

# ARCHIVES NÉERLANDAISES

DES

Sciences exactes et naturelles.

---

DE L'INFLUENCE DE LA PRESSION DU LIBER

SUR LA

STRUCTURE DES  
COUCHES LIGNEUSES ANNUELLES,

PAR

HUGO DE VRIES.

---

I.

Introduction.

Le fait que l'épaisseur des couches annuelles dépend de la pression que le liber a exercé sur elles lors de leur formation, est depuis de longues années si généralement connu, qu'il serait superflu de l'appuyer de nombreuses citations, tirées des écrits anciens ou modernes concernant l'accroissement en diamètre de nos arbres <sup>1)</sup>. La diminution qu'éprouve la croissance du bois lorsque le tronc ou les branches ont été entourés d'un cercle de fer, ou lorsque le chèvrefeuille les étroit de ses spires, est un phénomène que tout le monde a journellement l'occasion d'observer. D'un autre côté, on sait que les incisions longitudinales, employées comme moyen de favoriser l'accroissement en épaisseur des tiges et des branches, constituent en arboriculture une pratique courante, qui trouve surtout son application chez les arbres à fruit, et à laquelle on a aussi assez souvent recours pour la

---

<sup>1)</sup> Le résumé le plus complet et le plus précis des phénomènes en question se trouve dans l'ouvrage de M. Nördlinger, *Der Holzring als Grundlage des Baumkörpers*, 1871.



greffe, lorsque, sans cette précaution, la greffe et le sujet se développeraient inégalement dans le sens transversal. <sup>1)</sup> Il serait facile d'ajouter une foule d'autres observations conduisant à la même conséquence <sup>2)</sup>).

Cette relation entre l'épaisseur des cercles annuels et la pression du liber est tout ce que l'on sait jusqu'ici, d'une manière certaine, au sujet de l'influence que cette pression exerce sur la croissance du bois. La possibilité que cette influence s'étende encore à d'autres propriétés que l'épaisseur est restée pour ainsi dire inaperçue. Dans toute la littérature, d'ailleurs si riche, dont l'accroissement en diamètre de nos arbres et la structure du bois forment le sujet, je ne connais qu'une couple de conjectures ayant trait à ce côté de la question.

L'une d'elles a été émise par M. Kraus, qui, après avoir parlé des expériences de Knight, rappelées dans la note ci-dessous, et des effets de la pression du liber sur le mouvement des matières nutritives dans la tige, dit: „Le bois et ses éléments ont-ils aussi quelque rapport de dépendance avec la pression du liber? C'est ce que pour le moment il est impossible de décider, bien que, d'après les expériences sus-mentionnées de Knight, relatives à l'influence de la pression du liber sur l'épaisseur des couches annuelles, la chose paraisse probable” <sup>3)</sup>).

La seconde conjecture, beaucoup plus importante que cet énoncé très général, est celle de M. Sachs, suivant laquelle la différence de structure entre le bois du printemps et celui de l'automne doit être attribuée à la pression, successivement croissante durant la phase d'activité, du liber sur le cambium et sur le bois. Cette opinion a été exprimée pour la première fois par

<sup>1)</sup> Voir, entre autres, P. Sorauer, *Handbuch der Pflanzenkrankheiten*, Berlin, 1874, pag. 156, 157.

<sup>2)</sup> Je rappellerai, par exemple, les expériences de Knight (*Philos. Transact.*, 1803) relatives à l'influence du vent sur l'accroissement en épaisseur des arbres, et l'explication de ce phénomène donnée par Kraus (*Bot. Ztg.*, 1867 p. 132) et par Sachs (*Lehrbuch der Botanik*, 4e éd., pag. 785).

<sup>3)</sup> Kraus, *Bot. Ztg.*, 1867, pag. 142.

M. Sachs dans la 1<sup>ère</sup> édition de son *Lehrbuch der Botanik* (1868, p. 409.) D'après les conseils de ce savant, j'ai fait à ce sujet, dans l'été de 1871, quelques expériences, qui ont confirmé en général les vues que je viens de citer <sup>1)</sup>).

Ces expériences ont fait naître chez moi la présomption que la règle en question n'était qu'un cas particulier d'une règle plus générale, concernant l'influence de la pression du liber sur la structure des couches concentriques annuelles. Pour vérifier cette idée, j'ai exécuté, pendant les années 1872 à 1874, une longue série d'expériences dans le jardin botanique d'Amsterdam. Elles ont eu lieu d'après deux méthodes différentes: 1<sup>o</sup> la diminution artificielle de la pression du liber, au moyen d'incisions longitudinales, et 2<sup>o</sup> l'augmentation artificielle de la pression du liber, au moyen de l'enveloppement avec une corde mince. Outre la confirmation constante de la règle que l'épaisseur des couches annuelles dépend de la pression libérienne, mes expériences ont fourni la preuve d'une influence de cette pression sur la structure anatomique du bois. Cette influence est la même chez toutes les espèces ligneuses qui ont été soumises à l'examen; on peut la formuler dans les deux propositions suivantes:

1<sup>o</sup>. *Le diamètre radial des fibres ligneuses dépend de la pression exercée par le liber durant leur formation; plus cette pression est grande, plus est petit le diamètre radial.*

2<sup>o</sup>. *Le nombre et la largeur des vaisseaux qui existent dans une couche ligneuse dépendent de la pression exercée par le liber durant la formation de la couche; plus cette pression est grande plus sont petits le nombre et le diamètre des vaisseaux.*

Mon travail ne vise que les végétaux dicotylés; toutefois, la première des deux propositions énoncées s'applique aussi aux conifères.

La description des expériences dont je déduis ces propositions

---

<sup>1)</sup> De Vries, *Ueber den Einfluss des Druckes auf die Ausbildung des Herbstholzes*, dans *Flora*, 1872, No. 16, pag. 241; voir aussi Sachs, *Lehrbuch der Botanik*, 4e éd., 1874, pag. 784.

trouvera place dans le troisième chapitre du présent Mémoire <sup>1</sup>). Appuyé sur ces résultats empiriques, sur la connaissance des effets de la pression par rapport à l'épaisseur des couches annuelles, et sur celle de différents autres faits, qui seront communiqués plus loin, j'essaierai ensuite de dégager quelques-unes des lois qui régissent l'accroissement du bois; la lecture du quatrième chapitre permettra de juger jusqu'à quel point ce but a été atteint.

Pour la partie anatomique de mes recherches, les Mémoires de M. Sanio <sup>2</sup>) m'ont été d'un grand secours. Grâce en effet à cet éminent observateur, la connaissance de la structure du bois est parvenue dans ces dernières années à un tel degré de clarté et de perfection, que l'étude physiologique de l'accroissement en épaisseur peut s'y appuyer avec confiance, comme sur une base large et solide. Pénétré de la haute valeur de ces travaux, je me conformerai à la nomenclature introduite par M. Sanio. Seulement, pour la facilité, je conserverai l'ancienne expression de *cellules* ou *fibres ligneuses*, qui comprend les deux formes distinguées par lui sous le nom de fibres libriformiennes et de trachéides fibreuses. Le fait que dans mes recherches ces deux formes ont toujours paru obéir aux mêmes lois, peut justifier ce léger écart. En outre, je réunirai les cellules-vaisseaux étroites et les trachéides vasculaires sous le premier de ces deux noms. Leur distinction n'est pas possible sur une coupe transversale, et sur une coupe longitudinale elle ne saurait être étendue à toutes les cellules; elle ne se laissait donc pas employer dans mes recherches. Cela ne constitue d'ailleurs aucun défaut réel, comme on peut s'en convaincre par les travaux mêmes de M. Sanio. Il en résulte, en effet, que ces deux formes sont soumises à des lois identiques, ou presque identiques, puisque la seconde n'est qu'une modifi-

<sup>1</sup>) Une communication préliminaire à ce sujet a déjà été donnée dans le *Maandblad voor Natuurwetenschappen*, 1873—74, pag. 97—102.

<sup>2</sup>) Sanio, *Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers*, dans *Bot. Ztg.*, 1863, pag. 85; *Vergleichende Untersuchungen über die Zusammensetzung des Holzkörpers*, dans *Bot. Ztg.* 1863, pag. 357, et plusieurs autres Mémoires, de date plus ancienne ou plus récente.

cation imperforée de la première, ne se trouve jamais que dans son voisinage, et par conséquent en dépend entièrement quant à sa dispersion <sup>1)</sup>).

Je suis heureux d'offrir ici un témoignage public de ma reconnaissance à Monsieur le professeur C. A. J. A. Oudemans, d'Amsterdam, pour la bienveillance avec laquelle il a mis à ma disposition, durant mon séjour en cette ville, les plantes ligneuses du jardin botanique, et m'a autorisé à en faire tel usage que l'exigeaient mes recherches.

