètes continuent à grossir, car les aliments leur arrivent en abondance à travers les tympans minces et perméables et même munis de punctuations permettant le passage de petits corps figurés. Deux cas se présenteront alors, suivant que le manchon formé par la cuticelle externe résistera à la poussée croissante des gamètes ou crèvera. Dans le premier cas, le plus habituel, le plus normal, la cloison mitoyenne secondaire s'étend progressivement jusqu'à ce que les extrémités des gamètes aient comblé l'espace annulaire et soient venues s'appliquer contre le manchon. Les deux gamètes prennent ainsi la forme d'un tonnelet à peine déprimé au niveau de la cloison équatoriale (fig. 53, 54). Dans le second cas, c'est-à-dire quand la cuticelle

externe est forcée prématurément, les deux gamètes s'arrondissent séparément et ne restent unis que sur une faible surface (fig. 61).

La cloison mitoyenne secondaire, une fois complétée, ne tarde pas à être résorbée. A ce moment, elle est généralement lisse et homogène. Parfois elle présente déjà un commencement d'ornementation, ainsi que le reste de l'assise charbonneuse. En tout cas, elle commence par se gonfler, puis des perforations apparaissent au centre et en d'autres points. Les orifices grandissent, confluent, et les protoplasmes s'abouchent largement. La résorption s'arrête vers la périphérie où les deux bords se soudent comme l'avaient fait antérieurement les bords de la cloison mitoyenne primitive. A ce moment seulement, la zygospore est constituée et revêtue d'une membrane continue résultant de la double fusion des membranes des branches copulatrices (fig. 9, 10).

Certaines zygospores naissantes, au lieu de présenter la forme d'un tonnelet, ont une protubérance centrale (fig. 60). Bainier a déjà figuré un cas analogue¹. Dans ces zygospores, la cuticelle reste tendue en dehors du renflement central. Il s'agit, dans ce cas, de productions malingres, dont les gamètes se sont peu renflés à la suite de la fusion primitive des membranes. Les extrémités des gamètes se sont étirées pour rester en contact malgré la rétraction des calottes terminales, et c'est le pont constitué par ces extrémités étirées qui s'est renflé après l'abouchement des protoplasmes. Parfois le lobe médian devient très gros avec un contour symétrique (fig. 55) ou asymétrique (fig. 56, 57).

Quand les gamètes ne sont pas maintenus en contact par la cuticelle externe, la cloison mitoyenne secondaire reste moins large que les gamètes. Tantôt elle se résorbe sans s'être complétée et l'on a une zygospore plus ou moins profondément étranglée au milieu; tantôt elle persiste et l'on a une double azygospore; tantôt enfin les deux sommets ne se fusionnent pas en une cloison mitoyenne secondaire, mais se décollent et l'on a deux azygospores distinctes enveloppées à la base par une collerette qui n'est autre que le reste du manchon formé par la cuticelle externe et le témoin de la première fusion de membranes qui, seule, s'est effectuée (fig. 61).

1. BAINIER, *Étude sur les Mucorinées*, 1882, planche de la page 58, fig. 9.

Si les branches copulatrices ne sont jamais parvenues à se rejoindre, elles donnent encore des azygospores ; mais celles-ci sont revêtues, du moins au début, par une cuticelle externe continue, imparfaitement individualisée au sommet comme à la base.

L'évolution ultérieure de la membrane est la même, qu'il y ait eu ou non abouchement des protoplasmes, que l'organe conservateur soit constitué par une zygospore, par une double azygospore, par deux azygospores séparées ou enfin par une seule azygospore accolée ou non à une branche copulatrice arrêtée dans son développement. Elle n'est donc point sous la dépendance de l'abouchement des protoplasmes et encore moins de la fusion de leurs éléments constitutifs, notamment des noyaux multiples contenus dans chacun d'eux.

L'assise charbonneuse s'épaissit progressivement jusqu'à atteindre une puissance de 10 μ et davantage avant l'apparition des assises plus profondes.

En même temps, sa substance, primitivement homogène, se différencie. Dans la masse fondamentale, vaguement granuleuse, on distingue des plaques hyalines, un peu brunâtres, à la limite de l'assise charbonneuse, au contact de la matrice. Ce premier degré de différenciation est atteint peu de temps après l'abouchement des protoplasmes, parfois même déjà auparavant.

Les plaques hyalines progressent aux dépens de la substance fondamentale et atteignent bien vite la cuticelle externe. Leur face profonde est légèrement excavée en cupule dont les bords sont saillies comme des ventouses de poulpe vers l'intérieur de la zygospore (fig. 24, 25, 26).

Cependant l'assise charbonneuse continue à progresser en surface pour suivre la croissance de la zygospore et en épaisseur. Les cupules hyalines s'épaississent autant que la substance granuleuse interposée ; mais, tandis que celle-ci reste homogène, les nouvelles portions de substance hyaline forment des strates bien distinctes, ayant la forme d'anneaux évidés au centre, et de diamètre croissant. Les bases des monticules hyalins et stratifiés se rapprochent de plus en plus (fig. 21, 22).

La substance fondamentale, moins compacte, finit par se rétracter vers l'intérieur ; la cuticelle, entraînée dans cet effondrement, se plisse (fig. 2, 3) ou se déchire irrégulièrement et se trouve réduite, du moins au voisinage de l'équateur, à de petites plaques

coiffant le sommet des denticules. Plus près des tympanes, les plaques forment des ponts tendus au-dessus des vallées d'effondrement et enfin, à la base même, demeurent appliquées sans interruption à l'assise charbonneuse (fig. 17 et 21).

Les deux couches protectrices élaborées en dernier lieu par la matrice de la membrane apparaissent après l'entière différenciation de l'assise charbonneuse. Nous n'avons pas saisi de stade où la cuticelle médiane existerait à l'exclusion de l'assise cartilagineuse. Nous avons seulement constaté que celle-ci s'épaissit progressivement en direction centripète. Sur les exemplaires où elle est très mince, elle est déjà limitée par une cuticelle. Nous réserverons donc la question de savoir si la cuticelle médiane est une assise primitivement indépendante ou le produit d'une sorte de métamorphisme de la surface de l'assise cartilagineuse au contact de l'assise charbonneuse.

La cuticelle médiane, insoluble dans l'acide sulfurique concentré, est d'épaisseur uniforme et ornée de boursouffures se moulant à la fois sur les dépressions de l'assise qui précède et sur les saillies de la couche qui suit.

L'assise cartilagineuse, hyaline, est composée d'une série de strates peu apparentes, elles-mêmes groupées en deux couches principales. La couche interne se forme après l'externe, comme s'il y avait une certaine discontinuité dans l'épaississement de l'assise cartilagineuse. Elle apparaît quand la première a déjà toute son épaisseur, puis s'accroît progressivement jusqu'à ce qu'elle atteigne une puissance peu différente de celle de la couche externe.

A la maturité, il est très facile de séparer mécaniquement les quatre assises protectrices en deux groupes : l'interne formé par l'assise cartilagineuse revêtue de la cuticelle médiane, l'externe formée par l'assise charbonneuse revêtue des débris de la cuticelle externe. Mais nous n'avons rien observé dans le cours du développement qui autorise à considérer ces deux groupes comme des membranes distinctes et la zygospore comme une formation endogène opposée, soit aux gamètes, soit aux branches copulatrices.

La fragilité du groupe externe résulte d'une imprégnation progressive par un pigment brun qui le rend dur et cassant. La coloration est surtout foncée dans les couches internes et annulaires

des verrues hyalines; elle est toujours appréciable dans les couches externes et peut devenir très accusée, quoique plus tardive, dans les restes de la substance granuleuse fondamentale. La cuticelle externe reste parfois pâle, parfois au contraire elle s'imprègne au point de former des lambeaux noirs d'une grande fragilité (fig. 17).

B. — *Spinellus rhombosporus* (Ehr. 1818) [*Mucor fusiger* Link 1824].

Le développement de la zygospore suit la même marche générale chez le *Spinellus rhombosporus* que chez le *Sporodinia Aspergillus*. L'égalité des branches copulatrices et des gamètes, qui est la règle, souffre les mêmes exceptions que dans le genre précédent (fig. 63). Bainier (*l. c.*) en a déjà fait la remarque. La structure définitive est d'ailleurs la même dans les zygospores, les doubles azygospores égales ou inégales, et les azygospores séparées.

Ici encore la fusion des membranes se fait en deux temps. La première cloison mitoyenne est formée et dissoute à l'intérieur du cadre de soudure avant l'apparition des cloisons qui séparent les gamètes des suspenseurs (fig. 13). Seulement, le manchon qui limite l'espace annulaire équatorial est plus épais ($1^{\mu},75$ à 2μ). On peut même y distinguer deux zones dont l'externe, très mince, n'occupe que le quart de l'épaisseur totale (fig. 14).

L'ornementation de l'assise charbonneuse débute, soit avant, soit immédiatement après l'abouchement des protoplasmes, par l'apparition de crêtes fines et serrées sur la face interne de la membrane au contact de la matrice. Ces crêtes font saillie à l'intérieur de la zygospore (ou des gamètes encore distincts), comme les premières cupules du *Sporodinia*. Elles forment d'abord une couche striée de moins d'un demi μ . d'épaisseur (fig. 28).

A ce moment, la membrane est limitée à l'extérieur par une pellicule superficielle répondant, par son aspect rigide et ses dimensions, à la zone externe du manchon équatorial. L'intervalle relativement considérable (2μ) qui sépare les deux couches limitantes est occupé par une substance fondamentale amorphe, dont la faible consistance se manifeste bientôt par l'apparition de fissures tangentielles à diverses profondeurs (fig. 27, 28).

Les portions profondes de cette substance intermédiaire pren-

dront part à l'organisation définitive de l'assise charbonneuse; les portions externes renforceront la pellicule superficielle pour former avec elle la cuticelle externe.

