

LA STRUCTURE ET LE DÉVELOPPEMENT DES TUBES CRIBREUX

Par M. RUSSOW,

Professeur de botanique à l'Université de Dorpat (1).

INTRODUCTION.

Ayant découvert par hasard que le bleu d'aniline est fixé d'une manière durable par la substance calleuse des tubes cribreux (2), j'ai été amené à entreprendre une étude plus approfondie du cal de ces tubes, qui n'était connu que dans un petit nombre de familles de plantes. Dès le mois d'avril de l'année dernière, j'étais parvenu, à l'aide de ce réactif, à constater la présence des plaques calleuses dans les tubes cribreux d'environ cent cinquante espèces, appartenant à soixante familles les plus diverses; mais je n'avais pas réussi pourtant à la manifester dans toutes les plantes étudiées, notamment parmi les Cryptogames vasculaires (3). Depuis lors, j'ai poursuivi cette étude et je suis arrivé, par l'emploi des réactifs iodés, à trouver le cal dans les tubes cribreux de toutes les plantes vasculaires qui ont fait l'objet de mes recherches. Les préparations iodées se prêtent, en effet, beaucoup mieux que le bleu et les autres couleurs d'aniline, à l'étude de la structure délicate des cribles et de leurs dépôts calleux.

A vrai dire, aux plantes que j'avais examinées précédemment je n'ai ajouté que soixante à soixante et dix espèces et environ quinze familles nouvelles, de sorte que la totalité des espèces où le cal a été constaté s'élève aujourd'hui à environ

(1) Ce nouveau mémoire de M. Russow, publié dans les *Sitzungsberichte der Dorpater Naturforscher Gesellschaft*, 17 février 1882, a suivi de près celui de M. de Janczewski, qu'il critique et complète utilement. Nous en donnons la traduction. (Réd.)

(2) *Sitzungsberichte der Naturforsch. Gesellschaft*. Dorpat, 19 mars 1881.

(3) *Ibid.*, 23 avril 1881. C'est à ce dernier travail que M. de Janczewski fait allusion dans sa note de la page 159 de ce volume. (Réd.)

deux cent vingt, appartenant à soixante-quinze familles; mais si l'on remarque que partout où l'on recherche le cal on réussit à le rencontrer, on est fondé à croire qu'il n'y a pas de tube cribreux en voie de fonctionnement qui en soit dépourvu. Je ferai même observer, par anticipation, que de tous les caractères des tubes cribreux le cal est le seul constant, le seul qui ne manque jamais. Les ponctuations criblées, en effet, comme je crois l'avoir montré précédemment, se rencontrent aussi dans le parenchyme, notamment dans le parenchyme des rayons et des compartiments du liber secondaire, tandis qu'elles paraissent manquer complètement aux tubes cribreux de l'*Isoetes*. Au contraire, la substance calleuse ne se retrouve dans aucun autre élément que les tubes cribreux, ou leurs équivalents morphologiques comme chez l'*Isoetes*; seul, l'*Ophioglossum vulgatum* fait peut-être exception à cette règle.

Je me suis attaché à étudier la structure délicate et le développement des cloisons criblées, des cribles avec leurs dépôts calleux, des filaments connectifs qui traversent ces cribles et des masses gélatineuses qui leur sont appliquées, tout d'abord et principalement chez les Dicotylédones et les Gymnospermes, ensuite aussi chez les Monocotylédones et les Cryptogames vasculaires.

Parmi les Dicotylédones, les recherches les plus approfondies ont eu pour objets : le *Cucurbita Pepo*, comme représentant des plantes herbacées annuelles, et les *Populus tremula*, *Tilia europæa*, *Sorbus aucuparia*, *Æsculus Hippocastanum*, *Quercus pedunculata*, *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoïdes*, *Prunus Padus*, *Populus nigra*, comme représentants des végétaux ligneux.

Chez les Gymnospermes, on a étudié, en première ligne les *Pinus sylvestris* et *Abies excelsa*, en seconde ligne les *Larix sibirica*, *Abies Pichta* et *Juniperus communis*.

Les autres espèces, étudiées avec moins de soin, seront désignées nominativement plus tard. Pour les recherches sur les végétaux ligneux, on s'est servi de tiges puissantes et normalement développées, âgées le plus souvent de vingt à

soixante ans. La préparation par coupes et macération a eu lieu ordinairement sur des matériaux préalablement plongés dans l'alcool; on a utilisé aussi des sections faites sur la tige fraîche et sur la tige desséchée. Pour l'étude des cribles et de leurs dépôts calleux, les sections transversales des tiges desséchées ont été reconnues préférables, parce qu'on les obtient plus minces qu'avec la tige fraîche ou conservée dans l'alcool.

Le meilleur des réactifs à employer pour les recherches sur les tubes cribreux est le chloro-iodure de zinc mélangé avec une solution concentrée d'iode dans l'iodure de potassium. J'ai trouvé commode de préparer à l'avance plusieurs dissolutions de concentration différente, c'est-à-dire renfermant plus ou moins d'iodure de potassium iodé et de me servir de l'une ou de l'autre suivant le besoin. La solution brun sombre renfermant le plus d'iode exerce une action rétractive ou astringente sur le cal, et celui-ci conserve encore après vingt-quatre heures sa belle couleur rouge brun caractéristique.

L'action astringente subie par la substance calleuse apparaît nettement, si l'on traite d'abord la section de la tige fraîche ou desséchée par une solution aqueuse de bleu d'aniline. Les contours du cal coloré en bleu semblent noyés, notamment chez les Conifères, et souvent se perdent sans limite nette du côté de la cavité du tube cribreux; après l'addition de la solution iodée, le cal, maintenant coloré en rouge brun, prend au contraire un contour très vif et son volume est plus petit qu'auparavant. Après l'évaporation de l'iode, le cal reprend, avec sa coloration bleue, son état de gonflement et son contour indécis. Si le chloro-iodure de zinc contient peu d'iodure de potassium iodé, le cal, préalablement coloré par le bleu d'aniline, devient d'un violet pur, et, avec moins d'iode encore, il se colore en beau vert pomme.

Au sujet du bleu d'aniline, je ferai remarquer que, dans la plupart des préparations, la coloration bleue du cal conserve encore son intensité après onze mois de séjour dans la glycérine, tandis que dans certaines autres elle a complètement disparu, sans qu'on sache donner la raison de cette différence.

J'ajouterai que la solution aqueuse de bleu d'aniline, après environ deux mois d'exposition à la lumière, se modifie au point que la matière colorante n'est plus fixée par le cal, tandis que les membranes cellulaires se colorent comme auparavant.

Parmi les substances qui colorent la substance calleuse, M. de Janczewski a indiqué récemment, comme la meilleure, l'acide rosolique additionné d'un peu d'ammoniaque ou de carbonate de soude, réactif employé pour la première fois par M. Szyszyłowicz (1). Grâce à l'obligeance de mon ami M. Dragendorff, j'ai pu essayer cette substance colorante. La réaction se fait facilement, mais la belle coloration rouge hyacinthe que prend le cal est malheureusement très éphémère, loin de valoir par conséquent la couleur si permanente obtenue avec le bleu d'aniline.

Mais de tous les réactifs connus, c'est certainement le mélange en proportions convenables du chlorure de zinc iodé avec l'iodure de potassium iodé, qui rend les plus grands services dans l'étude du cal en particulier et des tubes cribreux en général. La preuve, c'est que ce réactif m'a permis de reconnaître que la substance du cal n'est pas homogène, comme on le croyait, mais composée de deux masses différentes qui se distinguent par l'intensité de leur coloration; je reviendrai plus loin sur ce sujet, qui est le résultat le plus important de mes études sur le cal.

Découverts par Hartig, en 1837, les tubes cribreux, si l'on met à part ceux de la Courge, étudiés par Hartig, Mohl, Nägeli et Hanstein, n'ont pas été, jusqu'à ces dernières années, l'objet de recherches approfondies. M. Briosi a apporté, en 1873, une précieuse contribution à la connaissance de ces tubes en montrant qu'ils renferment de l'amidon. Dans son *Anatomie comparée*, M. de Bary a consigné, en 1877, un grand nombre d'observations nouvelles sur les tubes cribreux, notamment sur leur contenu, sur la disposition et la structure des cribles et sur leur cal. La connaissance des tubes cribreux est entrée,

(1) Voy. page 159 du présent volume.

en 1880, dans une phase nouvelle à la suite du travail soigneux et approfondi de M. Wilhelm (1), qui a suivi le développement des tubes, les transformations de leur contenu et la formation du cal, sur trois plantes seulement, il est vrai, mais avec d'autant plus de profondeur.

Après avoir observé le premier, en 1878, dans une courte note, le développement des tubes cribreux (2), M. de Janczewski a consacré récemment trois années à des études comparées sur la structure et le développement de ces tubes dans les quatre principaux groupes des plantes vasculaires, et il vient de publier les résultats de ce grand travail (3). Bien que mes observations aient porté en majeure partie sur les mêmes plantes qui ont servi aux recherches de M. de Janczewski et que je sois parvenu aussi aux mêmes résultats que lui, je crois cependant que la publication de mon travail ne sera pas superflue. Sur plusieurs points, en effet, mes conclusions diffèrent profondément de celles de mes devanciers, et sur d'autres j'ai pu observer des faits qui leur ont échappé.

GYMNOSPERMES.

Comme M. de Janczewski, c'est le Pin (*Pinus sylvestris*) que j'ai étudié avec le plus de soin.

La structure de l'écorce secondaire est ici très régulière. La masse principale en est formée par des tubes cribreux parallépipédiques, dont les éléments ont leurs extrémités amincies en forme de ciseau dans le plan radial. Contrairement à ce qui a lieu pour les vaisseaux, dont les cellules, également pointues aux extrémités, sont presque toujours courbées dans le plan du rayon, de manière que, dans la section radiale, l'extrémité fasse avec l'axe du vaisseau un angle parfois droit, le plus souvent obtus, on n'observe jamais, dans les tubes cribreux, la

(1) Wilhelm, *Beiträge zur Kenntniss des Siebröhrenapparats dicotyler Pflanzen*, 1880.

(2) *Comptes rendus*, 22 juillet 1878.

(3) Voy. la page 50 du présent volume.

moindre trace d'une pareille flexion latérale. Les tubes sont disposés régulièrement en séries radiales, entrecoupées par des zones tangentielles de parenchyme contenant une à trois, le plus souvent deux assises d'épaisseur; les cellules de ce parenchyme se transforment en grande partie en fibres cristalligènes. Abstraction faite de leur contenu, ces dernières se distinguent, par leur forme comprimée, de leurs voisines plus ou moins arrondies, qui renferment beaucoup d'amidon en été et en automne. Parfois on trouve aussi quelques cellules parenchymateuses disséminées dans la zone compacte des tubes cribreux, le plus souvent vers l'extérieur, au voisinage du bord interne de la zone extérieure du parenchyme libérien, rarement plus vers l'intérieur. Ce dernier cas s'observe plus souvent dans le Sapin; dans le Mélèze, il y a un grand nombre de ces cellules disséminées parmi les tubes cribreux, de façon que les zones parenchymateuses, surtout dans les portions âgées du liber, se distinguent mal les unes des autres.

Enfin le liber, comme le bois, est traversé par des rayons de parenchyme composés, à de rares exceptions près, d'une simple rangée de cellules. Comme dans le bois, les cellules qui terminent le rayon en haut et en bas sont conformées autrement que celles du milieu.

Dans les couches les plus âgées et les plus extérieures du liber secondaire, les zones des tubes cribreux morts sont plus ou moins et souvent très fortement comprimées, tandis que les cellules du parenchyme libérien ont pris une section presque circulaire et ont gagné notablement en diamètre. Par suite de cette compression et de ce déplacement des couches des tubes cribreux, les rayons libériens se trouvent pliés en zigzag ou ondulés, phénomène qui se retrouve d'ailleurs avec plus ou moins d'intensité dans le liber secondaire âgé de presque tous les végétaux ligneux.

A chaque période végétative, il se forme une zone de parenchyme libérien; il en résulte que l'on peut facilement mesurer l'épaississement annuel du liber, très nettement dans le Pin et le Sapin, avec moins de certitude dans le Mélèze, notam-

ment vers l'extérieur. On constate ainsi que dans le Pin, au-dessous de la couche de liège la plus interne, il y a dix à quinze anneaux annuels de liber secondaire à l'état d'activité, mais que la vie, à l'exception des deux plus jeunes couches annuelles, s'y trouve localisée dans le parenchyme libérien qui forme les zones tangentielles et les rayons, parce que dans les huit à treize anneaux externes les tubes cribreux sont tous vides et inertes.