---

## II.

La pression du liber et les causes de sa variabilité.

Au sujet de la tension que subit le liber de la part du corps ligneux auquel il sert d'enveloppe, nous possédons un travail circonstancié de M. Kraus <sup>2)</sup>, où est démontrée l'existence de cette tension, tant dans les différentes parties de l'arbre que pendant les différentes phases de la période de croissance de la tige et des branches, et où la dépendance, qui lie l'intensité de cette tension à différentes causes, est étudiée avec soin. Il va sans dire que la pression, que le liber exerce à son tour sur le bois, est en relation intime avec cette tension, et, en général, augmente ou diminue avec elle. M. Kraus ne donne pas de valeurs absolues pour la grandeur de cette tension, mais, d'après tout ce qu'il a vu, il se croit pleinement autorisé à affirmer que les forces mises ici en jeu sont réellement énormes <sup>3)</sup>.

L'expérience fondamentale qui sert à M. Kraus à rendre palpable et mesurable la tension entre le bois et le liber, ou, plus généralement, la tension transversale entre des éléments de tissus,

---

<sup>1)</sup> Sanio, *Bot. Ztg.*, 1863, pag. 117.

<sup>2)</sup> G. Kraus, *Die Gewebespannung des Stammes und ihre Folgen*, dans *Bot. Ztg.*, 1867, pag. 105.

<sup>3)</sup> Kraus, *l.c.*, pag. 141.

est la suivante. On coupe sur une tige ou sur une branche une rondelle transversale, dont on enlève le liber sous forme d'anneau complet, mais fendu d'un côté. Si alors on remet l'anneau de liber à sa place primitive, autour du disque central, on trouve qu'il est devenu trop petit pour entourer celui-ci en entier, ses deux extrémités restant à une certaine distance l'une de l'autre. La grandeur de cette distance dépend naturellement de la rétraction que le liber a éprouvée au moment de son isolement, et elle peut par conséquent servir de mesure pour la tension dans l'état d'intégrité des parties.

Une manière encore plus simple de mettre en évidence la tension transversale consiste à pratiquer sur des branches, à l'époque de la croissance active du bois, des incisions longitudinales. Par suite de la contraction tangentielle, on voit ces incisions s'élargir immédiatement en plaies béantes.

L'intensité de cette tension transversale, selon M. Kraus, n'est maintenant la même ni dans tous les temps ni pour toutes les parties d'un arbre, mais elle éprouve des variations qui dépendent de causes diverses. Quant à la distribution locale de la tension sur la tige et les branches de l'arbre, on peut poser en général la règle suivante: L'intensité de la tension, à partir de l'extrémité des derniers rameaux, augmente successivement à mesure qu'on descend, atteint un maximum dans les branches de plusieurs années, et présente ensuite des alternatives diverses dans les branches et dans la partie coronale du tronc. Immédiatement au-dessous de la couronne, on trouve dans le tronc de nouveau un maximum, partir duquel l'intensité décroît d'une manière continue vers le bas. La cause de ces différences est cherchée par M. Kraus en partie dans l'accroissement annuel du bois, en partie dans la production du liège et dans le fendillement ou la desquamation de l'écorce. Dès la seconde année de leur existence, les rameaux de la plupart des arbres ont perdu leur épiderme, à la place duquel s'est substitué du périoderme; cette couche subéreuse est bien remplacée continuellement par des couches nouvelles, mais la faible croissance du parenchyme libérien du-

rant les premières années ne permet pas au liber, considéré dans son ensemble, de s'élargir beaucoup. D'un autre côté, l'accroissement du bois, précisément pendant ces premières années de l'existence des branches, est très considérable, et ces deux causes réunies déterminent par conséquent une augmentation notable de la tension du liber. Il suit de là un fait important pour la méthode de mes expériences, à savoir, que de jeunes branches, prises dans les années où l'accroissement en épaisseur est particulièrement actif, conviennent très bien pour l'étude expérimentale de l'influence exercée par la pression libérienne. La diminution de la tension transversale dans le tronc, du haut vers le bas, est due, suivant M. Kraus, à la production de fentes longitudinales dans l'écorce, comme chez le chêne, l'orme, le bouleau, ou à la chute de plaques d'écorce, comme chez le platane. Ces deux causes, en effet, élargissent le liber. Par suite, le maximum de la tension libérienne correspond à peu près à la limite de ces productions corticales, ce qui nous donne le moyen de déterminer approximativement, à la simple vue, le siège de cette tension maximum.

L'intensité de la tension présente ensuite une période diurne et une période annuelle. La connaissance de la première n'a aucune importance pour le but que nous nous proposons; la période annuelle, suivant M. Kraus, dépend de la température, avec laquelle s'élève ou s'abaisse la tension. La question de savoir si cette période annuelle est encore soumise à d'autres influences n'a pas été étudiée par M. Kraus. Pourtant il y a plusieurs choses dont il faut ici tenir compte, et, en premier lieu, la croissance annuelle du bois, qui doit occasionner une augmentation successive de la pression libérienne durant la période d'accroissement. Cette augmentation est, sinon la cause unique, au moins une des causes principales de l'arrêt que subit l'accroissement transversal en été ou en automne. Je déduis cette conclusion du fait que, en supprimant par des moyens artificiels, après la production normale du bois, la pression du liber, je suis parvenu, chez beaucoup d'espèces ligneuses, à faire développer de nouveau bois. Il est vrai que celui-ci ne formait généralement qu'une couche très

mince, mais le fait n'en est pas moins suffisant pour établir la conclusion ci-dessus énoncée. Les couches ligneuses assez épaisses qu'on obtient en fendant longitudinalement l'écorce *pendant* la formation du bois autumnal, couches qui sont représentées sur plusieurs de mes figures (fig. 4, 6, 7 et 9, entre *bb* et *cc.*), fournissent un autre argument en faveur de cette conclusion.

En second lieu, les anciennes fentes du liber s'agrandissent et il s'en forme de nouvelles, d'après M. Sachs <sup>1)</sup>, surtout au printemps, peu avant le début de la formation du nouveau bois. Une des causes de ce phénomène est la dilatation du corps ligneux, qui à cette époque peut absorber beaucoup d'eau puisée dans le sol, tandis qu'il ne perd que de faibles quantités d'humidité par l'évaporation, les feuilles n'étant pas encore développées. Par suite de cette dilatation du corps ligneux, le liber subit des déchirures et est élargi d'une façon définitive; lorsque ensuite, après le déploiement des feuilles, le corps ligneux se contracte de nouveau par la perte d'humidité <sup>2)</sup>, la tension entre le bois et le liber doit nécessairement diminuer beaucoup. De là, par conséquent, une pression faible du liber au moment de la formation du bois printanier. L'influence des alternatives d'humidité et de sécheresse, de même que des alternatives de hautes et de basses températures, sur la production des fentes dans le liber, est d'ailleurs un fait général et bien connu des arboriculteurs <sup>3)</sup>; aussi, lorsque des arbres croissent par exemple dans un sol imbibé d'eau, et que par conséquent, en l'absence de grandes variations d'humidité et de sécheresse, ils ne peuvent pas s'affranchir eux-mêmes de la pression trop forte du liber, on leur vient fréquemment en aide, dans les pépinières, en faisant des incisions longitudinales au liber, ou en y coupant de longues lanières <sup>4)</sup>.

En considérant l'ensemble de ces diverses causes, nous pouvons

<sup>1)</sup> Sachs, *Lehrbuch der Botanik*, 1e éd., 1868, pag. 409.

<sup>2)</sup> Voir, sur les variations annuelles de l'humidité du corps ligneux des arbres: Hartig, dans *Bot. Zeitg.*, 1858, p. 334, et Nördlinger, *Forstbotanik*, p. 90.

<sup>3)</sup> Sorauer, *Handbuch der Pflanzenkrankheiten*. Berlin, 1874, pag. 156.

<sup>4)</sup> *Ibid.*



en déduire le tableau suivant des variations de la pression libérienne dans le cours de l'année.