Cette répartition n'a rien de fixe. La pellicule superficielle, faiblement extensible, présente de bonne heure des solutions de continuité. Au niveau de ces interruptions précoces, toute la couche indifférente est annexée à l'assise charbonneuse. Si les fissures tangentielles sont profondes, l'assise charbonneuse reste relativement mince. Enfin en certains points, la substance intermédiaire s'affermirait sans se crevasser et la démarcation entre la cuticelle externe et l'assise charbonneuse n'est jamais bien tranchée. A ces niveaux, les deux assises protectrices sont intimement unies et se modifient réciproquement. La différenciation de l'assise charbonneuse y est retardée ou arrêtée en chemin (fig. 27, 29).

Les fines crêtes qui d'abord faisaient saillie dans l'intérieur progressent vers le dehors et s'enracinent en quelque sorte dans la substance fondamentale en prenant une teinte brune de plus en plus foncée. Au lieu de rester exactement parallèles, elles convergent par petits groupes; certaines racines plongent moins profondément que d'autres (fig. 27, 29). La substance fondamentale non transformée s'affaisse autour de ces groupes. Ainsi s'organisent, à la face externe de l'assise charbonneuse, des crêtes composées, plus grosses et plus irrégulières que les crêtes simples de la face interne.

Au voisinage des tympanes, la substance intermédiaire est plus épaisse que sur le reste des parois de la zygospore. Elle s'y creuse souvent des lacunes assez vastes et irrégulières. Mais les crêtes, d'abord plus saillantes qu'ailleurs, y pénètrent à peine, en sorte qu'à ce niveau la différenciation de la membrane en cuticelle externe et en assise charbonneuse reste obscure et la sculpture de cette dernière intéresse seulement sa face profonde. Nous verrons plus loin qu'il en est à peu près de même sur les tympanes qui séparent la zygospore des suspenseurs (fig. 28).

La cuticelle médiane et l'assise cartilagineuse s'organisent suivant la même marche que chez le *Sporodinia*.

A la maturité, la cuticelle externe forme une lame fenêtrée imprégnée de pigment brun comme l'assise charbonneuse, parfois même plus sombre et d'un noir violacé. Elle représente un réseau

dont les nœuds sont reliés par des bandelettes plus ou moins laciniées ; les mailles elles-mêmes sont traversées par des lanières délicates (fig. 30). Cet aspect déchiqueté s'est produit passivement sous l'influence de la tension progressive du contenu de la zygospore. Les nœuds correspondent aux niveaux où la pellicule superficielle a gardé l'adhérence la plus intime et la plus prolongée avec l'assise charbonneuse, les mailles et les fines lanières aux niveaux où elle a perdu de bonne heure son point d'appui.

La sculpture de l'assise charbonneuse se manifeste différemment sur les deux faces. Nous pouvions le prévoir d'après l'étude de la différenciation progressive de cette assise. A la face interne, les crêtes gardent leur simplicité et leur finesse primitives ; elles ne sont point comparables, comme on le dit couramment, à un fil enroulé autour de la zygospore comme un fil enroulé autour d'une bobine. Ce sont plutôt les mailles très serrées d'un réseau, très allongées dans le sens transversal, très courtes dans le sens longitudinal de la zygospore. A la face externe, on retrouve la même figure générale ; mais les crêtes, confluentes en groupes irréguliers dont le faite est empâté par la substance fondamentale affaissée, forment un réseau plus grossier.

En certains points, l'agencement habituel des crêtes est troublé aussi bien sur la face interne que sur la face externe. Au lieu de longues saillies transversales reliées par de courtes branches anastomotiques, les reliefs deviennent contournés et enchevêtrés comme les couches de bois au niveau des nœuds (fig. 16). Ces tourbillons sont particulièrement fréquents sur le plan équatorial par suite de la confluence des deux assises charbonneuses dont l'ornementation était déjà ébauchée sur chaque gamète avant la résorption de la cloison mitoyenne secondaire.

La cuticelle médiane est facile à isoler par l'acide sulfurique, qui détruit l'assise cartilagineuse à laquelle elle adhère. C'est une pellicule brune dont la face externe se moule exactement sur la face profonde de l'assise charbonneuse. La face interne présente la même sculpture en sens inverse, ce qui peut être aisément constaté au niveau des plis de la cuticelle froissée. Puisque les creux d'une face répondent aux saillies de l'autre, la cuticelle offre une épaisseur sensiblement uniforme de 0^m,5.

C. — *Spinellus chalybeus* (Dozy et Molkenboer 1846) Vuillemin¹.

J'ai découvert les zygospores hétérogames du *Spinellus chalybeus* dans un échantillon desséché qui m'avait été obligeamment communiqué par M. le Dr Sydow (fig. 62). L'insuffisance du matériel ne m'a pas permis d'en suivre pas à pas l'évolution comme chez les espèces précédentes. Néanmoins la structure définitive de la membrane répond si exactement à ce que nous venons de décrire chez le *Spinellus rhombosporus*, que nous sommes fondés à y voir le résultat d'un processus identique.

La cuticelle externe est brune ou violacée. Elle est tailladée de nombreuses fentes en boutonnière qui bientôt s'arrondissent et confluent en trous irréguliers disséminés sur toute la surface (fig. 31). Les lambeaux primitifs sont à leur tour traversés par de nouvelles fissures et l'aspect définitif est celui que nous avons vu chez le *Spinellus rhombosporus* (fig. 32).

Sur une zygospore s'écartant du type par une hétérogamie relativement faible et par une dimension moindre, la zone équatoriale de la cuticelle externe se distinguait par une coloration sombre s'atténuant progressivement vers les tympans d'insertion et ornée d'un système de perforations distinct de celui du reste de la surface. Cette bande médiane nous paraît être le manchon séparé primitivement de l'assise charbonneuse. Son existence parle en faveur d'une double fusion de membranes, bien que les stades précédant immédiatement l'abouchement des protoplasmes n'aient pas été directement observés dans cette espèce.

Sur une autre zygospore, parvenue à la maturité, la cuticelle était devenue très foncée vers les insertions, tandis qu'on retrouvait vers l'équateur des plaques dont le degré de coloration ne dépassait pas celui de la bande médiane de la précédente. Ce cas encore s'explique bien par un décollement précoce de la zone équatoriale. La coloration, plus tardive dans les portions appliquées, peut devenir à la fin plus intense.

Toutefois, la coloration de la cuticelle mûre est en général uniforme et très foncée. Il n'y a pas lieu d'en être surpris, puisque

1. « Le *Spinellus chalybeus* et la série des Spinellées ». (*Annales mycologici*, t. II, 1904, pl. IV.)

l'espace annulaire est nécessairement comblé par le gonflement de la zygospore et que, sur l'organe âgé, la cuticelle externe est étroitement appliquée aux assises suivantes et prête à se laisser imprégner passivement par le pigment qui se diffuse en direction centrifuge.

L'assise charbonneuse offre la même texture que chez le *Spinellus rhombosporus*. Les crêtes faisant une faible saillie sur la face interne sont simples et serrées. La limite entre cette assise et la cuticelle externe est indécise et l'on trouve une couche de transition où les crêtes de la face externe sont, par places, très morcelées et enchevêtrées en un réseau secondaire à mailles fines et irrégulières, passant insensiblement à la lame fenêtrée qui forme la couche superficielle de la cuticelle externe. Il est donc évident que, comme dans l'espèce précédente, il existe une zone intermédiaire qui est entraînée, dans son organisation définitive, tantôt par la cuticelle externe, tantôt par l'assise charbonneuse.

La cuticelle médiane est très manifeste. Nous n'avons pas voulu sacrifier nos rares échantillons pour l'isoler par l'acide sulfurique. Cette peine était superflue car, sur une zygospore, cette assise était décollée localement, pour des raisons que nous ne connaissons pas, et formait des boursofflures lenticulaires où elle cessait d'adhérer à l'assise cartilagineuse. Sa couleur est d'un brun pâle et ses ornements sont exactement moulés sur les crêtes profondes de l'assise charbonneuse.

Selon la règle, l'assise cartilagineuse se compose de deux couches formées successivement de dehors en dedans. Sur une zygospore jeune, la couche externe avait 8^μ,3 d'épaisseur, la couche interne 1^μ,7; sur une zygospore plus avancée, elles mesureraient respectivement 8^μ,5 et 7^μ,4.

D. — *Zygorhynchus heterogamus* Vuillemin 1903
(*Mucor heterogamus* Vuill. 1886).

L'abouchement des protoplasmes est plus précoce que dans les grandes zygospores des genres *Sporodinia* et *Spinellus*. Les membranes s'y fusionnent en un seul temps, avant d'avoir subi aucune différenciation apparente en plusieurs assises.

Au moment où les deux branches copulatrices arrivent en contact, la petite branche, cylindrique, plus large que longue, est

revêtue d'une membrane homogène ayant un tiers de μ d'épaisseur ; la grande branche, recourbée en crosse, possède une membrane encore plus mince ($0^{\mu},2$) sur son sommet renflé en massue. Les deux calottes terminales s'aplatissent réciproquement et constituent une cloison mitoyenne. La petite branche élargit son sommet de manière à former un tronc de cône prolongeant comme un bec la massue de l'autre qui continue à grossir.

Les gamètes s'individualisent par des cloisons qui se dessinent, l'une vers la base de la petite branche, l'autre au niveau ou au-dessus du renflement maximum. Les membranes des deux gamètes s'égalisent et atteignent $0^{\mu},55$ d'épaisseur, tout en restant homogènes. C'est alors que les protoplasmes s'abouchent en résorbant la cloison mitoyenne gonflée.

Dès que la zygospore est constituée, la membrane s'épaissit rapidement et devient hétérogène. Au début, la différenciation est plus apparente dans le sens de la surface que dans le sens de l'épaisseur. Ce qui frappe d'abord, c'est l'apparition de plaques hyalines, d'un brun pâle, légèrement concaves en dedans, disséminées dans la substance fondamentale moins réfringente. Je les ai comparées, en 1886, aux calottes dépressibles qui marquent d'avance, dans les spores de *Pilobolus ædipus*, les points au niveau desquels s'effectuera la germination. J'avais noté, dès cette époque, que l'augmentation de la membrane en surface était désormais arrêtée au niveau de ces plaques ; mais ne disposant pas alors d'objectifs à immersion homogène, je n'avais pas soupçonné l'existence d'une mince pellicule superficielle qui échappe à la différenciation, aussi bien en dehors des plaques hyalines qu'en dehors du réseau formé autour d'elles par la substance fondamentale.