Il faut encore remarquer qu'aucune des deux limites de la production libérienne annuelle ne coïncide avec la zone parenchymateuse ; celle-ci, en effet, ne se forme ni à la fin, ni au commencement de la période végétative, mais environ au premier tiers ou au début du second tiers de cette période, vers le milieu du mois de juin. Avant le parenchyme, il se fait d'ordinaire, au commencement de l'année, quatre à cinq assises de tubes cribreux. M. de Janczewski dit que la zone parenchymateuse lui a semblé se former à la fin de l'année (1). Ça et là, une cellule de parenchyme peut bien, en effet, prendre naissance à la fin de la période végétative, mais il est certain que la zone en question se forme à l'époque que je viens d'indiquer.

Considérons maintenant de plus près les tubes cribreux.

La membrane des tubes cribreux actifs est assez épaisse, riche en eau, nullement lignifiée ; la paroi commune à deux tubes contigus est différenciée au moins en trois, le plus souvent en cinq, assez fréquemment en sept et parfois même en neuf couches, dont les plus nettes sont la lame moyenne et les deux couches les plus internes. La section transversale d'un tube cribreux est tantôt carrée, tantôt aplatie, de manière que sa dimension tangentielle soit presque le double de sa dimension radiale. Il n'est pas rare de voir, vers le milieu de la zone annuelle, des tubes à section carrée alterner dans la même série radiale avec des tubes à section aplatie ; de même, à la fin de la période végétative, contre la région cambiale, on trouve des tubes dont

(1) Voy. le mémoire inséré au présent volume.

le diamètre radial est plus grand que celui des précédents. Mais, en somme, le diamètre radial va diminuant progressivement de dehors en dedans ; pourtant, la limite entre les tubes cribreux les derniers formés en automne et les premiers nés au printemps n'est pas nettement indiquée et ne peut se déterminer que par la position régulière des zones de parenchyme.

Les parois tangentielles sont, comme celles des vaisseaux, entièrement lisses, tandis que les parois radiales sont pourvues de ponctuations criblées de forme arrondie, notablement moins grandes que les ponctuations aréolées des vaisseaux, mais disposées de la même manière, beaucoup plus rapprochées aussi sur les faces terminales obliques que sur les faces longitudinales, ce qui a été signalé déjà par M. de Janczewski.

Dans le liber secondaire des tiges âgées, la membrane moyennement épaisse des tubes cribreux ne s'amincit pas brusquement au pourtour des ponctuations, tandis que dans celui des branches d'un ou deux ans, la paroi relativement très épaisse du tube s'abaisse perpendiculairement vers la surface des cribles. Si je signale cette différence, c'est parce qu'il en résulte que les matériaux dont s'est servi M. de Janczewski, à en juger par ses descriptions et ses figures, provenaient de branches. Or, dans les branches, les éléments du liber secondaire sont notablement plus petits dans toutes leurs parties que dans la tige, et par conséquent, pour l'étude d'objets aussi difficiles que les ponctuations criblées des Gymnospermes, les branches sont beaucoup moins favorables que la tige. C'est surtout à cette circonstance qu'il faut attribuer, selon moi, que M. de Janczewski ait méconnu la structure compliquée de la ponctuation criblée et de son cal chez le Pin, et en général chez les Abiétinées.

Le crible est partagé, comme M. de Bary l'a déjà complètement figuré, par des bandelettes relativement hautes, tantôt plus larges, tantôt plus étroites, en un certain nombre de petits champs de grandeur inégale et de forme irrégulière, et chacun de ces derniers est perforé de trois à six petits trous

rès fins, de diamètre assez différent, le plus souvent disposés en cercle. Sans doute, cette subdivision du crible en champs ou plages n'est pas aussi fortement accusée chez les Abiétinées que chez les Araucariées, les Séquoiées et les autres Gymnospermes; elle n'en est pas moins, notamment dans le Pin, très décidément exprimée et se laisse le plus souvent apercevoir avec netteté, même sur les tubes cribreux des branches. La distinction établie par M. de Janczewski entre les ponctuations criblées des Abiétinées et celles des autres Conifères et des Gnétacées, sur ce que les premières manqueraient de la subdivision en compartiments qui existe chez les autres, se trouve donc dénuée de fondement.

Il est évident que M. de Janczewski n'a pas vu les fines perforations des plages criblées, car dans sa description il n'est question que des contours de ces plages, qu'il prend pour le contour même des pores (1). Que l'on consulte, dans l'*Anatomie comparée* de M. de Bary, la figure 77, à la page 188, on verra les pores des plages criblées marqués par des points; au lieu de ces points, que l'on mette de petites mailles irrégulières, atteignant jusqu'au bord de la plage, et l'on aura une image exacte de la ponctuation criblée des Abiétinées. D'après M. de Janczewski, les cribles du *Pinus sylvestris* n'auraient que huit à douze pores, tandis que le nombre réel est au moins trois ou quatre fois plus grand.

Pendant la période d'activité des tubes, et encore plus tard chez quelques-uns, les pores ou mieux les canaux des cribles sont remplis par une masse calleuse, faible à l'origine, qui augmente notablement avec le temps. Pour voir clair dans ce phénomène, considérons une section transversale intéressant à la fois le cambium, le jeune liber secondaire et quelques zones annuelles de liber plus âgé, après l'avoir traitée par la solution iodée dont on a indiqué plus haut la composition.

Les parois radiales des jeunes tubes cribreux complètement développés paraissent traversées par des bâtonnets rouge

(1) Ce caractère a échappé aussi à M. Dippel dans sa description des cribles du Mélèze (*Mikroskop*, II, p. 135, fig. 56).

brun, renflés en tête à l'extrémité tournée vers l'intérieur du tube; en leur milieu, dans l'épaisseur de la lamelle moyenne, ces bâtonnets sont interrompus par de petits nodules arrondis ou lenticulaires, ordinairement colorés en jaune. En d'autres termes, la paroi, dans toute l'étendue du crible, fait l'effet d'être traversée de chaque côté en des points correspondants par des chevilles munies d'un bouton, ou par des bouchons coniques terminés par une tête arrondie, enfoncés de manière à appuyer leur extrémité contre le nodule médian. Les bords des bouchons calleux ont une auréole sombre, ou sont enveloppés comme de stries d'un brun sombre. Je regarde ces stries brunes comme identiques avec les stries ou les baguettes brunes qui traversent le coussinet calleux des Angiospermes, et dont il sera question plus tard.

Les bâtonnets à tête, c'est-à-dire les deux bouchons en regard réunis par le nodule médian, sont rarement distribués à égale distance l'un de l'autre sur la surface du crible, mais d'ordinaire rapprochés par deux ou quelquefois par trois. Les portions de membrane de cellulose situées entre les groupes de deux ou trois bâtonnets sont nettement colorées en bleu violet; sur les coupes très fines, on voit aussi la coloration violette se manifester entre les deux ou trois bâtonnets de chaque groupe. Les nodules, dont le diamètre égale sensiblement la largeur des bâtonnets, ne sont pas toujours nettement visibles et paraissent colorés tantôt en jaune ou en brun, tantôt en bleu violet comme la membrane de cellulose. Fait-on agir une dissolution étendue de potasse avant l'emploi du réactif iodé, la plaque de cellulose se gonfle notablement, la substance calleuse n'est pas altérée, les nodules ou disparaissent, ou subsistent à l'état de granules irréguliers, tandis que les deux moitiés du bâtonnet calleux (les deux bouchons à tête correspondants) sont écartés l'un de l'autre. Dans quelques cas très rares, les deux chevilles calleuses ainsi écartées demeureraient unies entre elles à travers la membrane fortement gonflée par un mince filet clair. Les nodules demeurent encore visibles sur des cribles âgés, pourvus de plaques calleuses épaisses,

tandis que toute trace en disparaît dans les cribles dépouillés de leur cal.

On peut se demander maintenant que représentent ces nodules? Ne sont-ils que des portions de lamelle de cellulose, situées entre les canaux et non dissoutes? Alors les canaux des cribles demeureraient fermés, tout au moins pendant la période d'activité des tubes cribreux. Je suis incapable, pour le moment, de donner une explication suffisante de ces nodules. Toutefois, si l'on considère que les cribles âgés, une fois dépourvus de cal, sont certainement perforés, et si l'on réfléchit aux cribles des Dicotylédones, chez un grand nombre desquels la perforation est certaine, on est porté à regarder la fermeture du crible, dans le cas actuel, comme peu vraisemblable.

M. de Janczewski, qui a vu aussi et figuré ces nodules (1), les regarde comme des restes de cellulose, provenant de la lamelle moyenne située entre les extrémités correspondantes des canaux du crible. De la description que cet auteur donne des bâtonnets calleux, il résulte, en effet, que cette explication est la plus simple et la plus plausible. Mais il faut se rappeler qu'il n'a pas aperçu les vrais pores des cribles, qu'il a pris les plages criblées pour de simples pores relativement très larges et que, par conséquent, il a regardé l'ensemble des bâtonnets calleux d'une plage criblée comme étant un simple bâtonnet calleux relativement très épais. D'après les figures de M. de Janczewski, le bâtonnet calleux mesurerait de $0^{\text{mm}},0015$ à $0^{\text{mm}},0020$, tandis qu'en réalité il n'atteint que $0^{\text{mm}},0003$ à $0^{\text{mm}},0010$, le plus souvent $0^{\text{mm}},0005$ à $0^{\text{mm}},0008$. Le nombre des bâtonnets d'un crible en section médiane serait, d'après M. de Janczewski, de trois à cinq, tandis que je l'ai trouvé de sept à vingt.

Plus les tubes cribreux sont situés vers l'extérieur, à partir du cambium, plus grosses sont les têtes des bâtonnets calleux, jusqu'à ce qu'enfin elles se touchent et se fusionnent latéralement en une masse, qui grossit et recouvre finalement le

(1) Voy. le mémoire inséré au présent volume.

crible en forme d'hémisphère ou de pelote arrondie. Le plus souvent, les pelotes calleuses semblent traversées par des stries sombres, à contours lavés, qui divergent à partir des pores. Je regarde ces stries comme les prolongements de la substance des baguettes situées dans les canaux du crible. Les pelotes calleuses âgées qui approchent de la dissolution finale ou qui sont déjà en voie de résorption présentent, au lieu de cette structure striée, des taches plus sombres irrégulièrement disposées dans une substance fondamentale plus claire. On observe des phénomènes tout semblables dans les épaisses plaques calleuses des cribles âgés des Dicotylédones et des Monocotylédones.

Les mêmes apparences, fournies par les sections transversales des punctuations calleuses, se retrouvent naturellement sur les sections longitudinales tangentielles; ces dernières apprennent, en outre, comment les cribles sont disposés sur les parois longitudinales des tubes. C'est sur les cribles de la cloison oblique terminale que les pelotes calleuses sont le plus grosses; toutefois, elles ne se développent ici que d'un seul côté, tandis que sur les parois longitudinales il n'est pas rare de voir les cribles munis de chaque côté d'une épaisse pelote arrondie. Les pelotes de deux ou plusieurs cribles voisins confluent assez souvent en une masse unique; mais cette réunion ne s'opère ordinairement qu'à l'intérieur de l'un des tubes en contact. La confluence des pelotes calleuses de tous les cribles d'une cloison terminale oblique en une seule plaque est un phénomène fréquent.

Parfois, mais en somme assez rarement, il se fait des punctuations criblées dans la paroi par laquelle un tube cribreux touche une cellule de rayon; mais ces cribles ne sont jamais perforés et c'est seulement du côté du tube cribreux que l'on y voit des bâtonnets calleux s'enfoncer jusqu'au milieu de la membrane commune, dans laquelle on n'aperçoit pas de nodules.

Considérons encore les cribles sur la section radiale, où ils se présentent de face. Sur les jeunes tubes cribreux, on voit les

plages du crible couvertes de petites pelotes brunes, dans lesquelles on aperçoit sur un fond clair de petites taches brunes qui sont les sections transversales optiques des bâtonnets calleux. Si les pelotes des plages criblées sont minces, les sections des bâtonnets présentent une netteté extraordinaire. Tout récemment (milieu de février) j'ai pu de nouveau, sur une branche de Pin de huit ans, observer ce phénomène dans toute sa beauté, à l'aide d'un grossissement de sept cents diamètres. La description que M. de Janczewski a donnée des pelotes calleuses vues de face répond à celle qu'il en a tracée sur la section transversale; les pelotes qui recouvrent les diverses plages du crible sont pour lui des masses homogènes, dans lesquelles on n'aperçoit pas les coupes transversales optiques des divers bâtonnets calleux.

Le contenu des tubes cribreux actifs consiste, comme dans les Angiospermes, en une couche protoplasmique pariétale, en une gelée et en un liquide clair; dans ce dernier, sont suspendus une plus ou moins grande quantité de grains d'amidon et une substance floconneuse qui se colore par les réactifs iodés en rouge brique ou en violet brun.