L'augmentation d'épaisseur que le tronc et les branches de nos arbres éprouvent durant leur croissance distend continuellement, dans le sens tangentiel, la couche de liber qui les entoure. Le liber étant élastique, il oppose une résistance à cette distension et exerce ainsi une pression sur le cambium. Lorsque la limite d'élasticité du liber est dépassée, par suite d'une tension très forte, agissant de concert avec des variations considérables dans le degré d'humidité et de température de l'arbre et surtout des couches libériennes extérieures, cette tension disparaît partiellement, en même temps qu'il se forme des déchirures longitudinales dans les couches externes du liber. La production de ces déchirures et l'agrandissement de celles qui existaient déjà s'observent surtout au premier printemps, époque où les tiges absorbent déjà beaucoup d'eau, mais où, les bourgeons étant encore fermés, cette eau n'est pas éliminée de nouveau par les feuilles. Ainsi imbibés d'eau, le bois et les couches internes du liber se dilatent fortement, ce qui entraîne la rupture des couches externes. Bientôt les feuilles s'épanouissent et commencent à évaporer activement. Elles débarrassent ainsi le tronc et les branches de l'eau surabondante qui les pénétrait, d'où résulte une réduction de la cause productrice des fentes du liber, et par conséquent aussi un décroissement considérable de la pression du liber. C'est dans ces conditions de pression libérienne faible que commence la formation du bois. Ensuite, à raison de l'augmentation successive d'épaisseur de cette jeune couche ligneuse, la distension tangentielle des couches du liber, et conséquemment leur pression, doivent de nouveau croître de plus en plus dans le courant de l'été. Le dessèchement de la couche corticale, à cette époque, doit agir dans le même sens. Finalement, la pression exercée sur le cambium deviendra si forte, que toute croissance ultérieure sera impossible; pour les branches minces de nos arbres, cela arrive ordinairement en juillet ou en août.

Nous pouvons donc conclure ainsi:

*Au printemps, au moment où le jeune bois commence à se former, la pression du liber est faible; pendant l'été elle augmente progressivement, et elle finit par devenir assez grande pour empêcher, dans les conditions alors existantes, tout nouvel accroissement du bois.*

La première partie de cette proposition a déjà été énoncée par M. Sachs <sup>1)</sup>, qui s'en est servi pour expliquer la différence entre le bois printanier et le bois autumnal (Voir pag. 2). Il serait à souhaiter que les diverses considérations sur lesquelles cette proposition repose fussent soumises à une vérification expérimentale approfondie, afin que, élevée au rang de règle empirique démontrée, elle puisse être employée en parfaite sécurité dans les recherches ultérieures.

### III.

#### Description des expériences.

Le Série.

#### Formation du bois sous pression libérienne artificiellement réduite.

(Pl. I—V, fig. 1—10).

*Méthode expérimentale.* Pour ces expériences j'ai pris de jeunes branches (âgées de 2 — 6 ans), auxquelles je faisais, à l'époque de la croissance du bois, des incisions longitudinales. Un petit nombre de pareilles incisions, pratiquées à la même hauteur et de différents côtés, suffisaient pour amoindrir notablement, sur toute la circonférence, la pression du liber. Les jeunes branches restaient sur l'arbre jusque après la chute des feuilles; elles étaient alors coupées, et conservées en vue de l'examen microscopique.

Les incisions longitudinales formaient ordinairement des plaies béantes; leur influence sur la pression du liber et la manière dont elles se fermaient méritent d'être indiquées en premier lieu. En général, mes incisions avaient une longueur de quelques cen-

<sup>1)</sup> Sachs, *Lehrb. d. Bot.*, p. 784.

timètres, et elles étaient au nombre de 4 — 6, distribuées, à la même hauteur, sur les différents côtés de la branche. Je les plaçais à des distances différentes l'une de l'autre, afin de faire varier le degré de diminution de la pression. Plus, en effet, deux plaies seront rapprochées, plus sera complète, dans l'intervalle qui les sépare, l'abolition de la pression. Deux plaies juxtaposées recevaient une longueur double de celle des autres; une coupe transversale de la branche, faite à la hauteur où se trouvaient seulement ces deux plaies, permettait alors de comparer les résultats d'une diminution très forte et d'une diminution très faible de la pression; ces deux extrêmes étaient en outre liés entre eux par un passage insensible. Presque toujours les plaies pénétraient à travers le cambium jusque dans le bois; mais, là même où cela n'avait pas eu lieu, la diminution de la pression était encore suffisante pour produire, à un degré moindre bien entendu, les effets qui seront décrits ci-dessous.

Les plaies ainsi faites guérissent bientôt, et de la manière la plus complète lorsque l'air ambiant est humide. Dans ce cas, la fente du liber se remplit d'un tissu cicatriciel, à la formation duquel prennent part toutes les cellules vivantes du pourtour de la plaie. Dans les couches extérieures de ce tissu cicatriciel apparaît bientôt une petite couche subéreuse, qui s'unit par les bords avec le périoderme, et ferme ainsi la fente. Dans les couches profondes du callus se forme du cambium, qui se rattache également de tous les côtés au cambium normal. A l'origine, il est composé de petites cellules à section tangentielle carrée, de sorte qu'il fournit alors un tissu ligneux à cellules courtes; mais, peu à peu, ces cellules s'allongent, et elles finissent par atteindre de nouveau la longueur normale. Aux deux côtés de l'incision, il n'est pas rare non plus que le cambium éprouve une influence nuisible, par suite de laquelle ses cellules se divisent transversalement et engendrent par conséquent aussi du bois à petites cellules. Je fais remarquer que ce bois à petites cellules, produit d'un cambium anormal, a été laissé entièrement de côté dans les recherches mentionnées ci-dessous, attendu qu'il ne peut jeter

aucun jour sur les questions qui nous intéressent dans ce mémoire<sup>1)</sup>.

Dès que le tissu cicatriciel, grâce à la formation d'une petite couche de liège, accompagnée du rejet des cellules externes, s'est isolé de l'atmosphère ambiante, et que ce périderme traumatique s'est soudé de toutes parts au périderme ancien, il doit arriver, si l'accroissement en épaisseur continue, que la tension du liber et sa pression sur le cambium augmentent de nouveau peu à peu. Sans doute, en enlevant le tissu cicatriciel, ou simplement en ravivant la plaie par une incision nouvelle, on pourrait maintenir la pression à une valeur constamment très faible; mais l'expérience m'a appris que cela était tout à fait superflu pour le but que je me proposais, de sorte que je n'ai pas eu recours à ce moyen.

Les jeunes branches soumises à mes expériences étaient presque toujours laissées en place sur l'arbre jusqu'à ce que les feuilles fussent tombées, par conséquent jusqu'à ce que les principaux actes physiologiques eussent pris fin, ou du moins eussent beaucoup perdu de leur intensité. Après cela, ces branches étaient étudiées au microscope. Un point essentiel, dans cet examen, était de pouvoir déterminer, avec une entière certitude, la limite entre le bois qui avait été formé avant l'instant de la lésion et celui qui avait pris naissance après le début de l'expérience, conséquemment sous la pression libérienne réduite. Or, cela était toujours très facile. En premier lieu, comme on le verra plus loin, la différence de structure entre le bois normal et le bois traumatique est si frappante, que, dans toute série radiale de cellules, on peut discerner la dernière de celles qui, avant l'opération, étaient déjà assez développées pour n'en plus ressentir l'effet; la cellule suivante, du côté extérieur, montre presque toujours dans sa plénitude l'influence de la réduction de la pression du liber. En second lieu, les plaies elles-mêmes fournissent l'indication désirée. La partie du tissu cicatriciel qui est située au côté interne du cambium de nouvelle formation se lignifie, et est plus tard facile à reconnaître sur les coupes, à ses cellules irrégulièrement polyé-

<sup>1)</sup> J'ai donné des renseignements à ce sujet dans le *Maandblad voor Natuurwetenschappen*, VI, 25 déc. 1875, p. 53.

driques. Elle est ordinairement séparée du bois plus ancien par une ligne tangentielle bien tranchée. Souvent aussi le bois n'a pris aucune part à la production du cal; dans ce cas, il existe entre les deux tissus une fente, dont les bords sont ordinairement colorés en brun. Si l'on suppose cette fente prolongée concentriquement aux cercles annuels, la ligne qui en résulte tracera la démarcation entre le bois formé avant la lésion et celui formé après.

Lorsque, au moment où les incisions ont eu lieu, les deux lèvres de la plaie se sont fortement écartées, ce fait est aussi encore très reconnaissable à ses suites sur les sections transversales de la branche coupée en hiver. Dans ce cas, en effet, les rayons médullaires présentent, de part et d'autre de la plaie, à la limite entre le bois formé avant et après l'incision, une inflexion à angle obtus, angle dont le sommet est tourné vers la plaie; les rayons s'éloignent en quelque sorte de la plaie. Ce phénomène trouve évidemment son explication dans le déplacement des lèvres de la plaie, dû à la contraction tangentielle du liber. Là où cette inflexion existe, elle offre un caractère commode pour trouver rapidement la limite qu'on désire étudier.