Cette mince pellicule s'opposera, dans les stades ultérieurs du développement, aux couches plus profondes hétérogènes, comme la cuticelle externe s'opposait à l'assise charbonneuse dans les genres *Sporodinia* et *Spinellus* ; mais son individualisation n'est jamais aussi complète et ne devient réellement manifeste que beaucoup plus tard. Nous devons donc intervertir l'ordre suivi jusqu'à présent et étudier d'abord la différenciation de l'assise charbonneuse.

La substance fondamentale de l'assise charbonneuse s'étend en surface et en épaisseur en restant homogène. Les plaques hyalines

sont renforcées par des strates semblables, apposées à leur face interne, d'abord continues et claires, comme les plaques primitives. Quand la membrane a atteint de 2 à 4 μ d'épaisseur, les nouvelles couches deviennent annulaires, plus colorées et prennent généralement un contour sinueux. La stratification n'y a plus la même netteté que dans les plaques primitives. Le denticule prend alors la forme d'un tronc de cône dont la base est renforcée par 5 ou 8 contreforts plus opaques et plus noirs que les portions rentrantes (fig. 35).

A cette période, la substance fondamentale s'affaisse entre les denticules, brunit à son tour et semble prendre part à la constitution des contreforts noirs.

Cependant, la pellicule superficielle ne suit pas ce retrait ; elle se déchire en petites plaques qui persistent au sommet des denticules, les débordent et rappellent l'aspect des tables de glacier (fig. 35). Ces lamelles représentent la cuticelle externe morcelée ordinairement en autant de fragments qu'il y a de denticules.

La rupture de la cuticelle externe n'est pas toujours aussi régulière. Des plaques plus larges maintiennent en contact les sommets de plusieurs denticules voisins qui restent collés ensemble, convergent par leurs pointes et constituent des dents composées (fig. 33). Parfois aussi des denticules se dégagent secondairement de cette association. Leur sommet, plus mou que la base, reste alors incliné comme une corne vers le groupe dont il s'est dégagé, et privé de cuticelle à son sommet.

La cavité des denticules est peu considérable relativement à la hauteur des denticules ; elle forme d'ordinaire à la maturité une simple dépression à peine hémisphérique. Le fond de la dépression se prolonge quelquefois en une fissure profonde et irrégulière, par suite de la rétraction de la substance mortifiée qui se dessèche (fig. 34).

La cuticelle médiane est particulièrement développée dans cette espèce. Elle nous a paru plus épaisse que chez les autres zygosporés où nous l'avons isolée, y compris le *Mucor Mucedo*. Nous avons décrit autrefois sa coloration d'un noir violacé et les stries sinueuses qui donnent à sa surface un aspect moiré.

L'assise cartilagineuse offre la différenciation habituelle en deux couches principales.

E. — *Zygorhynchus Mølleri* Vuillemin 1903.

Les zygospores de cette espèce sont au nombre des plus petites que l'on rencontre chez les Mucoracées. A la maturité leur dimension moyenne est de 35 μ ; les plus grandes atteignent 48^r,5, les plus petites descendent à 20 μ . Celles du *Z. heterogamus* varient de 45 à 150 μ ; la moyenne est supérieure à 100 μ , soit le triple des zygospores de *Z. Mølleri*, mais le tiers seulement des zygospores de *Sporodinia* et de *Spinellus*. Si nous comparons non plus les longueurs, mais les volumes, les zygospores de *Z. Mølleri* sont donc à celles dont nous nous sommes occupés en premier lieu comme 1 est à 9³, soit 1 : 729. Les volumes des zygospores naissantes, au moment de l'abouchement des protoplasmes, sont environ de 1 : 1 000 si l'on compare le *Z. Mølleri* (fig. 36) au *Sporodiniu*. Ces chiffres ont leur éloquence, car ils s'appliquent à un protoplasme à peu près exempt, à cette période, de réserves ou d'autres substances étrangères et le nombre des noyaux varie dans le même sens que le volume. Cette remarque mérite d'être prise en considération si l'on veut apprécier la valeur biologique de la zygospore. Mais tel n'est point notre but en ce moment. Ceci dit en passant, revenons à notre sujet.

La marche de la différenciation et l'aspect définitif de la zygospore sont les mêmes que chez le *Z. heterogamus*. Les différences portent surtout sur l'épaisseur réduite des diverses couches.

La cuticelle externe est d'une finesse excessive. Je l'évalue à 0^r,15, au lieu de 0^r,4 à 0^r,5 chez sa congénère. Et pourtant elle oppose une résistance au moins aussi marquée à l'écartement des denticules, qui restent parfois soudés par leurs sommets en groupes considérables (fig. 37, 38, 39). La couche charbonneuse atteint à peine une épaisseur trois fois moindre que celle du *Z. heterogamus* (fig. 40). Le contour des denticules est des plus variables. Tantôt il est polygonal sans sinuosités sensibles (fig. 42); tantôt il est sinueux (fig. 43) et les saillies sont flanquées de contreforts un peu plus noirs que le reste; tantôt les lobes sont déchiquetés (fig. 44, 45), ici détachés, là confluent avec les lobes des denticules voisins de manière à dessiner des figures aberrantes et compliquées (fig. 46). Le centre des plaques forme parfois une ponctuation claire, parfois un bouton plus

opaque que le reste, sans que ces aspects soient en rapport avec l'âge ou avec la complexité de l'ensemble des ornements.

La cuticelle médiane, comme les autres assises, est bien plus mince que chez le *Z. heterogamus* ; elle est d'un brun jaunâtre clair et privée de l'élégante striation qui caractérise sa congénère.

F. — *Mucor fragilis* Bainier.

Chez les petits *Mucor* du groupe *racemosus*, comme chez les *Zygorhynchus*, leurs proches parents, la fusion des membranes s'opère en un temps ; la cuticelle externe accuse tardivement son indépendance par l'obstacle qu'elle oppose à la séparation des denticules de l'assise charbonneuse.

L'épaississement des membranes, chez le *Mucor fragilis*, n'est pas appréciable dans les gamètes, mais il se produit rapidement après l'abouchement des protoplasmes. Quand la zygospore a encore la forme d'un fuseau dont le diamètre équatorial atteint 26 μ , la membrane, très mince vers les tympans, atteint déjà 2^u,5 d'épaisseur à l'équateur. A ce niveau, le sommet des denticules, plus mou et moins coloré que leur base, se laisse écraser et coucher sous la pression de la cuticelle encore continue et tendue en une courbe régulière (fig. 47, à droite). Mais déjà les limites de son extensibilité sont atteintes ou même dépassées. On voit alors apparaître, d'abord au voisinage de l'équateur où la tension atteint le maximum, des déchirures (fig. 47, à gauche) qui, plus tard, réduiront la cuticelle externe à des lambeaux coiffant chaque denticule isolé ou entraînant plusieurs sommets l'un vers l'autre (fig. 48). La cuticelle reste plus longtemps continue au voisinage des tympans, où le contour extérieur de la zygospore est parfois lisse jusqu'à la maturité.

4° Membrane des tympans.

Les cloisons qui séparent la zygospore des suspenseurs se composent des mêmes assises que la membrane de la zygospore, à l'exception de la cuticelle externe. Leur ornementation est toujours plus simple. Il suffira de décrire celle de l'assise externe, continue avec l'assise charbonneuse, la cuticelle médiane et l'assise cartilagineuse se moulant sur elle.

Chez les *Spinellus*, où sa complication atteint le maximum, cette couche est lisse du côté des suspenseurs. Du côté interne elle est ornée de lignes brunes légèrement saillantes, ramifiées ou anastomosées en un réseau à mailles étroites et allongées, tantôt en direction tangentielle, tantôt en direction rayonnante. Par places ces lignes de directions diverses se contrarient ou se combinent en donnant la sensation de remous où elles auraient été conjointement entraînées (fig. 49).

Le *Spinellus rhombosporus* et le *Sp. chalybeus* répondent au même type de sculpture.

Les tympanes du *Sporodinia* et du *Mucor Mucedo* sont beaucoup plus simples. Ainsi que je le disais en 1886, ils se colorent beaucoup moins que le reste, si ce n'est à leur centre qui prend généralement une teinte foncée.

Brefeld, en 1872, avait déjà fait la même remarque en ce qui concerne le *Mucor*.

Pour le *Sporodinia*, Léger, en 1895, signale au centre du tympan un épaissement biconvexe, perforé d'un pertuis auquel aboutit une sorte de petit canal dont la membrane est d'une extraordinaire ténuité. En dehors se trouvent un ou plusieurs rangs de petits orifices losangiques qui se ferment de bonne heure sans laisser de trace dans l'ornementation définitive de la cloison.

Je n'ai pas réussi à distinguer les canaux délicats dont parle M. Léger. J'ai seulement observé, au centre du tympan, une sorte de ponctuation aréolée dont les deux chambres sont en partie comblées par des bourrelets hyalins d'apparence gonflée et peut-être susceptibles de faire hernie en s'étirant à travers les rétrécissements extérieurs de la ponctuation (fig. 50, 51).

Chez le *Mucor Mucedo*, l'épaississement et la pigmentation de l'assise charbonneuse s'étendent parfois, mais irrégulièrement, à la face interne des tympanes. De petits amas granuleux, vestiges probables des derniers points où se sont localisés les échanges nutritifs entre le suspenseur et la zygosporé, sont disséminés soit vers le centre, soit surtout à la périphérie du tympan. Un anneau d'épaississement les circonscrit; il est progressivement renforcé par d'autres anneaux plus larges ou plus étroits, puis par des plaques continues qui recouvrent les amas granuleux. Ces strates superposées arrivent souvent à confluer par les bords et forment, soit des îlots plus vastes à la surface des tympanes, soit des fa-

laises sinueuses qui en débordent les marges. L'intensité de la coloration est en rapport avec le nombre et l'épaisseur des strates (fig. 52).