La couche protoplasmique pariétale correspond tout à fait à celle des Angiospermes; par l'emploi de l'alcool et des préparations iodées, elle paraît plus transparente et plus pauvre en granules que celle des cellules du cambium ou du jeune bois. Comme chez les Angiospermes, cette couche pariétale se contracte moins sous l'influence de l'alcool au voisinage des cribles que dans le reste de la paroi.

La gelée ne s'accumule que sur les cribles, où elle forme une couche mince et transparente, que le réactif iodé colore assez fortement en jaune brun.

On y trouve encore des corpuscules arrondis, clairs, incolores, que les réactifs iodés ne colorent qu'en violet rougeâtre ou en violet sombre; ce ne sont pas autre chose, selon moi, que des grains d'amidon.

Les grains d'amidon des tubes cribreux des Angiospermes se distinguent, comme on le sait, parce qu'ils prennent sous

l'influence de l'iode une coloration plus ou moins violette, ou violet rougeâtre. D'après mes observations, ils se colorent toujours d'une nuance plus claire que des grains de même dimension pris dans le parenchyme; tandis que ces derniers, traités par le réactif iodé dont il a été question plus haut, deviennent presque noirs, ceux des tubes cribreux deviennent violets ou violets rougeâtres; et plus ils sont petits, plus ils virent au rouge brique (1). On sait aussi que les grains d'amidon, quand ils sont soumis à l'influence de certains ferments et que l'extraction de la granulose n'a été qu'incomplète, prennent, par l'action de l'iode, une couleur rouge violacé ou brunâtre. Cette même coloration s'observe encore dans les tissus qui produisent périodiquement de l'amidon, à l'époque où cet amidon s'y transforme en d'autres substances. Il est donc permis de supposer que, dans les tubes cribreux, c'est la présence d'un ferment qui influence la coloration des grains d'amidon par l'iode. Quoi qu'il en soit, les grains d'amidon des tubes cribreux paraissent, en comparaison de ceux du parenchyme, pauvres en substance solide et abondamment pourvus d'eau à l'intérieur. C'est ce qu'on observe tout particulièrement dans les tubes cribreux des Conifères; les grains y ont l'air de sphères vides. Après l'action du réactif iodé, les plus gros grains d'amidon sont souvent éclatés, de telle sorte qu'on voit nager dans le liquide soit des fragments irréguliers colorés en violet, soit des corpuscules violets en forme de demi-lune ou de croissant, assez souvent accolés deux par deux par leurs convexités en manière d'X. Je pense que les masses floconneuses colorées en rouge brique, qui ont été signalées plus haut, ne sont pas autre chose que le mince contenu amylicé sorti des grains éclatés.

Tel qu'on vient de le faire connaître, le contenu des tubes cribreux est surtout accumulé aux extrémités pointues. M. de Janczewski n'en a pas fait mention.

(1) Voy. Mohl, *Botanische Zeitung*, 1855, p. 889.

Venons maintenant à étudier le développement des tubes cribreux.

Considérons soit une coupe transversale, soit une section longitudinale radiale, intéressant en même temps le bois, le cambium et l'écorce. Du côté du bois, il y a transition insensible, à la fois sous le rapport de la grandeur de la cavité et de l'épaisseur de la membrane des cellules, depuis le cambium jusqu'aux premiers vaisseaux achevés. Du côté du liber, au contraire, à trois ou quatre assises de la région cambiale, on voit tout à coup une rangée tangentielle de cellules se distinguer, par une cavité beaucoup plus large et une membrane fortement épaissie, des cellules voisines dont la paroi est mince et la cavité étroite. En d'autres termes, la zone d'accroissement passe progressivement au bois adulte, tandis qu'elle est séparée du liber adulte par une limite nettement tranchée. Je ferai remarquer tout de suite que ce même phénomène se retrouve dans tous les végétaux ligneux pourvus d'un anneau de cambium ; il y est seulement moins accusé que chez les Abiétinées, parce que les tubes cribreux y ont des parois moins épaisses. Partout il s'explique par le passage brusque des jeunes cellules libériennes à l'état adulte, résultant d'une très grande rapidité à la fois dans l'agrandissement de leur cavité et dans l'épaississement de leur membrane.

Pendant le repos végétatif, l'anneau de cambium est, comme on le sait, très nettement limité en dedans du côté du bois ; en dehors, il passe au contraire progressivement au liber, parce que les cellules cambiales et les jeunes cellules libériennes fermées en automne possèdent des parois, surtout des parois radiales, plus épaisses que dans le reste de la période végétative. En été, c'est l'inverse : la limite est très nette du côté du liber, elle se perd du côté du bois. La chose se voit très clairement dans l'*Anatomie comparée* de M. de Bary, figure 187, p. 477 ; elle y est même un peu plus nettement accusée que dans la nature, parce que les membranes des cellules cambiales et des jeunes cellules libériennes sont dessinées par un trait simple.

Comme l'accroissement de volume et l'épaississement des membranes, la formation des cribles et de leur cal est aussi très rapide, ce qui rend très difficile l'étude du développement des tubes cribreux. On tire profit cependant de la limite nette qui sépare le cambium du liber développé; c'est un point de départ certain pour se diriger dans les séries radiales, soit vers la périphérie, soit vers le centre. Pour abréger, je désignerai les premiers tubes cribreux définitifs à large cavité et à paroi épaisse sous le nom de *cellules limites*.

Considérons d'abord une section longitudinale radiale du Pin, traitée par le réactif iodé. Les séries de ponctuations primordiales qui traversent horizontalement toute la région cambiale se prolongent à droite et à gauche dans le bois et dans le liber. Du côté du liber, les ponctuations s'agrandissent plus vite que du côté du bois. Aux places où la membrane a été débarrassée de son revêtement protoplasmique, on constate, sur les deux à trois cellules situées en dedans des cellules limites, que les ponctuations primordiales incolores sont parsemées de quelques points très fins. Sur les sections transversales ou tangentiellles, ces petits points, qui sont le début des plages criblées, s'aperçoivent très difficilement, parce que la membrane de la ponctuation est très tendre et très mince, le plus souvent recouverte de protoplasma; mais sur les sections radiales, c'est-à-dire de face, elles tranchent en sombre ou en clair, et se reconnaissent avec certitude.

Dans la paroi épaisse des cellules limites, la membrane de la ponctuation est, sur la coupe transversale, trois ou quatre fois plus épaisse qu'auparavant, colorée en jaune soufre clair, finement striée en travers, à bord très légèrement crénelé. La lamelle moyenne n'est pas visible dans l'étendue du crible. Les fines stries transverses qui viennent s'ouvrir en dehors dans les crénelures sont évidemment de très étroits canaux, qui paraissent comme gonflés ou remplis par une substance possédant à peu près le même pouvoir réfringent que la membrane. La coloration jaune soufre est très nettement accusée et caractéristique pour cet état. De face, sur la coupe radiale, le

crible arrondi paraît jaune clair et se trouve parsemé de granules jaunes dont le nombre et le groupement correspondent à ceux des pores du crible développé. Il m'est arrivé souvent, surtout sur les tubes cribreux qui suivent les cellules limites, d'observer un groupement très net de ces granules; chaque groupe, composé de quatre à six granules disposés en cercle, ressemblait à une couronne de perles, et le nombre, la grandeur et la disposition de ces couronnes correspondaient exactement aux plages criblées du crible développé.

D'ordinaire, c'est seulement dans le second tube cribreux à partir des cellules limites, rarement dans le premier, que l'on aperçoit les premiers indices du cal; les fines crénelures du bord paraissent d'abord, sur les coupes transversales, remplies par une masse rouge brun, qui s'étend ensuite vers l'intérieur sous forme de stries extrêmement fines, souvent doubles, jusque vers le milieu de la membrane. Dans le tube suivant, on voit que les stries brunes accouplées sont devenues plus épaisses et forment ce que plus haut nous avons décrit sous le nom de bâtonnets calleux; les extrémités élargies, situées dans les crénelures, forment les têtes de ces bâtonnets. A ce moment, ou même dès avant l'apparition du cal, on aperçoit les nodules au milieu de la membrane du crible. Au lieu de se colorer en jaune soufre, la membrane interposée aux bâtonnets calleux prend maintenant une teinte violette ou bleue, mais moins intense que celle de la membrane générale du tube.

Remarquons encore que les divers états que nous venons de décrire se rencontrent souvent côte à côte sur le même tube, ce qui plaide en faveur du développement très rapide des tubes cribreux.

Considérons maintenant les transformations du contenu des éléments cribreux.

Sur les sections tangentielles d'une tige conservée dans l'alcool, si le tube est à l'état où le cal commence à faire son apparition, on voit encore nettement dans chaque cellule un gros noyau, en forme de disque ovale, renfermant deux à huit nucléoles, tandis que la couche pariétale, retirée de la mem-

brane, présente de fortes ondulations en rapport avec les inégalités de la paroi. Les proéminences de la couche protoplasmique, correspondant aux ponctuations de la membrane, sont remplies par un grand nombre de gouttelettes sphériques mucilagineuses qui se colorent, comme les nucléoles et comme le cal, en rouge brun par le réactif iodé. Il n'y a pas encore de grains d'amidon.

Dans les tubes plus jeunes, avant l'épaississement des parois, on trouve dans chaque cellule, comme d'ordinaire dans les cellules cambiales, deux ou trois gros noyaux ovales, disposés au-dessus l'un de l'autre vers le milieu de la cellule. Cet état a déjà été figuré par Schacht (1). Dans les jeunes éléments du bois, il n'y a aussi, en définitive, qu'un seul noyau, qui persiste jusqu'à ce que la paroi de la ponctuation ait acquis toute sa grandeur. Dans les tubes criblés âgés, où les bâtonnets calleux avec leurs têtes sont déjà bien formés, le noyau a disparu et les sphères mucilagineuses ont conflué en une couche de gelée homogène, étendue à la surface du cal. Avec l'âge, les formations calleuses s'étendent de plus en plus, comme il a été dit plus haut, pour disparaître rapidement plus tard, après deux années environ, par une sorte de corrosion, en même temps que le contenu s'évanouit. Pourtant, dans certains tubes cribreux, on voit des masses calleuses plus ou moins inaltérées persister pendant plusieurs années, quelquefois pendant dix ans. En même temps que le contenu disparaît, la membrane des tubes cribreux diminue notablement d'épaisseur, sans doute en perdant de l'eau.

Une étude plus approfondie de la membrane des tubes cribreux, sous le rapport de sa structure et de son accroissement, nous mènerait trop loin : bornons-nous à remarquer que la formation de ce qu'on appelle les couches d'épaississement secondaire et tertiaire provient ici, comme dans les vaisseaux, d'une différenciation interne et non d'une apposition.

Les tubes cribreux des *Abies* (*A. excelsa* et *Pichta*) et *Larix* (*L. sibirica* et *europæa*) se comportent, sous tous les rapports,

(1) Schacht, *Lehrbuch der Anatomie und Physiologie*, II, pl. V, fig. 7.

comme ceux du *Pinus sylvestris*. Dans le *Larix sibirica*, j'ai trouvé une fois, sur la paroi tangentielle d'un tube cribreux, un crible avec une épaisse pelote calleuse.

Dans les autres Conifères (*Juniperus communis* et *horizontalis*, *Cupressus fastigiata*, *Thuia occidentalis*, *Biota orientalis*, *Taxodium sempervirens*, *Araucaria excelsa*, *Sequoia gigantea*, *Podocarpus latifolia*, *Salisburia adiantifolia*, *Taxus baccata*), dans les Gnétacées (*Ephedra monostachya* et *altissima*) et dans les Cycadées (*Cycas revoluta*, *Ceratozamia mexicana*), les tubes cribreux ressemblent à ceux des Abiétinées, aussi bien sous le rapport des cribles et de leur cal, que sous le rapport du contenu; ils ont seulement les parois plus épaisses. Dans l'*Ephedra monostachya* (l'échantillon provenait du Turkestan), j'ai observé une gelée très abondante, formant un cordon dans l'intérieur du tube. Comme il a été dit plus haut, à l'exception des Cycadées, la subdivision du crible en un certain nombre de plages criblées y est plus prononcée que dans les Abiétinées. Les Cycadées se distinguent d'ailleurs de toutes les autres Gymnospermes en ce que les parois tangentielles y portent aussi des cribles. Dans le *Cycas* (tige âgée), la subdivision du crible est très nette tant qu'il est recouvert de cal, plus tard elle l'est moins; dans le *Ceratozamia* (axe d'inflorescence), elle est toujours fortement accusée, et l'on y voit nettement les nodules au milieu de la membrane. Ces nodules sont plus grands dans l'*Ephedra* et dans toutes les Conifères nommées plus haut, bien qu'ils ne puissent s'apercevoir que sur des sections très minces.