L'obturation des plaies et la marche générale de l'expérience sont beaucoup moins belles lorsque l'air ambiant est si sec que la production du tissu cicatriciel n'a pas lieu, mais qu'à l'intérieur du liber existant, de part et d'autre de la plaie, il se forme une couche de liège. Cette couche touche alors d'un côté au périderme, de l'autre au bois. Dans le bois lui-même il ne peut pas se former de liège; il reste donc à nu et exposé à l'influence de l'air, qui ne tarde pas à le colorer en brun. Protégé par les petites couches de liège qui ont pris naissance, le cambium continue son travail, en croissant avec le plus d'activité aux bords de l'incision, de sorte que bientôt il pénètre de tous les côtés, sous forme de bourrelet, dans la fente de la plaie, qu'il finit par boucher. Dans la suite du développement, les deux couches de liège, qui maintenant se touchent sur une ligne radiale au milieu de l'espace précédemment béant, sont déchirées, et leurs bords se soudent l'un à l'autre; ensuite, après que le tissu libérien a aussi été comprimé et déchiré

peu à peu, les deux couches de cambium arrivent à leur tour en contact, et la fermeture de la plaie est alors complète. Quelquefois, ce résultat était déjà atteint dans le courant de l'été; d'autres fois, au moment où je coupais les branches, en hiver, les deux couches de liège ne se touchaient pas encore et la plaie était par conséquent encore ouverte. Lors de la dilacération du liège et du liber, qui doit nécessairement précéder la soudure du cambium, une partie de ces tissus reste au côté interne du nouveau cambium, et se trouve ainsi plus tard entièrement incluse dans le bois. Elle indique alors la limite entre le bois formé avant et après l'incision. Ici également, cette limite est souvent rendue encore plus apparente par une inflexion des rayons médullaires.

Les incisions longitudinales, pratiquées pour ces expériences, doivent être exactement parallèles à l'axe de la branche, et, de préférence, dirigées de manière que leur plan, prolongé, passe par cet axe. Les incisions obliques doivent être évitées. Celles-ci, en effet, peuvent être regardées comme des combinaisons d'incisions purement longitudinales avec des incisions transversales. En même temps que l'action des premières, on voit alors aussi se manifester dans les résultats l'action des secondes. Cette influence se traduit ordinairement par une petite couche de bois à structure anormale, qui s'étend, latéralement à la plaie, à peu près aussi loin que la projection de l'incision oblique sur un plan perpendiculaire à l'axe de la branche. Cette petite couche de bois est dépourvue de fibres ligneuses, aussi bien chez les espèces à libri-forme que chez celles à trachéides fibreuses. Elle se compose seulement de parenchyme ligneux et de vaisseaux; ces derniers sont étroits, et montrent ordinairement un contour quadrangulaire sur la section transversale. J'ai fait une étude détaillée de ce tissu, qui est très intéressant sous beaucoup de rapports. Les résultats de ces observations seront publiés dans le journal *Flora* (1876). <sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Une note préliminaire sur ce sujet se trouve dans le *Maandblad voor Natuurwetenschappen*, VI, 1875—1876, p. 53.

*Description des résultats obtenus avec le Corylus Avellana.*

Le bois normal du *Corylus Avellana* est composé de fibres libriformiennes, de parenchyme ligneux, de vaisseaux et de trachéides vasiformes.

Le libriforme constitue la base du tissu, dans laquelle sont distribuées de nombreuses fibres de parenchyme ligneux, en séries tangentielles. Les fibres du libriforme sont ordinairement placées en séries distinctement radiales, d'où l'on peut conclure, d'après les recherches de M. Sanio <sup>1)</sup>, qu'elles dérivent des cellules du cambium sans allongement notable. La disposition radiale n'est pourtant pas tout à fait rigoureuse; en quelques endroits on remarque même, sur la coupe transversale, un arrangement irrégulier des fibres. Un manque total d'accroissement en longueur ne saurait donc être attribué à ces cellules. Les vaisseaux sont rarement disséminés; le plus souvent ils sont réunis en groupes, qui sont beaucoup plus longs dans le sens radial que dans le sens tangentiel, et qui, dans les différentes couches annuelles, sont situés sur les mêmes rayons de la section transversale. Il y a deux espèces de vaisseaux: 1<sup>o</sup> des vaisseaux larges, ronds ou carrés sur la section transversale, et dont la largeur diminue peu à peu dans chaque couche annuelle, de dedans en dehors; 2<sup>o</sup> des vaisseaux étroits, à coupe transversale rectangulaire, et paraissant par conséquent aplatis, qui se trouvent seulement, et à l'exclusion des autres, dans le bois autumnal. Ces derniers sont peu nombreux, attendu que le bois autumnal ne constitue ordinairement qu'une couche mince, de quelques cellules d'épaisseur. Sous le rapport de la forme, ces vaisseaux étroits ressemblent tout à fait aux trachéides vasiformes; celles-ci n'en diffèrent que par l'absence des perforations. Sur une coupe transversale, il est impossible de distinguer ces deux éléments l'un de l'autre.

Les figures 1 (*aabb*) et 4 (*aa bb*) donnent un aperçu de la structure normale du bois de cette plante, vu sur une coupe transversale.

<sup>1)</sup> Sanio, *Bot. Ztg.*, 1863, p. 107.

Parmi les nombreuses expériences que j'ai faites sur cette espèce, en différentes années, au point de vue de l'influence d'une diminution artificielle de la pression du liber, j'en choisis trois, que je ferai connaître ici avec quelques détails. Les incisions pour ces expériences furent pratiquées en juin et en août 1872 et en mai 1873. Les branches furent coupées en novembre 1872 et 1873.

Les incisions de mai 1873 (fig. 1.) furent faites lorsqu'il s'était déjà formé une couche de bois assez épaisse. Ce bois printanier se composait de larges fibres ligneuses, entre lesquelles se voyaient des vaisseaux épars; en quelques endroits seulement, les vaisseaux avaient commencé à se réunir en groupes plus ou moins grands; ce groupement, en effet, est ordinairement mieux accusé dans les parties externes que dans les parties internes des couches annuelles épaisses. Bien que les fibres ligneuses du bois normal soient passablement larges, il est pourtant manifeste que, dans le tissu né sous l'influence de la pression libérienne diminuée, le diamètre radial des fibres est plus grand que celui des dernières fibres formées avant l'expérience; c'est ce que montre clairement la fig. 1, aux deux côtés de la ligne *b. b.*, qui marque la séparation entre le bois développé avant et après l'incision. Ce qui frappe encore beaucoup plus que cet élargissement des fibres, c'est l'augmentation considérable du nombre des vaisseaux. En général, ces vaisseaux du bois anormal montrent un contour elliptique, parce qu'eux aussi ont crû fortement dans le sens radial. Toutefois, l'élargissement dans le sens tangentiel ne manque pas non plus, chez beaucoup d'entre eux. Sur l'abondance du parenchyme ligneux, la diminution de la pression n'exerce pas d'influence sensible; la partie représentée fig. 1 montre ce parenchyme plus répandu dans le bois traumatique que dans le bois normal, mais les parties voisines de la même préparation m'ont offert tout le contraire. En ce qui concerne les rayons médullaires, la figure citée nous apprend que, dans leurs cellules aussi, le diamètre radial croît par la diminution de la pression.

Etudié sur des coupes longitudinales, le bois anormal en question a montré que ses éléments possédaient une structure tout à fait



normale; en particulier, la longueur des cellules vasculaires et des fibres ne différait pas de celle qu'on observe dans le bois ordinaire. Il semble donc inutile de décrire minutieusement sa structure telle qu'elle se présente sur des coupes soit radiales soit tangentielles.

Les figures 2 et 3 se rapportent aux expériences entreprises en juin 1872. Quant à la période où se trouvait la croissance du bois au moment de la lésion, l'examen microscopique a appris, comme on le reconnaît aussi sur les figures, que la formation du bois autumnal n'avait pas encore commencé. Les figures montrent, l'une et l'autre, un élargissement radial des fibres libri-formiennes au côté externe de la ligne *b. b.*, qui marque ici encore la limite entre le bois traumatique et le bois normal. Toutes deux montrent aussi une augmentation brusque du nombre des vaisseaux, qui, dans la fig. 2, forment un anneau dans un secteur de la coupe où, à part cela, on ne trouve pas de vaisseaux, si ce n'est au commencement de chaque couche annuelle. Dans la fig. 3, la multiplication des vaisseaux est beaucoup plus grande et ils sont plus réunis en groupes. Dans chacune de ces figures, le bois traumatique est dessiné jusqu'au cambium (*cc*); on voit ainsi comment la largeur des fibres et le nombre des vaisseaux diminuent successivement vers l'extérieur et finissent par devenir très petits dans le bois autumnal. C'est là évidemment un effet de la cicatrisation de la plaie et de l'augmentation consécutive de la pression du liber.

Les sections longitudinales ont fait voir, comme dans le cas précédent, que la structure et la longueur des cellules individuelles étaient tout à fait normales dans le bois traumatique. Pour la longueur des fibres, cela peut déjà être déduit, jusqu'à un certain point, des sections transversales, vu que la disposition de ces fibres en séries radiales, assez imparfaite d'ailleurs, s'observe au même degré avant et après le début de l'expérience.