Dans les petites zygospores du *Mucor fragilis*, des deux *Zygorhynchus*, etc., les tympanes restent homogènes ; mais ils sont susceptibles de s'épaissir et de pigmenter leur couche charbonneuse qui devient alors aussi sombre que les plaques d'épaississement de la périphérie et légèrement raboteuse (fig. 46).

5° Membrane des suspenseurs.

La membrane des suspenseurs n'atteint pas le même degré de différenciation que la membrane de la zygospore. On ne réussit pas à en séparer plusieurs assises indépendantes. Pourtant elle n'est pas homogène. Chez le *Spinellus rhombosporus* où elle atteint près de 3 μ . d'épaisseur nous y distinguons, indépendamment de la matrice de la membrane, trois zones que nous appellerons : zone externe, zone moyenne et zone interne. La première est très mince et assez ferme ; la seconde a près de 2 μ ; elle est fortement pigmentée et friable ; la troisième mesure 0^u,7 d'épaisseur, elle est incolore et très résistante.

De nombreuses fissures se produisent dans la zone moyenne au voisinage de la surface. Les bords de la fissure s'écartent et entraînent la rupture de la zone externe (fig. 18). Celle-ci se déchire irrégulièrement en formant des lambeaux à bords déchiquetés rappelant la cuticelle externe de la zygospore (fig. 19). Les crevasses de la zone moyenne se creusent en se rétrécissant ; les plus profondes atteignent la zone interne sans jamais l'entamer. Toute la surface est ainsi ravinée de sillons dont le fond est incolore ou pâle et dont les pentes laissent passer d'autant moins de lumière qu'on se rapproche davantage de la surface.

Par suite de la tension du contenu du suspenseur, les portions profondes sont peu à peu refoulées vers l'extérieur au niveau des fissures. De cette façon la surface externe, d'abord crevassée, tend à redevenir unie, tandis que la surface profonde paraît bosselée ou sinueuse.

Telle est l'origine des vergetures bien connues qui forment comme un réseau circonscrit par des lignes pâles à la surface des suspenseurs du *Spinellus rhombosporus*.

Chez le *Spinellus chalybeus*, où les suspenseurs sont très inégaux, le grand suspenseur en forme de figue devient le siège de phénomènes identiques, tandis que le petit suspenseur conique garde une membrane relativement mince et lisse.

Le *Sporodinia Aspergillus* offre aussi des suspenseurs colorés et vergetés par le même mécanisme.

6° Considérations générales.

D'après l'étude analytique qui précède, la membrane périphérique de la zygospore présente, à la maturité, une constitution assez uniforme chez les *Sporodinia*, *Spinellus*, *Zygorhynchus* et *Mucor*.

Les principales modifications de sa structure sont sous la dépendance de l'assise charbonneuse dont les reliefs représentent, soit des monticules isolés, soit des crêtes allongées transversalement, ramifiées et anastomosées. Les crêtes des *Spinellus* et les dents des autres genres ont une même origine; elles résultent de la différenciation, dans la substance fondamentale, primitivement homogène, d'une substance plus hyaline, plus rigide, plus rapidement imprégnée de pigment.

Les ornements de la cuticelle médiane et de la surface de l'assise cartilagineuse sont de simples moulages de la sculpture de la face interne de l'assise précédente; l'aspect morcelé ou fenêtré de la cuticelle superficielle est l'expression des propriétés physiques de ce revêtement élastique qui, sous l'influence de la poussée croissante du contenu de la zygospore grossissante, se déchire d'une façon toute passive, variant seulement selon les adhérences plus ou moins solides et plus ou moins localisées qu'elle garde ou qu'elle contracte secondairement avec l'assise charbonneuse.

La différenciation de l'assise formatrice et des quatre assises protectrices de la membrane est indépendante de l'isolement des gamètes et de la réunion de leurs protoplasmes. Nous en avons la preuve dans l'inégal degré que présente cette différenciation au moment où la zygospore se constitue.

On est convenu de placer la naissance de la zygospore au moment où les protoplasmes des gamètes sont mis en communication par la destruction de la membrane qui les sépare. Ce moment n'a rien de précis, car la résorption de la cloison mitoyenne

demande un certain temps pour s'achever et constitue même une assez longue période quand il y a une double fusion et une double résorption de membranes. L'abouchement des protoplasmes n'est pas accompagné ni suivi immédiatement ou à brève échéance d'une fusion nucléaire comparable à un acte sexuel ou à une simple conjugaison. Les recherches de Maurice Léger ont démontré, en effet, que les noyaux restent multiples longtemps après la disparition de la cloison qui séparait les protoplasmes des deux gamètes. La naissance de la zygospore, au sens que nous venons de rappeler, ne semble donc pas avoir d'autre importance biologique qu'une anastomose quelconque entre deux filaments de champignons, bien qu'elle entraîne des conséquences intéressantes au point de vue de la constitution d'un organe conservateur et de la possibilité d'une caryogamie, dont la réalité est encore à démontrer.

Le degré de la différenciation de la membrane au moment de l'abouchement des protoplasmes varie selon l'espèce et même selon la zygospore considérée. Nous distinguerons trois cas :

1^{er} cas. — La membrane est homogène ; c'est ce que nous observons constamment chez les deux espèces du genre *Zygorhynchus* et chez les petits *Mucor* du groupe *racemosus*, par exemple chez le *M. fragilis* Bainier.

2^e cas. — Les cuticelles externes se sont séparées avant l'individualisation des gamètes, mais l'ébauche de l'assise charbonneuse demeure homogène jusqu'après l'abouchement des protoplasmes. C'est la règle chez les *Sporodinia* et les *Spinellus*.

3^e cas. — La différenciation de l'assise charbonneuse est plus précoce ; elle s'accuse entre les deux fusions de membranes : en sorte que la cloison mitoyenne secondaire, comme la paroi des gamètes, offre déjà les sculptures caractéristiques de chaque espèce. Nous en avons observé des exemples chez le *Spinellus rhombosporus* et plus rarement chez le *Sporodinia*.

Ainsi la séparation de la cuticelle externe et de l'assise charbonneuse s'effectue, tantôt avant, tantôt après l'abouchement des protoplasmes. D'autre part la sculpture de l'assise charbonneuse s'ébauche tantôt avant, tantôt après cet abouchement ; mais dans tous les cas elle s'achève après la naissance de la zygospore.

Nous n'avons donc aucune raison de considérer, soit la cuticelle externe, soit l'assise charbonneuse, comme des membranes

appartenant en propre aux gamètes et les couches plus profondes comme un produit spécial de la zygospore, puisque la première n'est pas toujours individualisée et que la seconde n'est jamais parvenue au terme de sa croissance au moment de l'abouchement des protoplasmes.

L'assise charbonneuse fait donc partie du système protecteur de la zygospore au même titre que les assises plus profondes. Elle en constitue même une partie plus essentielle, puisqu'elle remplit déjà son rôle avant l'apparition de celles-ci et que son ornementation propre fait sentir son influence sur leur sculpture en verrues ou en stries. Nous n'avons aucune raison d'en faire la membrane des cellules conjuguées et de l'opposer à la membrane propre de la zygospore.

L'opinion suggérée par Mangin semblerait plus exacte si l'on ne connaissait l'évolution de la membrane que chez le *Sporodinia*. L'individualisation précoce de la cuticelle externe par la première fusion de membranes établit une démarcation bien tranchée entre le revêtement qui provient des branches copulatrices et les couches d'épaississement qui le renforceront plus tard. Mais l'apparition de l'assise suivante ne peut pas être attribuée à la zygospore puisqu'elle devance l'abouchement des protoplasmes et même l'individualisation des gamètes. L'argument a donc dépassé le but.

D'autre part, l'individualisation de la cuticelle ne se fait pas en un temps sur toute la périphérie de la zygospore; elle s'étend lentement du manchon médian vers les insertions de la zygospore.

Si nous passons du *Sporodinia* aux *Spinellus*, nous trouvons une zone longtemps indécise entre la cuticelle externe et l'assise charbonneuse; l'annexion définitive de sa substance à l'une ou l'autre de ces couches est livrée au hasard.

Enfin chez les petites zygospores des *Zygorhynchus* et des *Mucor*, la cuticelle externe, comme l'assise charbonneuse, n'est que le produit d'une différenciation tardive de la membrane primitivement homogène; elle est sans doute simplement le produit de l'oxydation de la couche la plus superficielle.

Par conséquent la cuticelle externe, pas plus que l'assise charbonneuse, ne saurait être considérée comme étrangère à la membrane propre de la zygospore.

Les quatre assises protectrices, avec la matrice qui les a organisées, qui leur survit, qui évoluera de nouveau lors de la germination, forment une seule membrane hétérogène.

Son développement est centripète et continu. Il n'existe primitivement aucun intervalle entre l'assise charbonneuse et la cuticelle médiane qui tapisse l'assise cartilagineuse. Nous en avons le témoignage persistant dans l'ornementation de cette pellicule qui se moule exactement sur les dépressions et les saillies de la couche précédente, quel qu'en soit le dessin.

La différenciation ne suit pas une marche aussi régulière. Une sorte de métamorphisme remanie les couches déjà déposées ; il s'exerce, soit dans le sens radial en direction centrifuge, soit dans le sens tangentiel comme on le voit dans l'assise charbonneuse. Il en résulte une hétérogénéité croissante de la membrane.

Les couches externes où le pigment tend à s'accumuler deviennent de plus en plus rigides et entrent en antagonisme avec les couches profondes dont l'élasticité reste plus parfaite. De là le décollement si facile et si habituel de l'assise charbonneuse.

Cette séparation n'a pas d'autre origine ni d'autre valeur que l'apparition de lacunes irrégulières dans la couche qui sépare la pellicule superficielle de l'assise charbonneuse en voie d'organisation chez les *Spinellus*. Elle est d'origine mécanique, tout comme l'isolement normal de la cuticelle externe, son morcellement ou sa perforation, tout comme le décollement local de la cuticelle médiane sur un exemplaire de *Spinellus chalybeus*. L'individualisation des verrues, des denticules ou des crêtes à la surface de l'assise charbonneuse est un autre effet secondaire de l'hétérogénéité de la membrane.