On pourrait être tenté de regarder la subdivision du crible en un certain nombre de plages criblées, comme une particularité caractéristique des Gymnospermes. Cependant, j'ai observé récemment la même disposition parmi les Fougères, chez l'*Alsophila australis*, où les cribles revêtus de cal se montrent nettement partagés en plages criblées comme dans les Conifères; j'ai aperçu aussi le même phénomène parmi les Monocotylédones, dans la racine d'un Palmier (probablement un *Copernicia*).

DICO TYLÉDONES.

Les tubes cribreux des Dicotylédones se ressemblent beaucoup, en somme, sous le rapport de la structure et du contenu; mais, au point de vue des recherches actuelles, ils sont loin cependant d'être aussi uniformes que ceux des Gymnospermes.

En considérant la structure de ces tubes cribreux, il me semble qu'il faut d'abord en distinguer de deux sortes : 1° les tubes cribreux qui ne forment de cribles que sur la cloison terminale plus ou moins oblique et qui ne portent que par exception çà et là un ou deux cribles sur les parois longitudinales; 2° les tubes cribreux dont les parois longitudinales et les cloisons terminales le plus souvent très obliques (comme dans les Gymnospermes) sont également pourvues de cribles.

On sait déjà, par les recherches de Mohl (1), que, dans le Poirier (*Pyrus communis*), les tubes cribreux prismatiques et terminés en ciseau ont, comme chez les Conifères, leurs parois longitudinales radiales pourvues de cribles ovales superposés. Il semble que, dans la famille des Pomacées, les tubes cribreux ont toujours cette structure, car je l'ai observée dans les *Pyrus Malus*, *Sorbus aucuparia* et *Hostii*, *Cratægus coccinea*, *punctata*, *pinnatifida*, *Amelanchier canadensis* et *Eriobotrya japonica*; sur les cloisons terminales fortement obliques, les cribles sont plus grands et plus serrés que dans le reste de l'étendue de la paroi radiale.

Les tubes cribreux du *Magnolia grandiflora* et de l'*Evonymus europæus* se rapprochent beaucoup de ceux des Pomacées, et il en est de même de ceux des *Ribes*, *Malpighia* et *Brexia*. Tous ces tubes se rattachent au second des groupes distingués plus haut.

Les cloisons terminales des tubes cribreux du premier groupe portent d'ordinaire un seul crible quand elles sont peu inclinées, plusieurs quand elles sont fortement obliques; les

(1) Mohl. *loc. cit.*, p. 88, pl. XV, fig. 10 et 11.

parois longitudinales, notamment les tangentielles, y sont toujours (?) munies de plages criblées, plus ou moins grandes et nombreuses.

Lorsque, à l'aide du bleu d'aniline, je fus amené à découvrir le cal dans les tubes criblés des végétaux les plus différents, j'ai malheureusement négligé de porter mon attention sur la présence des plages criblées. Dans mes notes, je trouve l'existence des plages criblées expressément signalée chez un grand nombre des plantes étudiées, tandis que pour d'autres il n'en est pas question. Je n'ai en ce moment ni le loisir, ni les matériaux nécessaires pour réparer cette omission; mais de ce fait que, depuis le moment où, par l'emploi du réactif iodé, j'ai fait une étude plus approfondie des tubes cribreux, j'ai toujours rencontré des plages criblées, parfois, il est vrai, très petites et très espacées, il m'est permis de conclure que ces corps ne manquent jamais sur les parois longitudinales, notamment sur les tangentielles, des tubes cribreux des Angiospermes. Chez les Pomacées et les Magnoliacées aussi, les parois longitudinales, mais seulement les tangentielles, portent de petites plages criblées.

Dans le liber secondaire des végétaux ligneux, paraissent prédominer les tubes cribreux dont les cloisons terminales sont conformées d'après le type bien connu de la Vigne, c'est-à-dire portent de nombreux cribles sur leur surface fortement inclinée dans le sens du rayon. Il en est ainsi, par exemple, dans toutes les Amentacées étudiées (*Quercus*, *Corylus*, *Alnus*, *Betula*, *Populus*, *Salix*, *Casuarina*), dans les *Tilia*, *Acer*, *Æsculus*, *Euphorbia*, *Prunus*, *Spiræa*, *Sambucus*, *Viburnum*, *Lonicera*, *Bignonia*, *Olea*, *Syringa*, *Jasminum*, *Phellodendron*, *Astrapæa Wallichii*.

Comme dans la Vigne, on trouve aussi çà et là chez ces plantes, par exemple chez les *Acer*, *Æsculus*, *Prunus*, etc., des cloisons terminales horizontales ou faiblement inclinées avec un seul crible, mais ce n'est qu'une exception. Inversement, on rencontre aussi dans les végétaux sous-ligneux, qui ont d'ordinaire, comme les plantes annuelles, les cloisons termi-

nales plus ou moins obliques munies d'un seul crible, des tubes cribreux pourvus de cloisons à plusieurs cribles, par exemple dans les *Lappa*, *Silphium*, *Nicotiana*, *Hypericum*. Ou bien il se fait aussi çà et là sur les parois longitudinales, comme on le sait pour la Courge, le plus souvent au voisinage de l'insertion de la cloison terminale, des cribles latéraux ayant la même structure que le crible terminal, par exemple dans les *Lappa*, *Silphium*, *Nicotiana*, et, parmi les plantes ligneuses, dans les *Acer*, *Æsculus* et *Prunus*.

Parmi les végétaux ligneux pourvus de tubes criblés dont la cloison transversale plus ou moins inclinée ne porte qu'un seul crible, il nous faut distinguer deux catégories. Tantôt, en effet, la paroi transversale se transforme dans toute son étendue en un large crible, comme dans les *Fraxinus excelsior*, *Ulmus montana*, *Rosa Gmelini*, *Coriaria myrtifolia*, *Ilex aquifolium*, *Ficus macrophylla*, *stipulacea*, *laurifolia*, *Carica*, *Anona Cheirimolia*, *Piper Cubeba*, *Aristolochia Siphon*, *Atrage-ne alpina* et *sibirica*. Tantôt la paroi transversale plus ou moins inclinée ne consacre à la formation du crible qu'une portion de sa surface, tandis que le reste demeure lisse; c'est ce qui a lieu dans les *Rhamnus cathartica*, *Buxus balearica*, *Berberis vulgaris*, *Nandina domestica*, *Philadelphus coronarius*, *Hippophaë rhamnoides*, *Shepherdia canadensis*. Dans les quatre premiers exemples, le crible se trouve à peu près au milieu de la paroi transversale; chez les autres, il est plus rapproché de l'une des extrémités.

Les tubes cribreux des Papilionacées ligneuses qu'on a examinées, telles que les *Cytisus*, *Caragana*, *Edwardsia*, *Halimodendron*, et ceux des Polygonées ligneuses, comme le *Tragopyrum lanceolatum*, forment un type spécial. Leurs éléments sont, comme les cellules du parenchyme libérien, relativement très courts et taillés en pointes, en forme de toit, aux extrémités (1), la plupart du temps de façon que l'une des faces obliques soit plus grande que l'autre; parfois même la plus

(1) Voy. de Bary, *loc. cit.*, p. 537, fig. 210.

petite face se trouve presque avortée. La plus grande des deux cloisons terminales porte un crible; parfois, lorsqu'elles sont égales ou presque égales, chacune d'elles forme un crible.

Les plages criblées, qui se distinguent toujours et partout des cribles par des pores plus fins et plus délicats, se montrent dans toute ou presque toute l'étendue des parois tangentielles, plus rarement aussi sur les parois radiales, séparées les unes des autres par des bandelettes saillantes. Celles-ci forment, le plus souvent, un réseau grossier, ou bien elles courent obliquement par rapport à l'axe du tube criblé, tantôt presque parallèles les unes aux autres, tantôt plus ou moins convergentes ou divergentes. Il en est ainsi dans les Amentacées nommées plus haut; il n'est pas rare d'y voir les parois tangentielles recouvertes de plages criblées à pores excessivement fins. Les plages criblées sont moins nombreuses et pareilles au type de la Vigne (1), dans les *Acer* et *Æsculus*. Elles présentent au contraire leur plus grande extension dans le *Fraxinus excelsior*, où elles ne sont séparées l'une de l'autre que par des bandelettes très étroites, à peine saillantes sur la membrane générale. Dans la plupart des autres Dicotylédones, notamment dans les plantes sous-ligneuses, les plages criblées, ordinairement arrondies ou transversalement allongées, de dimension faible et inégale, sont disséminées irrégulièrement sur les parois longitudinales; chez les Papilionacées, le *Corydallis*, l'*Eranthis*, ce sont des taches presque circulaires disposées assez régulièrement en une rangée verticale.

J'ai observé des anastomoses transverses entre les tubes cribreux, au moyen de cellules de parenchyme libérien transformées en éléments cribreux, non seulement chez la Vigne, où elles ont été déjà vues et figurées par M. Wilhelm, mais encore et à plusieurs reprises dans le *Quercus pedunculata*. Dans l'*Æsculus*, j'ai vu des tubes cribreux réunis par des anastomoses transverses à travers un rayon formé de deux rangs de cellules.

(1) Voy. Wilhelm, *loc. cit.*, pl. 4, fig. 37.

D'une façon générale, la forme des tubes cribreux des Dicotylédones est aussi prismatique, avec une différence toutefois, résultant de la formation des cellules compagnes qui manquent dans les Gymnospermes. Quand celles-ci sont découpées dans les flancs du tube cribreux et amincies au sommet, les extrémités de ce dernier sont naturellement plus larges que sa région médiane. Quand elles sont séparées du tube par une cloison parallèle à son axe, le tube a, comme elles, le même diamètre dans toute son étendue. Les tubes cribreux élargis aux extrémités forment souvent des expansions en cul-de-sac, comme on le sait pour la Vigne par les recherches de M. Wilhelm (1). J'en ai observé très souvent de plus grandes dans le Peuplier, le Chêne, le Hêtre, l'Érable et le Marronnier.

Les cellules compagnes, que j'ai rencontrées partout chez les Dicotylédones, sont simples, comme dans les *Tilia*, *Sorbus*, *Prunus*, *Æsculus*, ou cloisonnées en articles égaux, comme dans les Amentacées.

En ce qui concerne la disposition des tubes cribreux dans l'écorce secondaire des végétaux ligneux, remarquons encore qu'il y a deux types principaux à distinguer. Tantôt ils forment, avec leurs cellules compagnes, des zones tangentielles coupées par les rayons libériens et séparées par des zones d'un, deux ou plusieurs rangs de parenchyme libérien (Pomacées). Tantôt les cellules du parenchyme libérien sont disséminées sans ordre parmi les tubes criblés; quelques-unes d'entre elles se différencient alors en cellules cristalligènes, ou bien il se forme un tissu cristalligène spécial disposé en zones tangentielles à travers le liber, disposition nettement accusée dans les Ribésiées et les Malpighiacées. Chez beaucoup de plantes ligneuses, il s'y ajoute des groupes plus ou moins épais de fibres libériennes, disposées aussi en zones tangentielles entrecoupées par les rayons et dont les éléments périphériques se transforment, comme on le sait, en fibres cloisonnées cristalligènes.

(1) Voy. Wilhelm, *loc. cit.*, pl. 2, fig. 16, 17, 18, et pl. 3, fig. 26, 27.

Dans plusieurs des arbres étudiés, par exemple dans les *Populus tremula* et *laurifolia*, dans les *Salix*, *Sorbus*, *Ame-lanchier*, *Berberis vulgaris*, j'ai pu constater, sur des branches de deux à douze ans, qu'il se fait presque régulièrement chaque année une de ces zones fibreuses, de telle sorte qu'il y a là un moyen très utile, sinon d'une certitude absolue, d'estimer l'âge des couches libériennes de ces plantes. La chose est moins sûre avec les *Crataegus*, *Rhamnus*, *Caragana*, tout à fait incertaine avec les *Æsculus*, *Prunus*, *Acer*. Le liber secondaire des tiges âgées semble se comporter sous ce rapport comme celui des branches. Pendant la première année, lorsque le faisceau est muni en dehors d'un arc fibreux, le liber secondaire ne forme pas de zone fibreuse. Dans le Tilleul (*Tilia europæa*), il paraît se faire très régulièrement trois zones fibreuses par an, tout au moins dans les branches âgées de trois à douze ans.

Chez les Cupressinées, Séquoiées et Taxodinées, le nombre des assises fibreuses du liber est presque exactement le double de celui des couches annuelles du bois.