Les incisions faites au mois d'août 1872 atteignirent le cambium à un moment où la formation du bois autumnal avait déjà distinctement commencé. Le bois traumatique est ici de nouveau composé d'éléments élargis dans le sens radial, caractère par

lequel il tranche nettement sur le bois normal. La ligne de démarcation (*b. b.* fig. 4) ressemble tout à fait à celles qui séparent les couches annuelles; toutefois, on peut ordinairement l'en distinguer dans les rayons médullaires. A la limite d'une couche annuelle, en effet, les cellules des rayons médullaires sont constamment fermées par des cloisons tangentielles, ce qui, ici, n'est pas toujours le cas. Dans le rayon médullaire représenté fig. 4 *m*, une cellule *a*, par exemple, son origine dans le bois autumnal normal, mais ne se termine que dans le bois traumatique <sup>1)</sup>. Sur la plupart des points, ce bois commence par être plus riche en vaisseaux que le bois normal qui le précède; mais, la pression libérienne croissant, il perd bientôt ce caractère. Cette influence, exercée sur les vaisseaux par la diminution artificielle de la pression, n'est toutefois pas visible dans la partie que représente notre figure. Dans le bois autumnal, on voit, fig. 4, les fibres libriformiennes aplaties, ainsi que les éléments vasculaires étroits, vaisseaux et trachéides vasculaires, également aplaties dans le sens tangentiel. Dans le bois traumatique, comme il a déjà été dit, le libriforme est à larges cellules, mais quant au groupe vasculaire, au lieu des vaisseaux et trachéides étroits, on y trouve de nouveau des vaisseaux larges et plus ou moins arrondis. La diminution artificielle de la pression empêche donc la formation des deux éléments susdits, qui, dans les conditions ordinaires, n'apparaissent également que dans le bois autumnal, c'est-à-dire, sous une pression libérienne très forte. Vers le dehors, le nouveau bois devient de plus en plus à cellules étroites et pauvre en vaisseaux, et il se termine par une zone de bois autumnal, dont la structure est entièrement conforme à celle du bois autumnal ordinaire.

Pas plus que précédemment, on n'a observé que l'expérience eût eu quelque effet sur l'arrangement des fibres ligneuses ou sur la distribution du parenchyme ligneux. Les coupes longitudinales ne conduisirent à aucune conséquence nouvelle; elles

---

<sup>1)</sup> Un exemple plus net de cette particularité est fourni par la fig. 9, relative à l'*Ulmus campestris*.

montrèrent seulement que la structure et la longueur des éléments du bois traumatique étaient semblables à celles des éléments du bois normal.

Il résulte des faits qui viennent d'être exposés, que la diminution artificielle de la pression du liber, soit pendant la formation du bois printanier, soit à l'époque de la naissance du bois autumnal, occasionne la production d'une couche ligneuse qui diffère du tissu ligneux antérieur, par un libriforme à cellules plus larges dans le sens radial et par des vaisseaux plus nombreux et plus larges. La formation de vaisseaux étroits et de trachéides, éléments qui ne se rencontrent que dans le bois d'automne, est temporairement empêchée par l'opération susdite.

Il est à peine nécessaire d'ajouter, que les autres préparations, non décrites, de ces mêmes branches, ainsi que les branches dont aucune mention n'a été faite, ont conduit aux mêmes résultats.

#### *Influence de la diminution de pression sur les fibres ligneuses.*

L'agrandissement, tel que nous venons de le décrire chez le *Corylus*, du diamètre radial des fibres ligneuses, sous l'influence d'une diminution artificielle de la pression du liber, est un phénomène très général. Il paraît même constituer une règle sans exception lorsque les incisions sont faites pendant ou peu de temps après la formation du bois autumnal; du moins, je n'ai pu trouver aucun écart à cette règle chez les nombreuses espèces ligneuses que j'ai soumises à l'examen. Opère-t-on à l'époque de la formation du bois printanier, alors la netteté du résultat de la diminution de la pression dépend de la grandeur normale du diamètre radial des fibres ligneuses. Plus celui-ci est petit, plus on le comprend, son accroissement sera facile à constater. L'élargissement dans le sens radial, à la suite d'incisions, est surtout très considérable chez les espèces ligneuses dans le bois normal desquelles le diamètre tangentiel des fibres surpasse le diamètre radial.

Les organes que j'ai désignés jusqu'ici par le nom de fibres ligneuses, ou de cellules ligneuses, appartiennent, d'après la nomen-

clature de M. Sanio, à deux espèces d'organes élémentaires, à savoir, les fibres libriformiennes et les trachéides fibreuses. Une troisième espèce, les fibres libriformiennes divisées transversalement („gefächert”), est très rare et n'a pas encore pu être comprise dans mon étude. Les fibres libriformiennes et les trachéides fibreuses, là où elles existent, sont les unes et les autres aplaties tangentiellement dans le bois autumnal normal. Elles se comportent aussi, d'après mes expériences, exactement de la même manière sous l'influence de la diminution de pression, car toutes deux présentent constamment, dans le bois traumatique, un diamètre radial plus grand que dans le bois normal formé antérieurement. Pour les trachéides vasculaires, cela se voit dans les figures 5 et 6, qui se rapportent au *Viburnum Opulus*. La fig. 5 montre, au côté externe de la ligne *b. b.*, l'élargissement des trachéides par la diminution artificielle de la pression libérienne à l'époque de la formation du bois printanier; la fig. 6 montre la même chose pour l'époque de la formation du bois autumnal.

Les espèces chez lesquelles j'ai observé jusqu'à présent un accroissement du diamètre radial des fibres ligneuses, lorsque les incisions étaient faites au cours de la production du bois printanier, sont les suivantes: 1°. Espèces à fibres libriformiennes: *Aesculus Hippocastanum*, *Betula alba*, *Carpinus Betulus*, *Castanea vesca*, *Corylus Avellana*, *Populus canescens*, *Rhamnus cathartica*, *Ribes nigrum*, *Salix aurita*, *Sambucus nigra*, *Tilia parvifolia*; 2°. Espèces à trachéides fibreuses: *Crataegus monogyna*, *Evonymus europaeus*, *Ligustrum vulgare*, *Pyrus Malus*, *Viburnum Opulus*.

L'accroissement du diamètre radial des fibres ligneuses par une diminution de pression opérée pendant ou après la formation du bois autumnal a déjà pu être reconnu par moi chez les espèces suivantes: 1°. Espèces à fibres libriformiennes: *Acer Pseudo-platanus*, *Aesculus Hippocastanum*, *Alnus glutinosa*, *Castanea vesca*, *Carpinus Betulus*, *Corylus Avellana*, *Magnolia Yulan*, *Morus nigra*, *Pavia* sp., *Populus alba*, *Rhamnus cathartica*, *Ribes nigrum*, *Salix cinerea*, *Salix aurita*, *Ulmus campestris*; 2°. Espèces à trachéides fibreuses: *Crataegus monogyna*, *Evonymus*

*europaeus*, *Fagus sylvatica*, *Ilex Aquifolium*, *Kerria japonica*, *Prunus avium*, *Prunus Padus*, *Pyrus communis*, *Sorbus Aucuparia*, *Syringa vulgaris*, *Viburnum Lantana*, *Viburnum Opulus*.

Les fibres ligneuses, après être nées aux dépens du cambium, croissent ordinairement plus ou moins dans le sens longitudinal, quelquefois même de façon à dépasser plusieurs fois leur longueur primitive. Une conséquence de ce fait, c'est que l'arrangement régulier des fibres, en séries radiales, est troublé dans la même mesure où les fibres s'allongent. A l'aide de cet arrangement, on peut donc, rien qu'à l'inspection de la coupe transversale, se faire une idée de l'accroissement longitudinal des fibres ligneuses, et étudier ainsi l'influence qu'exerce sur cet accroissement la diminution artificielle de la pression. Jusqu'ici, toutefois, je n'ai pas réussi à constater une pareille influence. L'arrangement des fibres était toujours le même dans le bois traumatique que dans le bois normal, tant chez les espèces où les fibres du bois normal n'éprouvent absolument aucun accroissement de longueur (par ex. l'*Aesculus Hippocastanum*), que chez celles où cet accroissement est faible (par ex. le *Betula alba*), ou très considérable (par ex. le *Caragana arborescens*, le *Sarothamnus vulgaris*). Là seulement où dans le bois printanier les fibres sont placées irrégulièrement et ont par suite une forme polygonale sur la coupe transverse, tandis que dans le bois autumnal elles prennent une forme quadrangulaire aplatie et sont en conséquence alignées en séries radiales, là seulement, dis-je, une influence a pu être reconnue. Dans ce cas, en effet, lorsque les incisions étaient faites après que la production du bois autumnal avait déjà commencé, il se formait un tissu ligneux à larges cellules, dont les fibres, sur une coupe transversale, étaient polygonales et placées irrégulièrement. L'arrangement régulier, dans le bois d'automne, était donc arrêté par la diminution de la pression, et il peut conséquemment être regardé comme un effet de la haute tension libérienne qui existe à l'époque de la formation ligneuse autumnale. Comme exemple, je citerai l'*Ulmus campestris*, auquel est empruntée la fig. 9, où le phénomène en

question est exprimé par le contraste des fibres situées aux deux côtés de la ligne *b. b.* Cette ligne est ici, comme dans toutes les autres figures, la démarcation entre le bois formé avant et après l'incision. A son côté interne (côté inférieur sur la figure), on voit les fibres libriformiennes aplaties; c'est le bois autumnal normal, développé avant l'institution de l'expérience. Juste à partir de la ligne *b. b.*, on trouve ensuite, vers l'extérieur, des fibres plus larges dans le sens radial, qui ont à la fois une forme polygonale et une distribution irrégulière.