La membrane des suspenseurs renflés et accrescents des *Spinellus* et du *Sporodinia* subit une différenciation qui ne diffère de celle de la membrane de la zygospore que par le degré. Les trois assises protectrices dont elle se compose ne sont pas complètement individualisées ; néanmoins on y retrouve l'ébauche des caractères qui distinguent la cuticelle externe, l'assise charbonneuse et l'assise cartilagineuse. La première, qui manifeste la réaction de la surface contre le milieu ambiant, forme une pellicule élastique qui, distendue à l'excès par le gonflement du contenu, craque dans les points où l'appui de l'assise moyenne vient à lui faire défaut. La déchirure forme non pas une fente linéaire,

mais une série de trous arrondis qui confluent en une fissure à bords très finement découpés (fig. 18, 19).

Par ce mode de rétraction, la pellicule superficielle des suspenseurs, comme la cuticelle externe de la zygospore, se sépare nettement du reste de la membrane.

La couche moyenne se rattache à l'assise charbonneuse par sa pigmentation qui va parfois jusqu'au noir chez le *Sporodinia* et par sa friabilité qui est le point de départ des vergetures.

La couche profonde incolore, résistante, est l'image de l'assise cartilagineuse. Si sa surface ne s'organise pas en une cuticelle médiane reconnaissable, cela s'explique par un degré moindre de différenciation et d'antagonisme entre les assises successivement formées.

Le mycélium aérien des *Spinellus*, qui produit les zygospores, porte également les cystophores. Le pédicelle débute par un renflement brusque qui, avant de s'atténuer en un long fuseau, n'est pas sans analogie avec les branches copulatrices. La membrane de ce renflement est soumise aux mêmes influences mécaniques que celle des suspenseurs. Il est intéressant de constater l'existence de vergetures sur la portion la plus dilatée. A ce niveau nous n'avons distingué dans la membrane que deux assises, inégalement colorées, dont l'externe seule présentait des solutions de continuité et des rétractions correspondant aux lignes claires du réseau (fig. 20).

Plus haut les fissures disparaissaient et bientôt les deux couches se confondaient avant même que la membrane eût atteint le degré de finesse qu'elle conserve dans la portion cylindrique du pédicelle.

Conclusion.

Nous pouvons donc passer par des transitions insensibles de la membrane homogène à la membrane munie de 2, 3, 4 assises protectrices. La zygospore est l'organe où la différenciation atteint le plus haut degré et où le rôle protecteur de la membrane est le plus efficace. Mais ce résultat est atteint par le développement et l'amplification des procédés qui président à l'organisation de la membrane dans les autres organes.

Quelles que soient les modifications, d'ailleurs mal connues,

que subisse le protoplasme de la zygospore, soit au moment de l'union des gamètes, soit aux stades ultérieurs, il ne manifeste pas de propriétés dermatogénétiques spéciales, si ce n'est par leur intensité. La membrane de la zygospore est très épaisse et compliquée en conséquence ; mais ce n'est pas une membrane propre, distincte de la membrane des gamètes, des branches copulatrices, du thalle dont elle procède. La progression est continue, dans le temps et dans l'espace, comme le prouvent l'étude du développement de la membrane de la zygospore et sa comparaison avec la membrane des organes voisins.

EXPLICATION DES PLANCHES

N. B. — Toutes les figures ont été dessinées à la chambre claire et réduites par la photographie aux grossissements suivants :

Fig. 9 et 54 : Gr. 50 diam.

Fig. 1, 3, 5, 7, 11, 13, 53, 55 à 63 : Gr. 70 diam.

Fig. 17 : Gr. 318 diam.

Fig. 2, 4, 6, 8, 10, 12, 30, 31, 49 : Gr. 515 diam.

Fig. 16 : Gr. 540 diam.

Fig. 14, 15, 18 à 29, 32 à 48, 50 à 52 : Gr. 1450 diam.

PLANCHE I.

Fig. 1, 2. — *Sporodinia Aspergillus*. Formation de la cloison mitoyenne primitive.

Fig. 3, 4, 5, 6. — Digestion de la cloison mitoyenne primitive.

Fig. 7, 8. — Formation de la cloison mitoyenne secondaire.

Fig. 9, 10. — Résorption de la cloison mitoyenne secondaire.

Fig. 11, 12. — Une branche copulatrice a formé un gamète, tandis que l'autre est encore indivise. Membrane double d'un côté, simple de l'autre.

Fig. 13. — *Spinellus rhombosporus*. Formation de la cloison mitoyenne secondaire.

Fig. 14. — Membrane du manchon qui limite extérieurement l'espace annulaire de la figure précédente.

Fig. 15. — Membrane de la branche copulatrice qui limite intérieurement l'espace annulaire.

Fig. 16. — Tourbillon dans l'ornementation superficielle de l'assise charbonneuse.

Fig. 17. — *Sporodinia Aspergillus*. Coupe optique de l'assise charbonneuse et de la cuticelle externe formant de minces plaques soulevées.

Fig. 18. — *Spinellus rhombosporus*. Membrane tailladée du suspenseur vue en coupe optique.

Fig. 19. — Une vergeture de cette membrane vue de face.

Fig. 20. — Membrane vergetée du renflement situé à la base du sporophore.

PLANCHE II.

Fig. 21. — *Sporodinia Aspergillus*. Assise charbonneuse et cuticelle externe en coupe optique.

Fig. 22. — La même vue de face.

Fig. 23. — Cuticelle externe plissée au bord de la zone d'effondrement.

Fig. 24, 25, 26 — Apparition des verrues sous forme de ventouses faisant saillie à l'intérieur.

Fig. 27, 28, 29. — *Spinellus rhombosporus*. Différenciation de la cuticelle externe, de la couche intermédiaire et de l'assise charbonneuse.

Fig. 30. — Cuticelle externe tailladée. On voit les crêtes de l'assise charbonneuse à travers les trous.

Fig. 31, 32. — *Spinellus chalybeus*. Cuticelle externe.

PLANCHE III.

Fig. 33. — *Zygorhynchus heterogamus*. Denticules composés.

Fig. 34. — Denticule à cavité anfractueuse.

Fig. 35. — Denticules surmontés d'une table représentant la cuticelle externe.

Fig. 36. — *Zygorhynchus Mølleri*. Résorption de la cloison mitoyenne.

Fig. 37, 38, 39, 40. — Séparation de la cuticelle externe et des denticules de l'assise charbonneuse.

Fig. 40 bis. — Denticules traités par l'acide sulfurique.

Fig. 41. — Stratification des denticules. La pigmentation envahit la substance fondamentale et relie la base des denticules par des ponts.

Fig. 42 à 46. — Diversité des contours des denticules.

Fig. 47, 48. — *Mucor fragilis*. Différenciation de la cuticelle externe et de l'assise charbonneuse.

PLANCHE IV.

Fig. 49. — *Spinellus rhombosporus*. Tympan d'insertion. Face profonde de l'assise charbonneuse.

Fig. 50. — *Sporodinia Aspergillus*. Ponctuation aréolée au centre du tympan.

Fig. 51. — La même vue de face.

Fig. 52. — *Mucor Mucedo*. Tympan d'insertion avec concrétions stratifiées.

Fig. 53 à 61. — *Sporodinia Aspergillus*. Divers aspects des zygospires.

Fig. 62. — *Spinellus chalybeus*. Zygospire normalement hétérogame.

Fig. 63. — *Spinellus rhombosporus*. Zygospire à gamètes inégaux.

OUVRAGES

REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ PENDANT L'ANNÉE 1903

N. B. — Il n'est pas envoyé d'accusés de réception; la liste des ouvrages reçus, rédigée avec soin, en tient lieu.

I. — Publications périodiques.

- ACIREALE. — Atti e rendiconti dell' Accademia di scienze, lettere e arti degli zelanti. Série 3, vol. I, 1901-1902.
- AMIENS. — Bulletin de la Société industrielle. 1902, fasc. 4, 5, 6; 1903, fasc. 1, 2, 3-4.
- AMSTERDAM. — Koninklijke Akademie der Wetenschappen : Verslagen... D. XI, 1902-1903.
- Proceedings... V. 1902-1903.
 - Verhandelingen... 1^{re} sect., D. VIII, 3, 4, 5.
 - — 2^e sect., D. IX, 4, 5, 6, 7, 8, 9.
- ANGERS. — Bulletin de la Société d'études scientifiques. 32^e année, 1902.
- Bulletin de la Société industrielle et agricole. 1902.
- ARCACHON. — Société scientifique. Année 1902.
- AUTUN. — Bulletin de la Société d'histoire naturelle. 1902, 15^e Bulletin.
- BALE. — Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft. B. XV, XVI.
- BATAVIA. — Koninklijke natuurkundige vereeniging in Nederl.-Indië. D. LXII.
- BELFORT. — Société belfortaine d'émulation. 1903.
- BERGEN. — Museum Aarbog. 1902, 3; 1903, 1, 2.
- Aarsberetning. 1902.
 - An Account. Vol. IV, 11-14.
- BERLIN. — Sitzungsberichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften. 1902, 41-52; 1903, 1-40.
- BERNE. — Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft. 1519-1550.
- Société helvétique des sciences naturelles. 1901, 84; 1902, 85.
- BESANÇON. — Mémoires de la Société d'émulation du Doubs. 1901.
- BÉZIERS. — Bulletin de la Société d'études des sciences naturelles. 1900, 1901.
- BONN. — Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der preussischen Rheinlande und Westfalens. 1902, 2; 1903, 1.
- Sitzungsberichte... 1902, 2; 1903, 1.
- BORDEAUX. — Actes de la Société linnéenne. 6^e série, t. VII.
- Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles. 6^e série, t. II, 1^{re} partie.