Il s'agit maintenant d'étudier de plus près la structure des cribles, des plages criblées et de leur cal, ainsi que celle du contenu des tubes cribreux. Mais auparavant, je dois faire remarquer que le sujet a été si bien approfondi par les belles recherches de M. Wilhelm sur la Vigne et la Courge, qu'il me restera bien peu de chose à ajouter à ce qui est connu.

Je signalerai d'abord, comme un caractère général, l'hétérogénéité de la substance calleuse, accusée par l'intensité différente de la coloration que lui communique le réactif iodé. On la constate avec une netteté particulière dans les coussinets calleux des plages criblées et dans les plaques calleuses des cribles à pores très étroits, aussi bien dans les plantes ligneuses que dans les végétaux herbacés; on la retrouve aussi dans les plaques calleuses des vieux tubes criblés chez les plantes les plus diverses. Dans les deux premiers cas, on aperçoit, traversant perpendiculairement le crible et ses deux coussinets calleux, des stries ou des baguettes d'un brun sombre,

qui ont leur plus grande intensité au voisinage immédiat du crible. Ce phénomène ne se voit pas avec la même netteté dans tous les coussinets calleux. Dans les plaques calleuses des tubes âgés, les stries sombres ne sont plus visibles ; elles sont remplacées par des taches arrondies qui tranchent en brun foncé sur le ton plus clair de la masse générale ; la chose est très nette, par exemple, dans les vieux tubes cribreux situés à la périphérie du liber secondaire chez les *Cucurbita*, *Archangelica*, *Humulus*, *Lappa*, etc.

Qu'un observateur aussi attentif que M. Wilhelm n'ait pas aperçu ces stries, c'est ce que je crois pouvoir expliquer en supposant que le chlorure de zinc iodé dont il se servait ne renfermait pas assez d'iodure de potassium et surtout pas assez d'iode libre ; c'est seulement, en effet, quand le réactif contient beaucoup d'iode, que le phénomène apparaît, mais il se montre aussitôt avec une grande clarté. J'ai observé ces stries avec une netteté particulière dans les coussinets calleux des plages criblées, chez les *Populus*, *Salix*, *Vitis*, *Cucurbita*, dans le cal des cribles des *Sorbus* et *Pyrus*, dans l'état hibernant du cal des jeunes cribles de la Vigne, notamment dans la racine du *Vitis amurensis*, enfin dans toutes les Monocotylédones étudiées, où les coussinets calleux ont un peu plus de grosseur.

Une fois que le cal est entièrement décoloré, ce qui arrive au bout de quelques heures, le plus souvent après vingt-quatre heures, on voit, à la place des bâtonnets bruns, des stries très fines ou des filaments jaune clair, que je suis porté à regarder comme de nature mucilagineuse. J'imagine que l'axe de chaque bâtonnet calleux est traversé par un filament gélatineux, analogue aux filets connectifs de M. Wilhelm. On sait que dans la Vigne et dans la Courge, M. Wilhelm a vu des filaments muqueux traverser les plages criblées ; or, précisément dans ces plantes, comme aussi dans le *Sorbus aucuparia*, où l'on voit également des filets gélatineux, il est vrai d'une finesse extrême, la coloration brun sombre des bâtonnets du cal est fortement accusée. Remarquons encore qu'après un long

séjour dans l'alcool, la coloration sombre des bâtonnets n'est plus aussi facile à provoquer. Dans les cas nombreux où, après la décoloration du cal, on n'aperçoit pas nettement de filets mucilagineux, comme chez toutes les Monocotylédones, Gymnospermes et Cryptogames vasculaires, y a-t-il ou non un passage de la gelée à travers le crible ? C'est ce qu'il est difficile de décider.

Je dois encore appeler l'attention sur un phénomène qui peut facilement donner lieu à des méprises. Quand on examine de face une plage criblée ou un crible à pores très fins, les pores remplis par le cal apparaissent, suivant la mise au point, tantôt comme des points sombres sur un champ clair, tantôt au contraire comme des points clairs sur un champ sombre.

Ce phénomène, qui se retrouve dans toutes les ponctuations ou petites aspérités d'une surface quelconque, s'explique par une différence de niveau. Ainsi, sur les grandes ponctuations criblées pourvues de cal des *Cucurbita*, *Populus*, *Vitis*, etc., on peut, par une mise au point différente, faire apparaître les bordures des pores tantôt claires, tantôt sombres ; les cavités des pores et les portions de cal comprises entre les bordures prennent en même temps une teinte complémentaire. S'il y a des filaments muqueux (filets connectifs), leur coupe transversale optique paraît toujours limitée par un contour très vif ; si l'on a mis au point pour la surface du coussinet calleux, on voit, à l'intérieur de chaque bordure calleuse, une sphère jaune, à contour vif, ou un bouton, qui est l'extrémité renflée en tête du filet connectif. Si le crible est un peu oblique, on obtient une image comme celle que M. de Bary a dessinée, fig. 75, p. 186, parce qu'on aperçoit à la fois les filaments et leurs têtes. Ainsi traversé par les filets muqueux, le coussinet ressemble assez à une pelote piquée d'épingles.

Ni dans les plages criblées, ni dans les cribles à pores très fins, je n'ai encore réussi à apercevoir de face les coupes transversales optiques des filets muqueux. Par une mise au point convenable, on voit bien la section transversale des bouchons

calleux beaucoup plus claire au milieu qu'à la périphérie, colorée en jaune ou jaunâtre, mais ce centre clair est dépourvu de contour et va se perdant peu à peu dans le sombre anneau périphérique. Chez les Monocotylédones, même quand les pores sont relativement larges, comme dans le *Smilax excelsa*, même dans la racine du *Pandanus odoratissimus* où ils ne le cèdent pas en largeur à ceux de la Vigne et du Peuplier, j'ai toujours vu aussi le centre jaune clair passer peu à peu, sans limite nette, au sombre anneau périphérique.

De pareilles plages criblées, de pareils cribles doivent-ils être dits ouverts? Qu'ils soient praticables, c'est ce qui ne me paraît pas douteux, surtout si je considère les Gymnospermes. Chez elles, en effet, les bouchons calleux ne sont à aucune époque traversés par des filets gélatineux, comme M. de Janczewski le reconnaît aussi. Cependant il serait absurde d'admettre qu'il n'y a ici aucun passage du contenu d'une cellule à l'autre à travers le crible, parce que ses pores sont bouchés par le cal.

Le sac membraneux que l'on retrouve dans tous les tubes cribreux vivants n'est, au fond, pas autre chose que la couche pariétale du protoplasma, propre à toute cellule vivante qui a achevé son développement; il paraît seulement plus extensible et n'est pas aussi finement granuleux que la couche pariétale ordinaire. Moins nombreux, mais plus gros, ses granules semblent attachés à de très fins filaments muqueux, qui lui donnent souvent un aspect strié en long. Les sacs des cellules voisines communiquent-ils à travers les perforations du crible? A cause de la petitesse des choses, on ne peut l'affirmer avec certitude, excepté pour la Courge. Mais dans cette plante, je suis parvenu à suivre nettement le prolongement du sac protoplasmique d'une cellule à l'autre à travers les canaux du crible de séparation; ici, le sac est très riche en petits granules sphériques, intimement appliqués contre la paroi, et ressemble, en coupe optique, à un collier de perles; j'ai vu clairement ces granules revêtir les canaux, tout au moins ceux de la périphérie. M. Wilhelm avait laissé la question indécise.

Dans les cribles à pores très étroits, une pareille communication entre les sacs protoplasmiques des articles successifs est rendue vraisemblable par ce fait que, dans les préparations macérées, il n'est pas rare de voir les cribles, détachés de la paroi, demeurer retenus au sac par de longues et minces ramifications de ce dernier, qui traversent les trous laissés dans la membrane (*Sorbus aucuparia*, *Prunus Padus*). Dans les *Sorbus* et *Pyrus*, où, comme on l'a vu plus haut, les cribles sont répandus sur toute l'étendue des parois longitudinales, il n'est pas rare de voir, en déchirant le tube avec les aiguilles, deux articles contigus, notablement écartés l'un de l'autre, demeurer réunis par les ramifications de leurs sacs protoplasmiques, de façon à ressembler à deux filaments de Spirogyre en voie de conjugaison. J'ai observé ce même phénomène dans les plages criblées du *Prunus Padus*.

La gelée, c'est-à-dire le protoplasma clair et dépourvu de granules, ne manque probablement jamais aux tubes cribreux, mais c'est seulement chez les Dicotylédones que je l'ai vue former des amas plus ou moins considérables aux extrémités des articles, ou un cordon traversant chaque cellule dans sa longueur; encore y a-t-il ici bien des exceptions. Dans le tiers au moins des Dicotylédones étudiées, il m'a été tout aussi impossible que chez les Monocotylédones et les Cryptogames vasculaires, d'apercevoir des cordons muqueux ou même des amas de gelée au voisinage des cribles. On observe des cordons muqueux ou des sacs gélatineux, tout aussi développés que dans la Courge, dans les *Humulus*, *Tilia*, *Rhamnus*; moins étendus, à peu près comme dans la Vigne, dans les *Æsculus*, *Acer*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Bignonia*, *Atragene*, *Cimicifuga*, *Clematis*, *Datisca*, *Rosa*, *Edwardsia*; moins développés encore, dans les Amentacées, Lonicérées, *Nicotiana* et *Lappa*. Ailleurs, la gelée ne forme pas, autour des cribles, d'amas plus grands que ceux que l'on voit çà et là adhérer au sac; il en est ainsi dans les *Asclepias Cornuti*, *Impatiens noli-tangere*, *Silphium connatum*, *Archangelica decurrens*, *Ligusticum Levisticum*, *Aconitum Napellus*, *Loasa acanthifolia*, *Thunbergia alata*, *Hippuris*, *Cus-*

cuta, *Monotropa*, *Myriophyllum*, *Pinguicula vulgaris*, et dans la plupart des tubes cribreux des *Betula*, *Populus*, *Prunus*, Pomacées, *Evonymus*. Pourtant, il se peut que des recherches plus suivies, répétées souvent sur divers individus de la même espèce et aux diverses époques de l'année, donnent des résultats plus favorables à la présence de grandes masses gélatineuses.

Le cordon gélatineux des tubes cribreux de la Courge durcit sa couche externe en forme d'une délicate membrane plissée. Cette consistance membraneuse n'apparaît aussi nettement que sur les matériaux conservés dans l'alcool. Le cordon muqueux des *Humulus*, *Tilia* et *Rhamnus* possède la même propriété.

Au sujet des filaments muqueux qui traversent les canaux des cribles, ce qu'on appelle les filets connectifs ou les bras du sac, je ne puis que confirmer en tous points les assertions de M. Wilhelm; j'ajouterai seulement qu'il m'est arrivé d'observer dans le Frêne, aussi bien que dans la Courge, les vésicules mucilagineuses emboîtées l'une dans l'autre, que cet auteur a signalées. En outre, je remarque que la nature muqueuse des boutons des filets connectifs se reconnaît nettement sur les préparations faites à l'aide de matériaux desséchés. Dans l'eau, les sections se gonflent et tous les éléments reprennent leur forme primitive, ou peu s'en faut. Les boutons gélatineux ne sont pas visibles, mais de chaque canal s'échappe un filament muqueux très fin, tendu à travers la cavité du tube jusqu'à la paroi opposée. En coupe transversale, on dirait d'une harpe avec ses cordes.

Les tubes cribreux de la plupart des Dicotylédones contiennent de l'amidon, comme l'a montré M. Briosi (1). Pendant la période végétative, l'amidon ne manque que chez un petit nombre de ces plantes; à l'exemple bien connu de la Courge, je puis ajouter le Houblon, le Tilleul et probablement aussi le *Rhamnus cathartica*. L'amidon existant aussi chez les Gym-

(1) *Botanische Zeitung*, 1873.

nospERMES, tandis qu'on n'en a observé aucune trace dans les Cryptogames vasculaires, ce corps n'ayant été rencontré jusqu'ici parmi les Monocotylédones que chez les Scitaminées (*Musa*, *Strelitzia* et *Canna*) et dans les racines de quelques Palmiers (*Cocos chilensis* et un *Copernicia* [?]), je me vois amené par mes recherches à admettre que, à un petit nombre d'exceptions près de part et d'autre, *les tubes cribreux des faisceaux ouverts renferment de l'amidon, tandis que ceux des faisceaux fermés n'en contiennent pas.*

Si l'on réfléchit que les cellules du parenchyme libérien contiennent de l'amidon, et le plus souvent beaucoup d'amidon, pendant la période végétative, on trouvera d'autant plus remarquable que les cellules compagnes en soient dépourvues. Que cette absence soit un fait général, c'est ce que je ne saurais affirmer, parce que j'ai malheureusement négligé de porter toujours mon attention sur ce point. Toujours est-il que, dans la grande majorité des plantes étudiées, les cellules compagnes se sont trouvées dépourvues d'amidon, abondamment munies au contraire de protoplasma; ce dernier s'y présente quelquefois, en particulier dans le *Sorbus*, en masses allongées en cordons, plus longues que les cellules et par conséquent reployées sur elles-mêmes, comme M. Wilhelm l'a représenté planche V, figure 44, pour le cordon muqueux d'un tube cribreux.