*Influence de la diminution de pression sur les vaisseaux.*

Le fait qu'une diminution artificielle de la pression du liber augmente le nombre des vaisseaux dans le bois, est général pour toutes les espèces que j'ai étudiées jusqu'ici.

Chez beaucoup d'espèces ligneuses, les lignes de démarcation des couches annuelles sur la section transversale, vues sous un faible grossissement, se reconnaissent de suite à un cercle de larges vaisseaux, qui sont situés au commencement de chaque couche annuelle. Le reste de la couche est entièrement dépourvu de pareils cercles et est aussi, en général, plus pauvre en vaisseaux. A l'aide d'incisions longitudinales faites au liber, après qu'il s'était déjà formé une couche ligneuse plus ou moins épaisse au côté externe du cercle vasculaire susdit, j'ai réussi à provoquer, chez plusieurs arbres et arbrisseaux, la formation d'un nouveau cercle de vaisseaux, par exemple, chez les *Betula alba*, *Corylus Avellana*, *Ligustrum vulgare*, *Populus canescens*, *Prunus Padus*, *Rhamnus cathartica*, *Ulmus campestris*.

A part ce nouveau cercle de vaisseaux, le bois, dans les espèces que je viens de nommer, était plus riche en vaisseaux que celui formé avant la diminution de la pression. Dans d'autres expériences, sur les mêmes espèces, il m'arriva souvent de ne pas obtenir de cercle de vaisseaux, mais seulement un tissu ligneux plus vasculaire. Outre les espèces déjà citées, j'ai encore observé l'accroissement du nombre des vaisseaux, à la suite d'incisions

longitudinales, chez les suivantes: *Acer Pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Carpinus Betulus*, *Crataegus monogyna*, *Evonymus europaeus*, *Fagus sylvatica*, *Magnolia Yulan*, *Pavia* sp., *Populus alba*, *Salix cinerea*, *Salix alba*, *Sorbus Aucuparia*, *Syringa vulgaris*. Chez le *Ribes nigrum*, dont le bois est très vasculaire, la multiplication des vaisseaux était si considérable, qu'en certains endroits ils avaient entièrement remplacé les fibres ligneuses.

Plusieurs espèces de bois ont les vaisseaux réunis en grands groupes, qui traversent ordinairement sous forme de lignes tangentielles ou obliques la substance fondamentale du bois, composée de fibres ligneuses, et qui sont déjà reconnaissables à l'œil nu, à leur couleur blanche. Quelquefois on trouve en outre, au commencement de chaque couche annuelle, un cercle de vaisseaux; d'autres fois ce cercle manque. Les vaisseaux des groupes vasculaires diffèrent beaucoup sous le rapport du diamètre; M. Sanio donne aux formes extrêmes les noms de vaisseaux larges et de vaisseaux étroits. Dans ces groupes vasculaires se trouvent mêlées aux vaisseaux, mais ordinairement en quantité subordonnée, des trachéides vasculaires et des cellules de parenchyme ligneux. Ces deux éléments font alors défaut à la masse fondamentale, qui consiste uniquement en libriforme, à moins que les vaisseaux de la couche printanière ne soient entourés de parenchyme ligneux paratrachéen. Parmi les plantes dont le bois offre cette structure, j'ai étudié: *Caragana arborescens*, *Sarothamnus vulgaris*, *Hedera Helix*, *Rhamnus cathartica*, et *Ulmus campestris*. Chez les trois premières, le bois traumatique commençait par un groupe vasculaire tangentiel, qui s'étendait ordinairement sur une longueur considérable, et par suite touchait, du côté interne, tantôt à du tissu libriformien, tantôt à des groupes de vaisseaux. La diminution de la pression libérienne avait donc entièrement supprimé ici, pour un temps, la formation de fibres ligneuses. Les groupes vasculaires du bois traumatique étaient composés des mêmes éléments que ceux du bois normal.

Le *Rhamnus catharticus* présentait sous un autre aspect l'influence de la diminution de pression. Ici, la structure typique

de l'espèce avait entièrement disparu dans le bois traumatique, car les vaisseaux y étaient distribués d'une manière uniforme dans toute la masse ligneuse. La fig. 10 montre ce contraste très prononcé entre le bois normal et le bois en question. Dans la préparation que représente cette figure, la couche de 1872 a la structure normale; dans la couche de 1873, l'influence des incisions longitudinales a commencé immédiatement après l'achèvement du cercle de vaisseaux larges dans le bois printanier. Le nouveau bois ne montre pas de séparation en champs libriformiens et en groupes vasculaires, mais une distribution uniforme des vaisseaux entre les fibres libriformiennes.

Chez l'*Ulmus campestris* (fig. 8 et 9), on rencontre deux espèces de vaisseaux: premièrement, des vaisseaux très larges, ronds, qui forment le cercle vasculaire du bois printanier, et qui sont ou bien isolés ou bien rapprochés par 2 ou 3 en petits groupes; en second lieu, des vaisseaux plus étroits, qui, réunis en groupes avec les trachéides vasculaires, se trouvent dans le reste de la couche annuelle. Dans ces groupes vasculaires, toutes les formes intermédiaires entre les vaisseaux étroits et les vaisseaux larges sont représentées, ordinairement de telle sorte que la largeur des vaisseaux, dans chaque couche annuelle, décroît successivement de dedans en dehors. Pour ce qui regarde maintenant le bois traumatique, quelquefois il offre seulement une multiplication et un agrandissement de ces groupes vasculaires; mais, dans des circonstances favorables, on y voit apparaître un cercle de vaisseaux, qui peuvent alors égaler tout à fait en largeur ceux du cercle printanier. La fig. 8 montre au côté externe de la ligne *b. b.*, qui est la limite entre le bois formé avant et après le début de l'expérience, deux groupes de grands vaisseaux, appartenant à ce cercle surnuméraire. Ils ont la même largeur que les vaisseaux du bois printanier de la même figure. Ces larges vaisseaux sont accompagnés, tout comme ceux du bois printanier normal, de parenchyme ligneux paratrachéen. Des coupes longitudinales ont appris que les vaisseaux larges et les vaisseaux étroits du nouveau bois avaient la même structure et la même longueur des



cellules que ceux du bois normal. Chez les autres espèces ci-dessus citées, la multiplication du nombre des vaisseaux, dans le bois traumatique, va aussi ordinairement de pair avec l'augmentation de leur largeur; mais aucune, à ma connaissance, ne présente ce phénomène à un degré aussi prononcé que l'*Ulmus campestris*.

Chez quelques espèces, les vaisseaux étroits et les trachéides vasculaires se trouvent exclusivement dans le bois d'automne. Le *Corylus Avellana* et le *Carpinus Betulus* en fournissent des exemples. En ce qui concerne la première de ces plantes, j'ai déjà dit qu'une augmentation de la pression, au cours de la production du bois autumnal, occasionne la formation d'une couche ligneuse à larges cellules, à laquelle manquent les éléments qui viennent d'être nommés. La même chose s'applique au *Carpinus Betulus*, dans le bois duquel les éléments en question sont caractérisés par un épaissement très considérable de leurs parois radiales. La fig. 7 montre la coupe transversale d'une branche d'épreuve de cette espèce, branche où il s'était déjà formé, au moment où l'expérience commençait, en août 1872, une couche distincte de bois autumnal. A l'extérieur des vaisseaux étroits et des trachéides que cette couche renferme, le bois traumatique montre de nouveau des vaisseaux larges. Les éléments étroits ne reparaisent que dans la couche ligneuse autumnale par laquelle la formation du nouveau bois se termine.

Je ne suis pas parvenu, jusqu'à présent, à découvrir une influence de la diminution de pression sur la généralité de distribution du parenchyme ligneux.