- BORDEAUX. — Procès-verbaux. 1901-1902.
 — Observations météorologiques. 1901-1902.
- BOSTON. — Proceedings of the American Academy of arts and sciences.
 T. XXXVIII, nos 1-26 ; t. XXXIX, nos 1-4.
- BOURG. — Annales de la Société d'émulation et d'agriculture. 1902, 4 ; 1903, 1, 3.
 — Bulletin de la Société des naturalistes de l'Ain. 1903, 1, 2.
- BRESLAU. — Schlesische Gesellschaft für vaterländische Cultur. 1902, 80 J.
- BRUNN. — Verhandlungen des naturforschenden Vereins. 1901, B. XL.
 — Bericht... 1900.
- BRUXELLES. — Annales de la Société scientifique. 1902-1903, 1, 2, 3, 4.
 — Revue des questions scientifiques. 3^e série, t. III, 1, 2 ; t. IV, 1, 2.
 — Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique :
 — Mémoires couronnés in-4^o. T. LIX, 4 ; LX ; LXI ; LXII, 1-4.
 — Mémoires couronnés in-8^o. T. LXII, 2, 3, 4 ; t. LXIII, 1-7.
 — Bulletin (sciences). 1902, 9-12 ; 1903, 1-10.
 — Annuaire. 1903.
- BUENOS-AIRES. — Anales del Museo nacional. T. VIII ; 3^e série, t. I, 2.
- CAEN. — Mémoires de l'Académie nationale des sciences, arts et belles-lettres.
 1902.
 — Bulletin de la Société linnéenne de Normandie. 1901, 5^e vol. ; 1902, 6^e vol.
- CARCASSONNE. — Société d'études scientifiques de l'Aude. T. XIII, 1902.
- CARLSRUHE. — Verhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins. T. XVI,
 1902-1903.
- CHALON-SUR-SAÛNE. — Bulletin de la Société des sciences naturelles de Saône-et-Loire. 1902, 12 ; 1903, 1-10.
- CHARLEVILLE. — Bulletin de la Société d'histoire naturelle des Ardennes. T. V, VI, VII, VIII.
- CHERBOURG. — Mémoires de la Société nationale des sciences naturelles.
 T. XXXIII, 1.
- CHICAGO. — Field Columbian Museum. Vol. I, 9, 10, 11 ; vol. II, 1, 2 ; vol. III,
 6-11.
- CINCINNATI (Ohio). — Bulletin of the Lloyd library of botany, Pharmacy and
 materia medica, n^o 6.
 — Mycological notes. 10-14.
- COLUMBUS. — Journal de Mycologie. Vol. VIII, n^o 64, décembre 1902 ; vol. IX,
 nos 65-68.
- COPENHAGUE. — Oversigt over det kongelige danske videnskaberne Selskab.
 1902, VI ; 1903, I-V.
 — Mémoires de l'Académie royale. T. XI, 5, 6 ; t. XII, 3.
- CRACOVIE. — Bulletin international de l'Académie des sciences :
 — Sciences mathématiques et naturelles. 1902, 8-10 ; 1903, 1-7.
 — Philologie, histoire et philosophie. 1902, 8-10 ; 1903, 1-7.
 — Catalogue. T. II, 3, 4 ; t. III, 1.
- DANTZICK. — Schriften der naturforschenden Gesellschaft. B. X, H. 4.
- ÉPINAL. — Annales de la Société d'émulation des Vosges. 1903.

- ÉVREUX. — Recueil de la Société libre d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres de l'Eure. T. X, 1902.
- FRANCFORT-SUR-ODER. — Abhandlungen et Mittheilungen des naturwissenschaftlichen Vereins. T. XX, 1903.
- FRAUENFELD. — Mittheilungen der turgauischen naturforschenden Gesellschaft. XV H.
- FRIBOURG-EN-BRISGAU. — Berichte der naturforschenden Gesellschaft. B. XIII.
- GÈNES. — Atti della Società ligustica di scienze naturali geografiche. Vol. XIII, 2, 3, 4; vol. XIV, 1, 2.
- GENÈVE. — Annuaire du Conservatoire et du Jardin botanique. 6^e année, 1902.
- GRANVILLE (Ohio). — Bulletin of the Denison scientific association. Vol. XII, 5, 6, 7.
- GUÉRET. — Mémoires de la Société des sciences naturelles et archéologiques de la Creuse. T. VIII, 2; t. IX, 1.
- HALIFAX. — Nova scotian Institute of natural science. Vol. X, 3, 4.
- HAMBOURG-JOANNEUM. — Abhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins. XVII B.; XVIII B.
— Verhandlungen. IX, 1901; X, 1902.
- HARLEM. — Archives néerlandaises. T. VIII, 1-5.
- HELSINGFORS. — Meddelanden of geografiska foreningen i Finland. 1901-1903, VI.
- INSBRUCK. — Zeitschrift des Ferdinandeum für Tyrol und Vorarlberg. 47 H. 1903.
- KANSAS. — Bulletin of the University. Vol. I, 5-12.
— The University geological Survey. Vol. VII, 1902.
- KIEF. — Mémoires de la Société des naturalistes. T. XVII, 2.
- LAUSANNE. — Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles. 145, 146, 147.
- LEIPZIG. — Berichte über die Verhandlungen der königlich sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. 1902, VI, VII; 1903, I-V.
— Abhandlungen... B. XVIII, 1-5.
— Mittheilungen des Vereins für Erdkunde. 1902.
- LIÈGE. — Annales de la Société géologique de Belgique. T. XXIX.
- LIVERPOOL. — Proceedings of the Liverpool biological Society. Vol. XVII, 1902-1903.
- LUXEMBOURG. — « Fauna » Verein Luxemburger Naturfreunde. 1902.
- LYON. — Actes de la Société linnéenne. 1902, 49.
— Annales de la Société botanique. 1902, 27.
- MACON. — Journal des naturalistes. N^o 13.
- MANCHESTER. — Memoirs of the literary and philosophical Society. Vol. 47, II-VI; vol. 48, I.
- MARSEILLE. — Annales de la Faculté des sciences. T. XIII.
— Bulletin de la Société scientifique industrielle. 1901, 3-4; 1902, 1, 2, 3-4; 1903, 1-2.
- METZ. — Bulletin de la Société d'histoire naturelle. 22^e cahier.
- MEXICO. — Bulletin mensuel de l'Observatoire météorologique central. 1901, 11, 12; 1902, 1, 2.

- MEXICO. — *Memorias de la Sociedad científica Antonio Alzate*. 1902, 4-10; t. XIX, 1-4.
- MONTAUBAN. — *Recueil de l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Tarn-et-Garonne*. 1902, t. XVIII.
- MONTEVIDEO. — *Anales del Museo nacional*. T. IV, 2; t. V, 1.
- MONTPELLIER. — *Mémoires de l'Académie des sciences et lettres*. T. III, fasc. 3.
- MOSCOU. — *Bulletin de la Société impériale des naturalistes*. 1902, 3-4; 1903, 1, 2.
- MUNICH. — *Abhandlungen der königlich bairischen Akademie der Wissenschaften*. XXII B., 1 Abth.
 — *Rede im Auftrag*. 1902.
 — *Berichte der bairischen botanischen Gesellschaft*. B. VIII, II.
 — *Mitteilungen...* 1902, 23-26.
- NANCY. — *Bulletin de la Société lorraine de photographie*. 1903, nos 1-10.
 — *Bulletin de la Société de géographie de l'Est*. 1903, 1, 2, 3, 4.
 — *Bulletin de la Commission météorologique de Meurthe-et-Moselle*. 1902.
- NANTES. — *Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'Ouest de la France*. 2^e série, t. II, 3-4; t. III, 1, 2.
- NAPLES. — *Bulletin de la Société des naturalistes*. Vol. XVI.
 — *Annali di Neurologia*. Anno XX, 5, 6; anno XXI, 1, 2, 3-4.
- NEW-YORK. — *Transactions of the Academy of sciences*. Vol. XV, 1.
- NIMES. — *Bulletin de la Société d'études des sciences naturelles*. 1901, t. XXIX; 1902, t. XXX.
- NIORT. — *Bulletin de la Société botanique des Deux-Sèvres*. 1902, 1⁴e Bulletin.
- OSNABRUCK. — *Jahresbericht des naturwissenschaftlichen Vereins*. 1901-1902.
- PARIS. — *Bulletin du Comité ornithologique international*. T. XII, 1.
 — *Association française pour l'avancement des sciences*. 31^e session. Montauban. I, II.
 — *Informations et documents divers*. 105 à 108.
 — *Congrès (section des sciences)*. 1902.
 — *Feuille des jeunes naturalistes*. Nos 388 à 399.
- PERPIGNAN. — *Mémoires de la Société agricole, scientifique et littéraire des Pyrénées-Orientales*. 44^e volume, 1903.
- PHILADELPHIE. — *Proceedings of the Academy of natural sciences*. 1902, vol. LIV, 2, 3; vol. LV, 1.
 — *Journal...* T. XII, p. 1, 2.
- PISE. — *Atti della Società toscana di scienze naturali*. Vol. XIX.
 — *Processi-verbali...* Pp. 40-192.
- PORTICI. — *Regia scuola superiore di agricoltura*. Série II, vol. IV, 1903.
 — *Bulletin...* No 6.
- PRAGUE. — *Sitzungsberichte der königlich böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften*. 1902.
 — *Jahresbericht...* 1902.
- PRESBOURG. — *Verhandlungen des Vereins für Natur- und Heilkunde*. 1902.
- RIO-DE-JANEIRO. — *Bulletin mensuel de l'Observatoire astronomique et météorologique*. 1902, 7-12; 1903, 1-3. — *Annuaire*. 1903.