Les premières observations sur le développement des tubes cribreux ont été faites, comme il a été dit plus haut, par M. de Janczewski; elles l'avaient conduit à admettre que, chez les Dicotylédones, le crible se forme avant la production du cal. Mais il résulte du dernier mémoire détaillé de l'auteur, que le crible ne prend naissance qu'après l'apparition du cal, lequel provient d'une transformation locale de la cellulose. A cet effet, des verrues calleuses se développent en divers points qui se correspondent exactement des deux côtés de la membrane et, dès que la lamelle moyenne qui les sépare s'est métamorphosée en cal, elles se fusionnent pour former les bouchons calleux qui remplissent les pores du crible; plus tard

ces bouchons sont percés suivant leur axe par les filaments connectifs.

Les premières recherches approfondies sur le développement des tubes cribreux des *Vitis*, *Cucurbita* et *Lagenaria* ont été publiées par M. Wilhelm, dans le mémoire que nous avons bien des fois cité. Les résultats obtenus par cet auteur au sujet du développement du cal et du crible de cellulose sont les mêmes que ceux auxquels M. de Janczewski est parvenu plus tard.

Mes propres recherches sur ce sujet ont été faites en première ligne sur la Courge et le Tremble, puis aussi sur le Chêne, le Marronnier et le Tilleul.

Les changements dans le contenu des tubes cribreux de la Courge, jusqu'à l'apparition du cal, ont été trouvés par moi tels que M. Wilhelm les a décrits ; mais en ce qui concerne la formation du cal, je ne puis plus être tout à fait de son avis et plus j'ai répété mes observations, plus j'ai été fortifié dans l'opinion divergente que je vais émettre.

La portion de membrane qui doit plus tard se transformer en un crible est *déjà ponctuée avant l'apparition du cal* ; la substance calleuse se sépare dans ses petites dépressions, mais non par la transformation de la cellulose, comme M. Wilhelm l'a affirmé avec quelques réserves et M. de Janczewski avec une entière certitude.

Il est très difficile d'obtenir dans la Courge des coupes de la cloison transversale avant toute trace d'apparition du cal. On y réussit plus facilement avec le Peuplier et en général avec les plantes ligneuses, au moyen de coupes suffisamment minces pratiquées dans la tige desséchée. Si la Courge ne se prête pas à cette opération, en revanche la grande dimension des tubes y facilite les recherches. Sur des coupes longitudinales radiales bien réussies de Courge, je me suis convaincu avec la plus grande certitude que, dès avant la première apparition du cal, la cloison transversale est ponctuée. C'est surtout vers le bord que les enfoncements ou amincissements de la membrane se voient nettement ; vers le centre, la cloison est un peu

ondulée et la différence d'épaisseur entre les parties épaisses et les parties minces est moins marquée. Dès que le réactif iodé accuse l'apparition du cal, on voit, en des points correspondants des deux côtés de la cloison, de petites bandes brunes, un peu courbes, dont la longueur égale la largeur des ponctuations et qui tournent l'une vers l'autre leurs convexités ; entre les deux traits bruns de chaque paire, et séparés d'eux par un contour très vif, se trouve la membrane de cellulose, dont l'épaisseur est un peu moindre que celle des traits bruns. Si une partie de la cloison coupée se trouve inclinée sur l'axe visuel de l'observateur, on voit la membrane couverte de petites plaques, ou mieux de petites écuelles brunes. C'est ce relèvement des bords des petites plaques en forme d'écuelle, qui explique que, vus de face, ces bords paraissent, suivant la mise au point, tantôt plus sombres, tantôt plus clairs que la région médiane.

Dans le Chêne, le Tremble et le Marronnier, où les ponctuations du crible et par suite les petites plaques calleuses sont beaucoup plus étroites que dans la Courge, j'ai observé nettement aussi ces petites plaques brunes creusées en forme d'écuelles, mais je n'ai pas réussi à apercevoir de ponctuations avant leur apparition, sans doute à cause de la petitesse des objets. Dans le Tremble, j'ai pu constater, sur les plages criblées, la même production de petites plaques calleuses que sur les cribles.

M. de Janczewski décrit le cal comme apparaissant sous forme de *mamelons* ; on voit, par ce qui précède, que ce terme n'est pas l'expression exacte du phénomène. C'est seulement dans un état plus avancé que le cal prend l'aspect de ver-rues.

Au moment de leur apparition, les petites plaques calleuses ne sont pas beaucoup plus petites qu'à l'état de complet développement, et leur contour n'est pas rond, mais polygonal. M. Wilhelm les décrit aussi et les figure anguleuses arrondies (pl. IX, fig. 120, et pl. III, fig. 31). Je n'ai pas observé de fusion de plusieurs petites plaques en une seule plus grande.

J'attache de l'importance à la forme polygonale et au contour très vif des petites plaques calleuses, car si le cal provenait d'une métamorphose de la cellulose, il prendrait naissance sous forme de plages arrondies, à contours effacés. En outre il est difficile de comprendre comment la membrane peut se maintenir longtemps avec la même épaisseur, et même s'épaissir encore plus, pendant qu'une partie de sa substance se transforme. A l'époque où chaque petite plaque calleuse est deux fois plus épaisse que la lame de cellulose qui la sépare de sa congénère, cette lame de cellulose n'est pas devenue pour cela plus mince qu'elle n'était au début. Rappelons-nous enfin que les criblés des tubes âgés sont recouverts d'un cal dont le volume peut dépasser plus de cent fois celui du crible (ce qui n'est pas rare dans la Courge et bien d'autres plantes). Est-il croyable que cette masse calleuse se soit formée aux dépens du crible de cellulose, sans que ce dernier ait diminué de volume, bien plus, pendant qu'il s'est notablement accru, car l'épaisseur d'un crible âgé est sensiblement plus grande que celle du crible jeune? Le crible de cellulose est de bonne heure entièrement recouvert de cal; il faudrait donc que de nouvelles molécules de cellulose, formées dans le contenu du tube, traversassent continuellement le cal pour venir accroître la substance du crible et là se transformer ensuite en cal! Ou bien on serait forcé de supposer que la cellulose destinée à se transformer en cal est empruntée aux parois longitudinales du tube d'où elle se rend dans le crible!

Toutes ces difficultés disparaissent, au contraire, et tous les faits s'expliquent aisément, si l'on admet que la substance calleuse est formée par le contenu du tube et déposée par lui sur le crible. Les ponctuations étant formées avant la production du cal, on s'explique la forme polygonale arrondie et le creusement en cuvette des petites plaques calleuses lors de leur première apparition. La séparation très nette entre ces petites plaques et la membrane de cellulose qu'elles recouvrent, la formation ultérieure du cal sur les parties saillantes de la membrane, son accroissement progressif souvent si considé-

rable, tout enfin devient clair, si l'on suppose que le cal s'est déposé sur le crible de cellulose.

Je n'ai pas réussi à observer la dissolution de la lame de cellulose entre les deux petites cuvettes calleuses de chaque paire, ni la formation des filaments connectifs.

Toute coupe transversale ou longitudinale, intéressant à la fois plusieurs couches annuelles de liber, montre que l'épaisseur du cal augmente à mesure que le tube cribreux a fonctionné plus longtemps. On y voit aussi que, vers la fin de la seconde année (à l'exception peut-être du Tilleul), la vitalité des tubes commence à s'éteindre, en même temps que le coussinet calleux se fragmente ou plus rarement se dissout uniformément.

Dans certains tubes appartenant au liber secondaire de la troisième année ou des années suivantes, quelquefois même jusqu'à la dixième année, on rencontre cependant, sur certains cribles, des plaques calleuses les recouvrant en tout ou en partie, et qui diffèrent à peine du cal des tubes de seconde année.

L'accroissement du cal avec l'âge n'est pas le même chez toutes les plantes. Ainsi, il est relativement moindre dans les végétaux ligneux dont les cribles sont traversés toute l'année par des filaments connectifs, comme les *Tilia*, *Rhamnus*, *Rosa*, par exemple, que dans les Conifères, les Amentacées, les *Fraxinus*, *Æsculus*, *Acer*, *Vitis* et beaucoup de plantes sous-ligneuses ou annuelles. Le cal est toujours relativement très épais dans les tubes cribreux du liber primaire et dans les tubes les plus âgés du liber secondaire. Dans la Courge, par exemple, ou dans le Houblon, dans les grandes Ombellifères (*Archangelica*), Renonculacées (*Aconitum*, *Cimicifuga*) et Composées (*Lappa*, *Silphium*), le cal acquiert une épaisseur égale au diamètre du tube, ou même plus grande. La masse de ces gros coussinets calleux n'est pas homogène, car après l'action du réactif iodé elle paraît parsemée de points sombres, tandis que le cal plus jeune présente une striation régulière perpendiculaire à la surface du crible. Les premiers paraissent

avoir perdu pour toujours leur conductibilité, pendant que les seconds conservent la faculté d'être traversés par des filaments connectifs dans la période végétative suivante. La chose est particulièrement nette dans les plantes ligneuses, notamment dans les Amentacées, dans le *Vitis vinifera* et aussi dans la racine du *Vitis amurensis*; mais ici, c'est seulement dans les tubes formés pendant la seconde moitié de la dernière période végétative que le cal présente les stries sombres. Chez les Amentacées, chez les *Acer*, *Æsculus*, *Fraxinus*, le cal des derniers tubes cribreux formés demeure le plus souvent ouvert pendant l'hiver, quoique rarement traversé par des filaments connectifs. La chose est encore plus nette dans l'Orme, et chez un grand nombre de végétaux ligneux les tubes cribreux ont, toute leur vie durant, leurs cribles ouverts et traversés par des filaments connectifs. M. de Janczewski nomme parmi ces derniers : *Aristolochia Siphon*, *Tilia parvifolia*, *Fagus sylvatica*, et *Rosa canina*; je n'ai pas étudié les deux dernières plantes, mais pour les deux premières, je puis confirmer cette observation. J'ajoute, comme se comportant de la même manière, les *Rhamnus cathartica*, *Rosa Gmelini*, *Berberis vulgaris*, *Atragene alpina*, *Hippophae rhamnoides*, *Ilex aquifolium*, *Ficus Carica*, *Coriaria myrtifolia*, *Nerium Oleander*. En outre, toutes les plantes de serre, étudiées au mois de janvier, ont présenté le même phénomène : *Ficus macrophylla*, *Benjamina*, *laurifolia*, *stipulacea*, *Anona Cheirimolia*, *Jasminum simplicifolium*, *Astrapcea Wallichii*.

Dans presque toutes les plantes ligneuses étudiées sous ce rapport, les tubes cribreux des racines se comportent en hiver comme ceux des tiges en été; c'est une observation qui présente un intérêt particulier. Au mois de janvier, dans toute l'étendue de la dernière couche annuelle du liber secondaire, j'ai trouvé les tubes cribreux des racines pourvus de cribles calleux traversés par des filaments connectifs et abondamment pourvus d'amidon, dans les *Populus tremula*, *nigra*, *laurifolia*, *Quercus pedunculata*, *Acer platanoides*, *Æsculus Hippocastanum*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus Padus*, *Betula alba*,

Salix capræa, *fragili-alba*, *acutifolia*, *Phellodendron amurense*.
A cette même époque, dans la tige de ces mêmes plantes, les derniers tubes cribreux formés étaient seuls ouverts, en partie seulement traversés par des filaments connectifs et totalement dépourvus ou faiblement munis d'amidon. La différence entre les tubes cribreux de la tige et ceux de la racine est particulièrement frappante dans le *Vitis vinifera* (cultivé en serre froide à Dorpat). Dans la tige, tous les cribles terminaux sont fermés et dépourvus de filaments connectifs; dans la racine, ils sont tous ouverts et munis de filaments connectifs. La racine du *Vitis amurensis* (cultivé en pleine terre à Dorpat), au contraire, se comporte tout autrement : tous les cribles y sont fermés comme dans la tige. Dans les plantes où les tubes cribreux de la tige se comportent de la même façon en hiver et en été, ceux de la racine ressemblent en hiver à ceux de la tige; il en est ainsi, par exemple, dans les *Ulmus montana*, *Tilia parvifolia*, *Rhamnus cathartica*, *Rosa Gmelini*.