#### 2<sup>e</sup> Série.

### Formation du bois sous pression libérienne artificiellement augmentée.

(Pl. V—VIII, fig. 11—17).

*Méthode expérimentale.* Pour augmenter artificiellement la pression du liber sur le cambium, j'enveloppais une jeune branche, sur une longueur de 2—3 centimètres, d'un cordon mince mais

solide, roulé autour de la branche en une spire dont les circonvolutions se touchaient aussi exactement que possible. Il est très difficile, quoique à la rigueur on puisse y parvenir, de serrer le cordon assez fortement pour que la pression du liber soit augmentée de prime abord d'une manière notable. Mais, par suite de l'accroissement en épaisseur de la branche sous la ligature, la pression ne tarde pas à augmenter et commence bientôt à exercer une influence appréciable sur la croissance du bois. Il paraît que la surélévation de la pression libérienne ne grandit que lentement à mesure que l'accroissement en épaisseur fait des progrès, car souvent le bois formé sous son influence constitue des couches relativement assez épaisses. Finalement toutefois, la pression devient si forte qu'elle empêche toute croissance ultérieure. Lorsqu'on serre très énergiquement le cordon, il arrive parfois que la pression atteigne immédiatement cette limite, résultat qu'il faut naturellement tâcher d'éviter. C'est cette circonstance surtout qui rend difficile de trouver le juste degré de tension qu'il convient de donner au cordon. Suivant le but spécial de l'expérience, je posais mes ligatures soit avant la période d'activité du cambium, soit pendant cette période. Dans ce dernier cas, l'effort exercé en enroulant le cordon occasionne ordinairement un glissement tangentiel du liber, ce qui plus tard, lors de l'examen au microscope, est encore reconnaissable. Lorsque le glissement a été faible et a porté principalement sur le cambium, on voit les rayons médullaires s'infléchir tous dans une même direction, que suivent alors aussi les séries radiales des fibres ligneuses et des vaisseaux. Souvent, mais pas toujours, la ligne qui joint entre eux les points d'inflexion des rayons médullaires marque la limite du bois né avant et après la pose de la ligature. Cette limite se laisse distinguer avec beaucoup plus de netteté lorsque le glissement a atteint la petite couche de bois jeune et tendre qui, au printemps, se trouve entre le tissu ligneux déjà durci et le cambium. Il n'est pas rare de voir alors une ligne brune, ligne de démarcation, dans laquelle les rayons médullaires sont déplacés latéralement et assez souvent infléchis deux fois à angle droit. Le bois situé au côté interne de cette ligne

a été, bien entendu, formé et durci avant le début de l'expérience, tandis que le bois situé en dehors ne l'a été qu'après la pose de la ligature. Un très bel exemple de cette ligne de démarcation m'a été fourni par une ligature de l'*Alnus glutinosa*, à laquelle est empruntée la préparation représentée fig. 16; la série de cellules *b. b.*, marquée de hachures, est la ligne en question. Lorsque dans ce déplacement tangentiel du liber, qui, cela va sans dire, est accompagné d'une distension du tissu libérien, la limite d'élasticité de ce tissu est dépassée, il peut en résulter un allongement tangentiel persistant des parties du liber. Une pareille distension du liber a toutefois pour effet temporaire une diminution de la pression exercée sur le cambium, et si cette diminution n'est pas contre-balancée par l'action de la ligature, la petite couche de bois, qui vient immédiatement après la ligne de démarcation, peut présenter tous les caractères du bois formé sous pression réduite. Mais, à ce bois succède alors promptement une couche qui accuse l'influence de la pression libérienne accrue. Un exemple de ce phénomène m'a été offert, entre autres, par le *Sarothamnus vulgaris*, comme on le verra bientôt par la description et la figure (fig. 17).

Il est bon de choisir pour ces expériences des branches non-seulement vigoureuses, mais aussi autant que possible verticales ou à peu près verticales, attendu que dans les branches horizontales l'accroissement en épaisseur est généralement beaucoup plus faible, de sorte que l'action de la ligature n'y commencerait que très tard, ou même ne se ferait pas sentir du tout dans le courant de l'année.

Ordinairement les branches mises en expérience, et qui en général étaient âgées de 2—6 ans, étaient laissées sur les arbres jusqu'après la chute des feuilles et l'entier achèvement de la croissance du bois. Dans ce cas, elles étaient coupées au milieu de novembre. Mais lorsqu'il s'agissait de prouver que déjà avant l'époque de la production normale du bois d'automne un tissu semblable au bois autumnal peut se former sous l'influence d'une pression artificiellement accrue, les branches étaient coupées dans

la seconde moitié de juin, c'est-à-dire à un moment où, dans les conditions ordinaires, la formation du bois autumnal n'avait pas encore commencé. Pour chaque espèce on a toujours fait les deux sortes d'expériences.

L'appréciation des résultats obtenus par l'observation microscopique exige la comparaison constante du bois formé sous la ligature avec le bois normal de la même espèce. Pour rendre cette comparaison aussi concluante que possible, les préparations normales, qui devaient servir au contrôle, étaient toujours prélevées sur la branche même qui portait la ligature, et à quelques centimètres au-dessus ou au-dessous de cette dernière; il ne convient pas de les prendre au voisinage immédiat de la ligature, parce qu'en ce point le bois possède souvent une structure anormale, surtout lorsqu'il s'y est formé des intumescences ligneuses. Les préparations de contrôle étaient, en outre, toujours empruntées à la même couche annuelle et au même côté de la branche que les préparations d'épreuve. Cette dernière précaution est nécessaire à raison du développement inégal que présentent souvent les divers côtés d'une même branche, ainsi que l'a déjà fait remarquer, pour les branches croissant dans une direction horizontale, M. de Mohl <sup>1)</sup>.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre <sup>2)</sup>, la couche ligneuse formée sous la ligature était toujours plus mince que la même couche annuelle prise, dans la même branche, là où les conditions étaient restées normales. Souvent la différence était déjà appréciable à la simple vue. Fréquemment aussi, cette impression était renforcée par les intumescences qui se produisaient aux bords supérieur et inférieur de la ligature. Bien que la différence d'épaisseur fût souvent très considérable, et que l'écorce placée sous la ligature fût quelquefois tellement comprimée, que la branche en ce point était presque aussi cassante qu'une branche décortiquée, les feuilles et les rameaux insérés sur la branche d'épreuve, au-dessus de la ligature, n'en ressentaient pourtant nulle influence nuisible dans leur développement.

<sup>1)</sup> *Bot. Ztg.*, 1862.

<sup>2)</sup> Nördlinger, *Der Holzring als Grundlage des Baumkörpers*, 1871, p. 14 et suiv.

Comme preuve de l'action qu'une pression artificielle exerce sur l'intensité de la croissance du liber, je mentionnerai ici en passant que le liber et le périderme s'insinuent partout entre les spires du cordon et ne tardent pas à remplir tous les interstices qui ont pu y rester. Aussi, lorsqu'on enlève le cordon, après la fin de l'expérience, on trouve sur le périderme une image complète et fidèle de ses circonvolutions.

Je passe maintenant à la description des résultats obtenus, chez diverses espèces d'arbres, par la méthode qui vient d'être exposée.

*Sambucus nigra* (fig. 12 et 13). Le bois normal (fig. 13) est composé de fibres libriformiennes, entre lesquelles sont épars les vaisseaux, isolés ou rassemblés en petits groupes. Du parenchyme ligneux paratrachéen se rencontre autour des vaisseaux, mais assez rarement. En outre, on trouve encore des trachéides vasculaires, qui sont bornées au bois d'automne, où elles se reconnaissent, sur la coupe transversale, à leur forme aplatie et à leurs parois. Toutes les fibres ligneuses renferment de la fécule en hiver.

Vers le milieu de mai 1872, une ligature fut appliquée sur un jet gourmand à croissance très vigoureuse. La branche fut coupée au mois de novembre de la même année, et étudiée au microscope. La fig. 12 est empruntée à une coupe transversale faite à l'endroit recouvert par la ligature, la fig. 13 à une coupe transversale de la même branche prise à une certaine distance de cet endroit. Les deux figures ne montrent que la partie extérieure de la couche annuelle formée en 1872. Néanmoins, on voit immédiatement une différence notable. Dans le produit normal, le bois d'automne n'a qu'une épaisseur de deux cellules; rarement il est plus épais. Jusque tout près du bois autumnal on trouve des vaisseaux, qui sont un peu moins larges que ceux compris dans les parties plus anciennes de la couche annuelle. Dans le bois qui s'est développé sous une pression libérienne artificiellement renforcée (fig. 12), on voit au contraire une couche très épaisse de fibres ligneuses aplaties, entre lesquelles il ne se trouve, dans la partie figurée, qu'un seul vaisseau. Sur d'autres points de cette couche ligneuse je n'ai également observé que des vaisseaux très clair-semés; en

outre, ils étaient toujours aplatis et très étroits, en comparaison des vaisseaux du bois normal. Sur des coupes tangentielles de ce tissu anormal j'ai, de plus, rencontré des trachéides vasculaires et du parenchyme ligneux. La disposition en séries radiales des fibres ligneuses est, par suite de l'aplatissement, mieux accusée dans le bois d'épreuve que dans le bois normal. L'aplatissement des fibres libriformiennes, le rétrécissement de la capacité interne des vaisseaux et la diminution de leur nombre sont donc ici les conséquences de la surélévation artificielle de la pression du liber.