- RIO-DE-JANEIRO. — Archives du Museo nacional. 1897-1899, vol. X; vol. XI.
 — Bulletin semestriel du Ministère de la marine. Nos 8-11.
 — Bulletin mensuel. Vol. VII, 1-12; vol. VIII, 1-4.
- ROCHESTER. — Academy of sciences. Vol. IV, pp. 65-136.
- ROME. — Atti della reale Accademia dei Lincei. 1903, 1^{er} sem., vol. XII, 1-12;
 1903, 2^e sem., vol. XII, 1-12.
 — Dell' Adunanza solenne. 1903.
- ROUEN. — Bulletin de la Société des Amis des sciences naturelles. 1901, 1, 2.
- SAINT-DIÉ. — Bulletin de la Société philomathique vosgienne. 1902-1903.
- SAINT-GALL. — St-Gallische naturwissenschaftliche Gesellschaft. 1900-1901.
- SAINT-LOUIS. — Missouri botanical Garden. 1903.
- SAINT-PÉTERSBOURG. — Mémoires de l'Académie impériale des sciences. T. X,
 nos 3-9; t. XI, nos 1-11; t. XII, nos 1-11; t. XIII,
 nos 1-5, 7.
 — Bulletin... T. XIII, 4, 5; t. XIV, 1-5; t. XV, 1-5; t. XVI,
 1-5; t. XVII, 1, 2, 3.
 — Archives des sciences biologiques. T. IX, 4, 5; t. X, 1.
 — Mémoires du Comité géologique. Vol. XV, 4; vol. XVI, 2;
 vol. XVII, 1, 2, 3; vol. XVIII, 3; vol. XIX, 1; vol. XX,
 1, 2; nouvelle série, liv. 1, 2.
 — Bulletin... Vol. XX, 7-10; vol. XXI, 1-10.
- SASSARI. — Studi Sassari. S. II, fasc. 1, anno III.
- STOCKHOLM. — Bihang till Kong. Svenska Vetenskaps Akademien. 27, 1-4; 28, 1-4.
 — Oversigt... 58, 59.
 — Kongliga Svenska... 35; 36; 37, 1, 2.
 — Lefnadsteckningar... 3.
 — Aarsbok... 1903.
 — Arkiv för botanik. B. I, 1, 2.
 — — kemi, mineralogi och geologi. B. I, 1.
 — — matematik, ostr. och phys. B. I, 1, 2.
 — — zoology. B. I, 1, 2.
- TOLUCA. — Bulletin météorologique de l'État de Mexico. T. III, nos 5-6, 7-8-9;
 t. V, nos 7-12; t. VI, nos 1, 2; t. VII, n^o 75, 1.
- TOULOUSE. — Mémoires de l'Académie des sciences, inscriptions et belles-let-
 tres. 10^e série, t. II.
 — Bulletin de la Société d'histoire naturelle. T. XXXV, 8; t. XXXVI,
 1-7.
 — Rapport annuel des travaux des Facultés. 1901-1902.
 — Annuaire de l'Université. 1903-1904.
- TOURS. — Annales de la Société d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres.
 1902, t. LXXXII.
- URBANA. — State laboratory of natural history. Vol. VI, 2, 1903.
 — Biennial report... 1899-1900.
- VIENNE. — Dankschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.
 B. LXXXII.
 — Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften : Ma-
 them., Physik, Chemie, etc. B. CXI, 1-10.

- VIENNE. — Mineralogie, Botanik, Zoologie, etc. B. CX, 8-10; B. CXI, 1-9.
 — Physiologie, Anatomie, etc. B. CXI, 1-10.
 — Chemie. B. CX, 10; B. CXI, 1-10.
 — Verhandlungen der kaiserl.-königl. zoologischen und botanischen Gesellschaft. B. LII.
 — Annalen des k.-k. naturhistorischen Hofmuseums. Erdbeben Commission. 10-13.
 — Register. 106-110, 1897-1901.
- WASHINGTON. — Smithsonian Institution. 1900, 2; 1901, 1, 2.
 — Annual report of the Bureau of Ethnology. 1897-1898, 1-2.
 — Bulletin... N^{os} 25, 27.
 — Experiment station record. Vol. XIII, 10, 11, 12; vol. XIV, 1-4, 11, 12; vol. XV, 1, 2, 3.
- WIESBADEN. — Nassauischer Verein für Naturkunde. J. 56.
- WINTERTHUR. — Mitteilungen der naturwissenschaftlichen Gesellschaft. 1897-1898, I; 1899, II; 1900-1901, III; 1902, IV.
- ZAGRA. — Glasnik. Societas historico-naturalis Croatica. T. XIV, 1, 2; t. XV.
- ZURICH. — Naturforschende Gesellschaft. 47, 3; 48, 1, 2.

II. — Mémoires originaux.

- ANDONNET (G.). — Contribution à l'étude des effets du sérum de Trunceek. (Thèse.) Toulouse, 1903, 1 vol. in-8^o.
- BOULANGER (E.). — Germination de l'ascospore de la truffe. Rennes-Paris, 1903, 1 br. in-4^o.
- BRANDALA (A.). — Les formes curables du délire de Lasègue. (Thèse.) Toulouse, 1903, 1 vol. in-8^o.
- DARTIGUES (A.). — Contribution à l'étude du metavanadate de soude. (Thèse.) Toulouse, 1903, 1 vol. in-8^o.
- DÉCOMBE (L.). — La compressibilité des gaz réels. Paris, 1903, 1 vol. in-8^o, cart.
- DELSOL (E.). — Principes de géométrie. Paris, 1903, 1 vol. in-18.
- GIBBS (J. W.). — Diagrammes et surfaces thermodynamiques. Paris, 1903, 1 vol. in-8^o, cart.
- JOLYET (A.). — Le transport des bois dans les forêts coloniales. Paris, 1903, 1 br. in-8^o.
- Le tempérament du Teck. Paris, 1903, 1 plaq. in-8^o.
- LASTEYRIE (Robert de). — Bibliographie des travaux historiques et scientifiques publiés par les Sociétés savantes de la France. T. IV, 2^e liv. Paris, 1903, 1 vol. in-4^o.
- LERITSKY (Q. B.). — Dictionnaire biographique des professeurs et des maîtres de l'Université impériale de Dorpat. 1802-1902. Vol. I. Dorpat, 1902, 1 vol. in-8^o.
- MAILLARD (L. C.). — L'indoxyle urinaire et les couleurs qui en dérivent. Paris, 1903, 1 vol. in-8^o.

MILNE-EDWARDS et PERRIER. — Expéditions scientifiques du *Travailleur* et du *Talisman* pendant les années 1880 à 1883.

— Cirrhipèdes, Nemertiens, Opisthobranches et Holothuries. Paris, 1902, 1 vol. in-folio.

MOUILLEFERT (P.). — Traité de sylviculture. Exploitation et aménagement des bois. Paris, 1904, 1 vol. in-18.

OMONT, JULLIEN et BIZOS. — Discours prononcés à la séance générale du congrès des Sociétés savantes tenu à Bordeaux le samedi 18 avril 1903. Paris, 1903, 1 br. in-8°.

PETOUCHOFF (E. B.). — Le centenaire de l'Université impériale de Dorpat. 1802-1902. Vol. I. Dorpat, 1902, 1 vol. in-8°.

— Tableaux statistiques et listes des professeurs de l'Université impériale de Dorpat. 1802-1901. Dorpat, 1902, 1 vol. in-8°.

VALÉRY-MAYET. — Catalogue raisonné des reptiles et batraciens de la Tunisie. Paris, 1903, 1 br. in-8°.

SOCIÉTÉS CORRESPONDANTES

- ACIREALE. — Accademia di scienze, lettere ed arti degli zelanti.
AMIENS. — Société linnéenne du Nord de la France.
— Société industrielle d'Amiens.
AMSTERDAM. — Koninklijke Akademie der Wetenschappen (Académie royale des sciences).
ANGERS. — Société d'études scientifiques d'Angers.
— Société industrielle et agricole d'Angers et du département de Maine-et-Loire.
ARCACHON. — Société scientifique et station d'Arcachon.
AUTUN. — Société des sciences naturelles.
BALE. — Naturforschende Gesellschaft in Basel.
BATAVIA. — Koninklijke natuurkundige vereeninging in Nederl.-Indië.
BELFORT. — Société belfortaine d'émulation.
BERGEN. — Bergens museums Aarboq.
BERLIN. — Königl. Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin.
BERNE. — Naturforschende Gesellschaft in Bern.
— Schweizerische naturforschende Gesellschaft.
BESANÇON. — Société d'émulation du Doubs.
— Société d'histoire naturelle du Doubs.
BÉZIERS. — Société d'études des sciences naturelles de Béziers.
BONN. — Naturhistorischer Verein der preussischen Rheinlande und Westfalens.
— Niederrheinische Gesellschaft für Natur- und Heilkunde.
BORDEAUX. — Société linnéenne de Bordeaux.
— Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux.
BOSTON. — American Academy of Arts and Sciences of Boston (Massachusetts).
BOURG. — Société d'émulation et d'agriculture.
— Société des naturalistes de l'Ain.
BRESLAU. — Schlesische Gesellschaft für vaterländische Cultur.
BRUNN. — Naturforschender Verein in Brunn.
BRUXELLES. — Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique.
— Société royale de botanique de Belgique.
— Société scientifique.