Les faits qui précèdent conduisent à refuser au cal la fonction qu'on lui a attribuée jusqu'ici, de fermer les cribles au moment du repos végétatif. Là, en effet, où l'on n'observe aucun filament connectif, le cal n'a pas pour cela perdu sa conductibilité, aussi longtemps du moins qu'il se montre traversé par les stries dont il a été question plus haut, stries formées d'une substance différente du cal proprement dit. Aussi loin que portent mes observations, il semble que les filaments connectifs ne peuvent reparaître au retour de la végétation, que dans les cribles dont le cal présente des stries pendant le repos végétatif. Chez les Amentacées, que j'ai étudiées avec plus de soin, on trouvait au mois de juin, au voisinage des tubes cribreux récemment formés, des tubes de l'année précédente dont les cribles étaient recouverts de coussinets calleux épais, dépourvus de stries et imperméables. M. Wilhelm signale aussi qu'au réveil de la végétation, à côté de tubes à cribles ouverts, il n'est pas rare d'en rencontrer qui demeurent fermés. La présence des stries permet de comprendre la réapparition des filaments connectifs; si la structure du cal était homogène, sa

perforation par des canaux lisses après sa fermeture complète serait difficile à concevoir. Considérons, en outre, que chez les Gymnospermes, comme chez les Cryptogames vasculaires, les Monocotylédones et beaucoup de Dicotylédones, à aucune époque on ne voit le cal traversé, du moins avec évidence, par des filaments connectifs, mais bien par des stries. Nous arrivons ainsi à cette conclusion que la substance des stries n'est peut-être qu'une modification particulière de la gelée ou un état de transition vers la substance calleuse.

Dans la mesure où le cal s'épaissit, on voit le contenu gélatineux des tubes cribreux diminuer, jusqu'à disparaître complètement; il en est de même des grains d'amidon, qui persistent pourtant plus longtemps. En outre, il semble exister le plus souvent, entre la gelée et l'amidon, une certaine réciprocité : plus un tube cribreux abonde en gelée, plus il est pauvre en amidon, à l'exception des *Vitis* et *Bignonia*. Pendant le repos végétatif, le cordon gélatineux et, à un plus haut degré, les masses de grains d'amidon sont moindres que durant la période d'activité. La chose est particulièrement nette chez les Amentacées; dans les *Populus laurifolia*, *nigra*, *alba*, les tubes cribreux sont, en été, très riches en grains d'amidon relativement gros; en hiver, ils en sont entièrement dépourvus, et, dans le *Populus tremula*, ils n'en contiennent qu'une très petite quantité. Dans le Chêne, les tubes cribreux les derniers formés à l'automne renferment seuls, en hiver, une petite quantité de grains d'amidon que l'iode colore en violet très pâle. De plus, on ne rencontre en hiver aucune trace d'amidon dans les tubes cribreux des *Atragene alpina* et *sibirica*, *Rhamnus cathartica*, *Berberis vulgaris*, *Hippophae rhamnoides*, *Rosa Gmelini*, *Ilex aquifolium*; en été, au contraire, les tubes de l'*Atragene* sont abondamment pourvus d'amidon; j'ignore s'il en est de même pour les autres plantes que je viens de nommer.

Tout ce qui a été dit plus haut s'applique aux tubes cribreux de la tige, excepté dans les passages où il a été expressément question de la racine. Les tubes cribreux de la racine, au

moins dans les plantes ligneuses, se comportent comme ceux de la tige, sous le rapport de la structure et du contenu. Au contraire, ceux des feuilles s'en éloignent en ce que leurs cloisons transverses sont horizontales ou très peu inclinées et ne portent qu'un seul crible, même là où, dans la tige, ces cloisons sont fortement obliques et percées de plusieurs cribles; il en est ainsi, par exemple, dans les *Populus*, *Acer*, *Æsculus*. Dans la feuille des *Sorbus* et *Eriobotrya*, les cloisons sont peu obliques et munies seulement de deux ou trois petits cribles, tandis que dans la tige de ces mêmes plantes elles sont fortement inclinées et, comme les parois longitudinales, toutes couvertes de cribles. Dans le *Magnolia*, les tubes cribreux des feuilles portent aussi quelques cribles sur leurs faces longitudinales. Si incomplètes que soient ces observations, j'ai cru devoir les signaler, pour exciter de nouvelles recherches sur ce sujet.

Il est très intéressant de remarquer que le cal qui se dépose ainsi sur les cribles des feuilles pendant la période végétative n'est pas redissous à l'automne, mais persiste, au contraire, et se retrouve sans changement dans les feuilles jaunies qui gisent sur le sol; on sait, au contraire, que les substances albuminoïdes et les matières de réserve émigrent de la feuille avant sa chute. Pourtant, comme l'a déjà vu M. Briosi, on trouve de petites quantités de grains d'amidon dans les tubes cribreux des feuilles tombées, mais la proportion en est toujours très faible relativement à ce qu'ils en contenaient pendant l'été.

J'ai constaté jusqu'ici la présence d'un cal inaltéré dans les feuilles fraîchement tombées des *Populus tremula* et *nigra*, *Sorbus aucuparia*, *Æsculus Hippocastanum*, *Fraxinus excelsior*, et *Acer platanoides*.

Comme dans les feuilles, le cal des tubes cribreux demeure inaltéré dans les branches aériennes qui meurent à l'automne (*Aconitum*, *Archangelica*, *Paeonia*), tandis que les substances plastiques et nutritives émigrent jusqu'à leurs dernières traces dans les parties vivaces de la plante. Dans les végétaux annuels,

on n'observe aussi, au moment de la maturité des fruits, aucune diminution dans les plaques calleuses. Enfin, dans les parties âgées du liber secondaire des végétaux ligneux, on voit une partie notable de la substance calleuse persister, des années durant, dans les tubes cribreux morts. De tout cela, il résulte la preuve que le cal n'est pas une matière de réserve, comme je l'avais admis naguère avec M. Wilhelm.

MONOCOTYLÉDONES.

De ce qui en a été dit plus haut, on peut déjà conclure que les tubes cribreux des Monocotylédones ressemblent à ceux des Dicotylédones, sous le rapport de la structure et du contenu; ils nous offrent pourtant aussi quelques différences. N'ayant pas suivi le développement de ces tubes, je ne puis pas encore décider si les cellules étroites et longues qui les séparent, et qui sont notamment disposées avec régularité dans les Cypéracées et les Graminées, en dérivent comme les cellules compagnes dans les Dicotylédones. D'après M. de Janczewski, elles sont des cellules filles des tubes cribreux.

Outre les cribles disposés sur les faces transverses, tantôt horizontales, tantôt plus ou moins fortement inclinées, on y observe aussi, sur les faces longitudinales, des plages criblées, parfois en très grand nombre, comme dans le *Cyperus Papyrus* et beaucoup de Palmiers.

Quand elles sont horizontales, les cloisons transverses sont toujours occupées par un seul crible; quand elles sont fortement inclinées, elles en portent un grand nombre, non pas en forme de carré ou de rectangle arrondi, comme chez les Dicotylédones, mais le plus souvent triangulaires ou irrégulièrement polygonaux, comme dans les Fougères, notamment dans le *Pteris aquilina*. Il en est ainsi, en particulier, dans les Smilacées, où les cribles sont séparés les uns des autres par des rubans épaissis de la membrane.

En comparaison des Dicotylédones et des Gymnospermes, la formation du cal se montre ici plus faible, souvent même

très faible. Sur les plages criblées, les coussinets calleux sont relativement plus épais que sur les cribles. Je n'ai jamais aperçu avec évidence une perforation nette du cal par des filaments connectifs ; au contraire, j'ai observé les stries du cal sur les cribles de tous les tubes cribreux en voie de fonctionnement ; sur les petits coussinets des plages criblées, elles ne sont que rarement visibles. Je ne puis décider si les stries de la masse calleuse, signalées et dessinées par M. de Janczewski, sont identiques à celles dont il est ici question.

Je n'ai jamais trouvé, aux extrémités des articles des tubes, ni amas de gelée, ni cordons muqueux, ni grains d'amidon, excepté dans les Scitaminées, où il y en a d'extrêmement petits ; dans la racine d'un *Copernicia* (?), ils sont relativement gros ; dans celle du *Cocos chilensis*, ils ont une dimension moindre. Le contenu des tubes se distingue ici le plus souvent par la présence de nombreuses petites sphères brillantes, colorées en jaune ou en jaune brun par le réactif iodé, fortement adhérentes au sac protoplasmique dans le voisinage des cribles et des plages criblées. Les minces plaques calleuses des cribles sont souvent toutes couvertes de ces sphérules, et il semble alors qu'elles soient traversées par des filaments connectifs renflés en têtes : d'ailleurs, la mise en évidence des filaments connectifs, quand le crible est percé de pores très fins, étant un des problèmes les plus difficiles de l'anatomie microscopique, il est facile de s'y méprendre. Pour le *Phragmites communis* et le *Typha latifolia* (rhizome), M. de Janczewski dit les cribles traversés par des filaments connectifs. Les figures relatives au *Typha* montrent nettement les filaments connectifs ; mais je n'en vois pas dans celles qui ont pour sujet le *Phragmites*. De ces deux plantes, je n'ai étudié que le *Typha* pendant l'été, mais je n'ai pas réussi à y apercevoir avec certitude des filaments connectifs.

C'est chez les Cypéracées, notamment dans le rhizome, qu'on observe le cal le plus épais, tandis que le plus mince se rencontre chez les Orchidées (racines de *Vanda*, *Aerides*, *Vanilla*) et chez les Liliacées arborescentes (*Yucca aloifolia*, *Dra-*

cæna Draco). Outre les plantes citées plus haut, ont été étudiées : pour la tige, les *Smilax excelsa*, *Asparagus dauricus*, *Lilium bulbiferum*, *Veratrum nigrum*, *Cyperus Papyrus*, *Scirpus lacustris*, *Zea Mays*, *Strelitzia augusta*, *Musa superba*, *Colocasia antiquorum*, *Philodendron pertusum*, *Canna indica*; pour le pétiole, le *Latania borbonica*; pour la racine, les *Roxburyhia*, *Latania borbonica*, *Phœnix leonensis* et *sylvestris*, *Astrocarum mexicanum*, *Areca lutescens*, *Copernicia moringæana*, *Cocos chilensis*, *Chamærops excelsa*, *Sabal Blackburnei*, *Phytelephas macrocarpa*, *Carludovica palmata*, *plicata*, *atroviridis*, *Cyclanthus bipartitus*, *Pandanus odoratissimus*.

CRYPTOGAMES VASCULAIRES.

D'après les recherches de M. de Janczewski, les tubes cribreux des Cryptogames vasculaires différeraient de ceux des Phanérogames par leurs contours, la fermeture constante des pores des cribles et l'absence du cal. Seul, le *Pteris aquilina* ferait exception sous ce dernier rapport. Pour moi, je ne trouve de différence tranchée à aucun de ces trois points de vue.

En ce qui concerne le contenu, les petites sphérules brillantes qui se trouvent partout ici en grand nombre existent aussi, on l'a vu, chez les Monocotylédones, quoique avec moins de généralité. Le cal, je l'ai rencontré partout dans les Cryptogames vasculaires, développé de la même manière que chez les Phanérogames, souvent en forme de bâtonnets traversant la membrane du crible; les Marattiacées et les Ophioglossées n'en ont pourtant que de faibles traces. J'en conclus que les pores des cribles sont réellement perforés, tout au moins dans les Cyathéacées, Polypodiacées, Osmondacées, Équisétacées et *Lycopodium*. Faute de temps et aussi de matériaux convenables, mes recherches sur les tubes cribreux des Cryptogames vasculaires n'ont pu encore s'étendre à tous les genres. J'ai commencé par chercher à connaître la structure des cribles et de leur cal, ainsi que les caractères du contenu de ces tubes, dans un certain nombre de représentants de cette classe,

choisis parmi ceux qui diffèrent le plus possible les uns des autres.

D'une façon générale, les tubes cribreux des Cryptogames vasculaires, et en particulier ceux des Prêles, offrent la plus grande ressemblance avec ceux des Monocotylédones.

Dans les *Equisetum arvense et sylvaticum*, les extrémités un peu élargies des articles du tube sont munies de cloisons presque horizontales, portant un seul crible, tandis que les parois longitudinales offrent un grand nombre de petites plages criblées arrondies, dont les coussinets calleux sont relativement très épais. Le cal de la cloison transversale ne prend que rarement la forme d'une plaque continue ; le plus souvent, on distingue seulement des bâtonnets calleux traversant la membrane et aux extrémités desquels se trouvent appliquées autant de sphérules brillantes. Les tubes cribreux les plus externes (protophloème) ont le cal particulièrement développé.