- BUCAREST. — Institut météorologique de Roumanie.
 BUENOS-AIRES. — Museo nacional de Buenos-Aires.
 BUFFALO. — Society of natural sciences.
 CAEN. — Académie nationale des sciences, arts et belles-lettres de Caen.
 — Société linnéenne de Normandie.
 CARCASSONNE. — Société d'études scientifiques de l'Aude.
 CARLSRUHE. — Naturwissenschaftlicher Verein.
 CHALON-SUR-SAÔNE. — Société des sciences naturelles de Saône-et-Loire.
 CHARLEVILLE. — Société d'histoire naturelle des Ardennes.
 CHEMNITZ (Saxe). — Naturwissenschaftliche Gesellschaft zu Chemnitz.
 CHERBOURG. — Société nationale des sciences naturelles de Cherbourg.
 CHICAGO. — Field Columbian Museum.
 CINCINNATI. — Lloyd library of botany, pharmacy and materia medica.
 COIRE. — Naturforschende Gesellschaft Graubündens.
 COLMAR. — Société d'histoire naturelle de Colmar.
 COLUMBUS (Ohio). — Journal de Mycologie de l'Université.
 COPENHAGUE. — Kongelige danske videnskabernes selskabs (Académie royale danoise des sciences).
 COSTA-RICA. — Museo nacional de Costa-Rica.
 CRACOVIE. — Académie des sciences.
 DANZIG. — Naturforschende Gesellschaft in Danzig.
 DORPAT. — Université.
 ÉPINAL. — Société d'émulation du département des Vosges.
 ÉVREUX. — Société libre d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres de l'Eure.
 FRANCFORT-SUR-ODER. — Naturwissenschaftlicher Verein.
 FRAUENFELD. — Thurgauische naturforschende Gesellschaft.
 FRIBOURG. — Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau (grand-duché de Bade).
 GÈNES. — Società ligustica di scienze naturali e geografiche di Genova.
 GENÈVE. — Jardin botanique.
 GIESSEN. — Oberhessische Gesellschaft für Natur- und Heilkunde.
 GÖRLITZ (Silésie). — Naturforschende Gesellschaft zu Görlitz.
 GOTHEMBOURG. — Kungl. Vetenskaps- och Vitterhets-Samhälles handlingar.
 GRANVILLE (Ohio). — Denison scientific Association.
 GRAY. — Société grayloise d'émulation.
 GUÉRET. — Société des sciences naturelles et archéologiques de la Creuse.
 HALIFAX. — Institute of natural science.
 HALLE. — Academiæ Cæsareæ Leopoldino-Carolinæ Germanicæ naturæ curiosorum.
 HAMBOURG-ALTONA. — Wissenschaftlicher Verein von Hamburg-Altona.
 HARLEM. — Société hollandaise des sciences.
 HAVRE (Le). — Société des arts agricoles et horticoles du Havre.
 HELSINGFORS. — Vetenskaps-Societeten af Finska (Société des sciences de la Finlande).
 — Sällskapet pro Faunä et Florä fennicä (Société pour la faune et la flore de la Finlande).

- HELSINGFORS. — Geografiska föreningen i Finland.
- INSPRUCK. — Ferdinandeum für Tyrol und Vorarlberg.
- KANSAS. — Kansas university quaterly.
- KIEW. — Société des Naturalistes attachés à l'Université impériale de Saint-Wladimir, à Kiew.
- LAUSANNE. — Société vaudoise des sciences naturelles.
- LEIPZIG. — Königl. Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften in Leipzig.
— Verein für Erdkunde.
- LIÈGE. — Société géologique de Belgique.
— Société royale des sciences.
- LIVERPOOL. — Biological Society.
- LUCERNE. — Naturforschende Gesellschaft in Lucern.
- LUXEMBOURG. — Institut royal grand-ducal de Luxembourg (Section des sciences naturelles et mathématiques).
— « Fauna », Verein für Luxemburger Naturfreunde.
— Société botanique.
- LYON. — Société linnéenne de Lyon.
— Société botanique de Lyon.
- MACON. — Société d'histoire naturelle.
- MADISON. — Wisconsin Academy of sciences, arts and letters.
- MANCHESTER. — Literary and philosophical Society of Manchester.
- MARSEILLE. — Société scientifique industrielle de Marseille.
— Annales de la Faculté des sciences de Marseille.
- MERIDEN. — Scientific association.
- METZ. — Société d'histoire naturelle de Metz.
- MEXICO. — Sociedad científica Antonio Alzate.
— Observatoire météorologique de Tacubaya.
- MONTAUBAN. — Académie des sciences, lettres et arts de Tarn-et-Garonne.
- MONTBÉLIARD. — Société d'émulation de Montbéliard.
- MONTVIDEO. — Museo nacional de Montevideo.
- MONTPELLIER. — Académie des sciences et lettres de Montpellier (Section des sciences).
- MOSCOU. — Société impériale des naturalistes de Moscou.
- MUNICH. — Königl. Baierische Akademie der Wissenschaften (mathem. u. physik. Abth.).
— Bayerische botanische Gesellschaft.
- MUNSTER. — Westfälischer Provinzial Verein für Wissenschaft und Kunst.
- NANCY. — Académie de Stanislas.
— Société de médecine.
— Société de géographie de l'Est.
— Commission météorologique du département de Meurthe-et-Moselle.
— Société lorraine de photographie.
- NANTES. — Société des sciences naturelles de l'Ouest de la France.
- NAPLES. — Accademia reale di scienze morali e politiche.
— Società di naturalisti.
— Annali di Neurologia.
- NEUCHÂTEL. — Société des sciences naturelles de Neuchâtel (Suisse).

- NEUCHÂTEL. — Société neuchâtoise de géographie.
- NEW-YORK. — Academy of sciences.
- NÎMES. — Société d'études des sciences naturelles de Nîmes.
- NIORT. — Société botanique des Deux-Sèvres.
- OFFENBACH. — Verein für Naturkunde in Offenbach am Main.
- OSNABRUCK. — Wissenschaftlicher Verein.
- PARIS. — Académie des sciences.
- Association française pour l'avancement des sciences.
 - Comité ornithologique international.
 - La Feuille des Jeunes Naturalistes.
 - Muséum d'histoire naturelle.
 - Bibliothèque universitaire de la Sorbonne.
- PERPIGNAN. — Société agricole, scientifique et littéraire des Pyrénées-Orientales.
- PHILADELPHIE. — Academy of natural sciences of Philadelphia (Pensylvanie).
- PISE. — Società toscana di scienze naturali in Pisa.
- PORTICI. — Rivista di Patologia vegetale.
- PRAGUE. — Königl. Böhmische Gesellschaft der Wissenschaften in Prag.
- PRESBOURG. — Verein für Natur- und Heilkunde.
- REIMS. — Société d'étude des sciences naturelles.
- RIO-DE-JANEIRO. — Observatoire astronomique et météorologique.
- Museo Nacional.
- ROME. — Accademia reale dei Lincei.
- ROUEN. — Société des Amis des sciences naturelles de Rouen.
- SAINT-DIÉ. — Société philomathique vosgienne de Saint-Dié.
- SAINT-GALL. — St. Gallische naturwissenschaftliche Gesellschaft.
- SAINT-LOUIS. — Academy of sciences of Saint-Louis (Missouri).
- Missouri botanical Garden.
- SAINT-PÉTERSBOURG. — Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg.
- Comité géologique (Institut des Mines).
 - Institut de médecine expérimentale.
- SAN-FRANCISCO. — Academy of sciences of California.
- SASSARI. — Studi Sassari.
- STOCKHOLM. — Kongl. Svenska Vetenskaps Akademiens (Académie royale suédoise des sciences).
- TOLUCA (Mexique). — Service météorologique.
- TOULOUSE. — Académie des sciences, inscriptions et belles-lettres de Toulouse.
- Université.
 - Société d'histoire naturelle.
- TOURS. — Société d'agriculture, sciences, arts et belles-lettres du département d'Indre-et-Loire.
- TROITZNOSSOWSK-KIACHTA. — Société impériale russe de géographie (Sibérie occidentale).
- UPSAL. — Regia societas scientiarum Upsaliensis.
- URBANA (Illinois). — State laboratory of natural history.
- VERDUN. — Société philomathique de Verdun.

VIENNE. — Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien (mathemat. u. wissenschaftliche Abth.).

— Kaiserl.-Königl. naturhistorisches Hofmuseum.

— Kaiserl.-Königl. zoologische und botanische Gesellschaft in Wien.

VITRY-LE-FRANÇOIS. — Société des sciences et arts.

WASHINGTON (D. C. U. S. A.). — Smithsonian Institution.

— Bureau of Ethnology.

— Experiment station record (secretary of agriculture).

WIESBADEN. — Nassauischer Verein für Naturkunde.

WINTERTHUR. — Naturwissenschaftliche Gesellschaft.

ZAGRA. — Societas historico-naturalis croatica.

ZÜRICH. — Naturforschende Gesellschaft in Zürich.

TABLE DES MATIÈRES

ANNÉE 1903. — SÉRIE III, TOME IV, FASCICULES I, II, III, IV

	Pages.
Liste des membres de la Société.	v
I. — PROCÈS-VERBAUX	xi
II. — MÉMOIRES ORIGINAUX.	
Sur l'âge et la faune de la station préhistorique d'Istein (grand-duché de Bade), par MM. Mathieu MIEG et G. STEHLIN.	1
Les forêts de plaine et les eaux souterraines. Expériences faites dans la forêt de Mondon (Meurthe-et-Moselle), 1900-1902, par E. HENRY.	21
Dégâts causés aux forêts par les balles du fusil de l'armée ; l'indemnité qu'ils exigent et son règlement, par J. GEORGE J.-B. M.	39
Un insecte triasique en Lorraine, par P. FLICHE.	116
Le hanneton du marronnier d'Inde (<i>Melolontha Hippocastani F.</i>) en Russie, d'après M. SILANTIEF	120
Excrétion et phagocytose chez les Onychophores, par L. BRUNTZ	125
Note sur des bois silicifiés permien de la vallée de Celles (Vosges), par P. FLICHE.	129
Sur une nouvelle espèce de radiations	144
Sur les organes reproducteurs chez les Bactéries, par M. Paul VUILLEMIN.	145
L'épicéa du Charmois, par M. DE DROUIN DE BOUVILLE.	161
Sur les sous-sels de baryum, par M. GUNTZ.	167
Dosage de petites quantités d'argent en présence de beaucoup de plomb, par MM. ARTH et NICOLAS	170
Fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes en forêt. Nouvelles expériences, par E. HENRY	173
La chaleur à Nancy de 1878 à 1903 (températures de 30° et au-dessus), par C. MILLOT.	188

	Pages.
Charles Authelin. Ses travaux scientifiques, par René NICKLÈS	189
Odeur, couleur et limpidité de l'eau, par M. le Dr Ed. IMBEAUX.	197
Les théories morphologiques concernant la structure primaire de la tige des Phanérogames. Leurs critiques, par L. BRUNTZ	228
Recherches morphologiques et morphogéniques sur la membrane des zygospores, par M. P. VUILLEMIN	239
Bureau et conseil d'administration.	v
Ouvrages reçus par la Société pendant l'année 1903.	268
Sociétés correspondantes.	275