Dans les autres Cryptogames vasculaires étudiées, on n'a pu constater de différence entre cribles et plages criblées. Dans l'*Isoetes*, on n'a jamais observé de ponctuations criblées ; mais certains éléments, dans le rhizome et dans les feuilles, offrent dans leur membrane une substance qui prend par le réactif iodé et par le bleu d'aniline la coloration caractéristique de la matière calleuse. Par leur position, ces éléments correspondent aux tubes cribreux et je les ai déjà, dans un travail antérieur, regardés comme les équivalents de ces tubes.

Dans les Fougères et les Lycopodiacées, les tubes cribreux sont le plus souvent prismatiques et coupés par des cloisons transverses fortement obliques ; ces dernières sont munies de cribles plus nombreux et plus grands que les parois longitudinales. Quand la membrane du tube est relativement épaisse, comme dans les *Pteris aquilina*, *Alsophila australis*, *Lycopodium Chamæcyparissus*, *Marsilia Drummondii*, elle s'amincit brusquement au pourtour des cribles ; si les cribles sont fort rapprochés, la membrane forme alors entre eux une bandelette relativement haute. Dans la membrane commune aux deux cribles, on distingue au moins trois couches, dont la mé-

diane se colore par le réactif iodé, d'abord en jaune, puis en violet brun ; il en a cinq dans le *Marsilia*.

Chez la plupart des Polypodiacées étudiées, la membrane des tubes cribreux est très mince et munie de cribles rares et très petits ; il en est ainsi, par exemple, dans les *Athyrium filix-femina*, *Aspidium filix-mas* et *spinolusum*. La formation du cal est partout relativement faible ; c'est chez l'*Alsophila australis* que je l'ai vue le plus développée ; elle s'y présente sous forme de coussinets très nets. Ailleurs, elle se réduit à des bâtonnets calleux et à un dépôt très mince qui s'étend en forme d'anneau tout autour des extrémités des bâtonnets ; il faut en excepter pourtant les tubes cribreux les premiers formés (protophloème), qui possèdent partout des coussinets calleux, très petits, il est vrai, mais très nets.

Aux extrémités des bâtonnets calleux, on aperçoit d'ordinaire de petites sphérules brillantes, colorées en jaune brun ou en brun sombre par le réactif iodé ; on voit aussi de ces globules adhérer en grand nombre au sac protoplasmique, dans les places où la membrane est dépourvue de ponctuations criblées.

Dans la figure 79, page 189, de l'ouvrage de M. de Bary, les bâtonnets calleux sont dessinés par de petits traits traversant la membrane de la ponctuation, tandis que les petites têtes qui terminent ces traits représentent les petites sphérules brillantes en question. Par l'action du réactif iodé, les bâtonnets calleux se montrent beaucoup plus gros que les stries de cette figure. M. de Janczewski n'a vu de bâtonnets calleux ni chez les Polypodiacées, ni chez aucune autre Cryptogame vasculaire ; je crois pouvoir me l'expliquer en supposant que la dissolution de chlorure de zinc iodé employée par lui était trop concentrée, c'est-à-dire renfermait trop peu d'iode libre.

Après beaucoup de peines inutiles, j'ai réussi à apercevoir aussi des bâtonnets calleux chez les *Lycopodium annotinum* et *Chamæcyparissus*, et cela avec la plus grande netteté, tant sur les coupes longitudinales que sur les sections transversales. Ils sont très serrés dans toute l'étendue des cloisons terminales

obliques. Je suis parvenu aussi à les mettre en évidence par l'emploi du bleu d'aniline.

Parmi les Marattiacées, je n'ai pu jusqu'ici étudier que des fragments de pétiole d'*Angiopteris evecta*, conservés dans l'alcool. Sur les parois longitudinales des larges éléments prismatiques à parois minces, qui occupent la périphérie des faisceaux libéroligneux, on voit de très grandes ponctuations arrondies ou ovales, sur lesquelles je ne suis pas parvenu à distinguer nettement des cribles; cependant, comme elles se colorent en jaune soufre par le réactif iodé, à la manière des jeunes cribles des Conifères, et que çà et là on y aperçoit de petites taches brunes que l'on peut regarder comme calleuses, je ne crois pas me tromper en considérant ces éléments comme des tubes cribreux. Il est nécessaire toutefois de reprendre ces recherches avec des matériaux convenables.

Chez les Ophioglossées (*Botrychium Lunaria* et *rutæfolium*), les tubes cribreux sont entrecoupés, comme dans les Polypodiacées, par des cloisons fortement obliques, qui portent un petit nombre de très petites ponctuations criblées, difficiles à voir, et munies d'un cal extrêmement mince. Les petites sphères brillantes y sont extraordinairement nombreuses, et grâce à elles, on reconnaît facilement les tubes cribreux, même sur les coupes transversales. Les premiers éléments formés du liber (protophloème) sont précisément des tubes cribreux.

CONCLUSIONS.

Résumons brièvement les résultats que nous venons d'exposer au sujet de la structure et du développement des tubes cribreux.

Dans toutes les plantes vasculaires étudiées à ce point de vue, les tubes cribreux offrent une surprenante unité, exprimée surtout par la présence du cal. La ponctuation criblée peut manquer, semble-t-il, dans les *Isoetes* et peut-être aussi chez les Marattiacées; d'autre part, elle n'est pas exclusive aux

tubes cribreux, puisqu'on la rencontre aussi dans le parenchyme du liber secondaire.

Dans un grand nombre de cas, on ne peut décider avec certitude si les ponctuations du crible, simple ou composé de plages criblées, sont réellement perforées. Lorsque le crible est traversé par des bâtonnets calleux ou par des stries calleuses, et surtout par des filaments connectifs, il ne peut rester aucun doute sur sa perforation. La seule présence du cal sur un crible ne suffit pas à en prouver la perforation, car le cal précède certainement la perforation de la membrane; d'autre part, chez les Conifères, les ponctuations criblées qui se développent entre les tubes cribreux et les cellules des rayons médullaires ne sont pourvues de bâtonnets calleux que du côté des tubes; elles demeurent fermées et sans aucune trace de cal du côté des rayons médullaires.

La première apparition du cal, son développement, son accumulation ultérieure, sa disparition finale, tout enfin empêche de voir en lui un produit de transformation de la cellulose. Au contraire, tous les faits observés portent à admettre qu'il se sépare du contenu des tubes cribreux pendant le cours de leur vie spécifique et qu'il se dépose autour des points de communication des articles, c'est-à-dire sur les cribles, simples ou composés. Plus cette communication est abondante et plus longtemps elle dure, plus le cal s'accumule et grossit (tout au moins dans les tubes cribreux des faisceaux ouverts), jusqu'à ce que la destruction de ses stries rende le crible imperméable et mette fin à la fonction du tube cribreux. Aussi longtemps que les stries du cal demeurent apparentes, il est probable que la communication se maintient, ou du moins qu'elle peut se rétablir de nouveau par la formation de filets muqueux (filaments connectifs).

Chez les Gymnospermes et les Cryptogames vasculaires, on n'observe à aucune époque de filaments connectifs traversant les bâtonnets du cal, bien qu'ici il y ait partout une communication certaine entre les articles successifs des tubes cribreux. Je regarde donc comme plus que probable que, partout où il y

a des stries traversant les bâtonnets du cal ou les coussinets calleux, la fonction spécifique des tubes cribreux n'est pas interrompue.

Si l'on considère le grand nombre de plantes où les cribles sont, hiver comme été, traversés par des filets gélatineux, et le grand nombre de celles où, à aucune époque, on n'observe de filaments connectifs, on doit renoncer à l'idée que la fonction du cal est de boucher les pores des cribles pendant le repos végétatif.

Dans les tubes cribreux des faisceaux fermés, surtout dans les organes de longue durée, il se dépose beaucoup moins de cal que dans ceux des faisceaux ouverts, qui s'épaississent à l'aide d'un cambium. Cette différence est en rapport avec une différence dans la nature du contenu et dans la durée de l'activité des tubes cribreux. Tandis que, chez les Gymnospermes et les Dicotylédones, l'activité des tubes cribreux dépasse rarement deux années, chez les Monocotylédones et les Cryptogames vasculaires, elle dure aussi longtemps que l'organe lui-même. La tige d'*Alsophila*, que j'ai pu étudier, comptait au moins vingt ans et cependant, à la base de cette tige, tous les tubes cribreux se montraient encore en pleine activité. Le cal y était, il est vrai, plus épais que dans toutes les autres Fougères examinées, quoique mince en comparaison des Dicotylédones et des Gymnospermes. Pour les Monocotylédones, j'ai étudié une tige de *Yucca aloifolia* d'environ quinze ans et une tige de *Dracæna Draco* d'au moins vingt ans. Dans le *Yucca*, les tubes cribreux de tous les faisceaux libéroligneux, même des plus internes, étaient en activité et avaient leurs cribles recouverts de cal, mais celui-ci n'était pas plus épais dans les tubes les plus âgés que dans les plus jeunes. Dans le *Dracæna*, le cal était très peu abondant et une grande partie des tubes cribreux les plus âgés s'en montraient complètement dépourvus. La plante était d'ailleurs malade depuis un an et en train de mourir.

Le cal n'est pas une substance de réserve, car, chez les Gymnospermes et les Dicotylédones, il persiste assez souvent

sans altération, des années durant, dans les tubes cribreux morts, et on le retrouve sans changement dans les feuilles tombées à l'automne, ainsi que dans les branches aériennes qui meurent en hiver. Sous ce rapport, le cal se comporte comme un produit de sécrétion, d'élimination ; c'est aussi, comme on le sait, à cette manière de voir que conduit l'étude du développement.

Je ne crois pas qu'on puisse alléguer comme une objection sérieuse ce fait, que la substance du cal offre quelquefois une structure très nette, par exemple une stratification dans la Vigne et le Tremble, ou une striation radiale dans le Frêne, ou une disposition rayonnante en forme de sphéro-cristal dans l'*Abies Pichta*.

A quel groupe de combinaisons organiques faut-il rattacher la substance du cal ? C'est ce qu'il est pour le moment impossible de décider. Par la manière dont elle se comporte vis-à-vis des réactifs iodés et du bleu d'aniline, c'est des substances albuminoïdes et notamment de la nucléine que le cal se rapproche le plus. Les hydrates de carbone solides, comme la cellulose et l'amidon, ainsi que les membranes gélifiées, se comportent tout autrement vis-à-vis de ces réactifs.

En ce qui concerne le contenu, tous les tubes cribreux se ressemblent, au moins pour le sac protoplasmique et pour le liquide aqueux. La gelée, qui n'est sans doute qu'un protoplasma dépourvu de granules, n'existe en grande quantité que chez les Dicotylédones ; on n'observe pas de cordons gélatineux chez les Monocotylédones et les Cryptogames vasculaires ; quelques Monocotylédones seulement offrent de petits amas de gelée dans leurs tubes cribreux. Au contraire, ces deux classes de plantes vasculaires se distinguent par la présence abondante, dans leurs tubes cribreux, de sphérules brillantes, plus ou moins grosses, qui sont aussi une matière albuminoïde. On a observé également ces sphérules dans les faisceaux fermés de l'*Hippuris vulgaris*.

Pour ce qui est de l'amidon, s'il manque très rarement dans les tubes cribreux des faisceaux ouverts, il se rencontre, au

contraire, très rarement dans ceux des faisceaux fermés. Partout, le diamètre des grains est plus grand que la largeur des canaux revêtus par le cal, ce qui rend impossible le passage des grains d'un article à l'autre pendant la durée d'activité du tube. La couleur violet rougeâtre, ou rouge brique, que prennent les grains d'amidon par les réactifs iodés, atteste d'ailleurs la présence d'une diastase dans le contenu des tubes cribreux.

INTRODUCTION.

Le présent travail a pour objet l'étude de l'origine des racines adventives chez les Monocotylédones, et des modifications corrélatives de la présence de ces racines dans la morphologie interne de la tige.

Les nombreuses et remarquables recherches publiées en France et à l'étranger, depuis quarante ans, sur l'anatomie des Monocotylédones, ont laissé sans solution précise cette partie de l'histoire des Plantes. L'attention des botanistes, attirée surtout par les relations vasculaires de la tige et des feuilles, le mode de croissance de la tige dans les plantes vasculaires, fut détournée de l'observation des racines adventives et de leur évolution. Aussi, à part le mémoire déjà ancien de M. Trecul et les travaux récents de M. M. Falkenberg et de Bary, nous ne possédons, pour l'étude de ces organes, que des documents incomplets portant sur des faits isolés, documents souvent contradictoires.

La propriété générale que possède la tige, chez les Monocotylédones, de développer normalement des racines adventives destinées à remplacer la racine principale et son système ramifié dont l'existence est éphémère, était cependant connue, et méritait de fixer l'attention des anatomistes.

Je me suis proposé d'apporter quelques lumières dans cette