Dans une autre expérience, sur la même espèce, la ligature fut pratiquée dans la première quinzaine d'avril, c'est-à-dire, à peu près au moment de la reprise du travail d'accroissement du bois; la branche fut recueillie à la fin du mois de juin suivant. A cette époque, la formation automnale n'avait pas encore commencé dans le bois soumis aux conditions ordinaires. Pourtant, le tissu ligneux né sous l'influence de la pression augmentée montrait des fibres libriformiennes aplaties et, en moindre nombre, des vaisseaux.

*Populus canescens* (fig. 44.) Le libriforme compose la masse fondamentale du bois, qui est entremêlée de nombreux vaisseaux et de parenchyme ligneux en petite quantité. Dans le bois autumnal on trouve, en outre, des fibres parenchymateuses supplémentaires (*Ersatzfasern*) et des trachéides vasculaires. Les vaisseaux sont très grands et très abondants dans le bois printanier, mais ils deviennent dans chaque couche annuelle plus petits et plus rares à mesure qu'on se rapproche de la périphérie.

Une branche entourée d'une ligature le 12 mai 1872, et coupée en novembre de la même année, montrait distinctement l'influence de l'augmentation artificielle de la pression. Les fibres ligneuses étaient aplaties dans une couche relativement épaisse; l'aplatissement n'était pas très considérable en certains endroits, mais ne pouvait pourtant pas être méconnu lorsque le tissu était comparé au bois normal de la même branche. Une diminution du nombre des vaisseaux se laissait constater çà et là, mais non partout. A une

coupe transversale de ce bois est empruntée la fig. 11, où l'on voit non-seulement le bois d'épreuve, mais aussi la partie externe de la couche annuelle normale de 1871. La comparaison avec cette couche conduit au même résultat que celle avec le bois normal de la couche de 1872, de sorte que je crois pouvoir me dispenser de donner la figure de cette dernière.

Le bois d'une ligature faite en avril et coupée à la fin de juin présentait aussi un aplatissement manifeste des fibres ligneuses, bien qu'à ce moment la formation normale du bois d'automne n'eût pas encore commencé.

*Salix aurita* (fig. 14 et 15). La structure du bois normal est la même que chez le *Populus canescens*.

1<sup>ère</sup> ligature, de la mi-mai à la mi-novembre 1872. Le bois anormal est formé de fibres ligneuses aplaties; les vaisseaux y sont moins nombreux que dans le bois normal, et manquent même entièrement en quelques endroits. Les vaisseaux du bois anormal sont, en outre, moins larges, surtout dans les parties extérieures.

2<sup>e</sup> ligature, de la mi-avril à la fin de juin 1872. La fig. 14 a été prise sur le bois d'épreuve, la fig. 15 sur le bois normal de la même branche, à quelques centimètres au-dessus de la ligature et au même côté que la fig. 14. Au premier coup d'œil on remarque la grande différence de largeur des deux couches ligneuses, différence due principalement à ce que le nombre des cellules qui ont pris naissance sous la pression normale a été beaucoup plus grand que celui des cellules formées, dans le même temps, sous la ligature. Une comparaison attentive montre que les fibres libriformiennes de la couche externe du bois de la fig. 14 ont, en moyenne, un diamètre radial plus petit que celui des fibres ligneuses correspondantes de la fig. 15. Les deux vaisseaux qui, dans la fig. 14, n'ont pas été formés dès le premier début de la production ligneuse, sont aussi moins larges que les vaisseaux correspondants de la fig. 15.

La grande différence d'épaisseur est cause que le nombre relatif des vaisseaux ne se laisse pas apprécier exactement.

*Alnus glutinosa* (fig. 16). La formule de la structure ligneuse est, d'après M. Sanio:  $hp + r + l + t + g$ , c'est-à-dire, que le bois est composé de parenchyme ligneux, de parenchyme supplémentaire, de fibres libriformiennes, de trachéides et de vaisseaux. Le libriforme constitue la masse fondamentale, dans laquelle sont distribués de nombreux vaisseaux et une grande quantité de parenchyme ligneux, tant paratrachéen qu'ordinaire. Les trachéides, qui sont des cellules vasculaires non perforées, se rencontrent, de même que les fibres supplémentaires, uniquement dans le bois autumnal. Le bois de l'*Alnus* est remarquable par sa grande richesse en parenchyme ligneux, lequel se distingue d'ailleurs facilement, aussi sur les coupes transversales, à ce qu'il renferme, tout comme les rayons médullaires, une matière qui se colore en brun rougeâtre au contact de l'air. A cette couleur brun rougeâtre les cellules du parenchyme ligneux sont reconnues d'une manière certaine sous le microscope, même avec un grossissement faible.

Une ligature ayant été faite en mai et la branche coupée en novembre, l'examen microscopique fit constater l'existence d'une épaisse couche ligneuse à fibres aplaties. Comme les fibres du bois normal, sur une coupe transverse, sont très larges jusqu'au bois d'automne, et que ce bois autumnal lui-même ne forme qu'une couche épaisse de 2—3 cellules, le contraste de l'aplatissement est très saillant. La fig. 16 donne l'occasion de comparer le bois d'épreuve avec le bois printanier normal de la même couche annuelle (1872) et avec les parties externes de la couche annuelle précédente (1871). La différence est si marquée, que je crois inutile de figurer aussi la coupe transversale de la couche normale de 1872. Les vaisseaux sont rares dans le bois d'épreuve, et, là où ils existent, étroits; en beaucoup d'endroits ils sont complètement défaut. Quelques trachéides vasculaires ont aussi été vues dans la couche externe du bois d'épreuve. Le parenchyme ligneux, par contre, est à peu près aussi abondant dans le bois d'épreuve que dans le bois normal. Les fibres libriformiennes du bois d'épreuve sont plus distinctement placées en séries radiales que celles du bois normal.



Le démarcation entre les couches ligneuses formées avant et après l'application de la ligature mérite encore de nous arrêter un instant. Elle se présente sous l'aspect d'une ligne brune, dans laquelle les rayons médullaires sont un peu refoulés latéralement et, en outre, un peu élargis, quoique cet élargissement ait cessé très vite. Ainsi que nous l'avons déjà dit, la production de cette ligne est due à un déplacement tangentiel du liber et du cambium, opéré lors de l'enroulement du cordon. Le cambium n'a pas souffert de ce déplacement, comme nous l'apprennent les coupes transversales et, mieux encore, les coupes tangentielles, qui montrent que les cellules du nouveau bois ont une longueur tout à fait normale, et que par conséquent il n'y a pas eu de divisions transversales dans le cambium. Le même résultat, du reste, a aussi été fourni par les coupes tangentielles du bois en question des autres espèces étudiées, et c'est là une condition nécessaire, attendu que, en cas de divisions transversales dans le cambium, la force démonstrative des faits observés sur les coupes transversales s'évanouirait, ou du moins deviendrait insuffisante.

*Sarothamnus vulgaris* (fig. 17). Il fournit un bel exemple de la structure caractéristique du bois des Papilionacées. Les vaisseaux sont ici réunis en groupes étroits, qui, sur la coupe transversale, se dirigent obliquement, du côté interne de chaque couche annuelle à son côté externe. Dans la figure 17, où l'on voit le bois normal de la couche annuelle 1871, les groupes vasculaires sont marqués de hachures, tandis que les champs libriformiens qui les séparent sont restés en blanc. Des branches transversales réunissent ces groupes vasculaires en un réseau assez régulier, qui est visible, sous forme de lignes blanches, à l'œil nu. Outre les vaisseaux, on trouve dans ces groupes, en proportion subordonnée, des trachéides vasculaires, du parenchyme ligneux et des fibres parenchymateuses indivises. Les mailles du réseau sont remplies d'un tissu ligneux composé exclusivement de fibres libriformiennes, tandis que dans les groupes vasculaires on ne rencontre jamais de ces fibres. Par suite de leur allongement considérable, ces fibres ligneuses sont distribuées très irrégulièrement sur les coupes transversales

et y présentent une forme polygonale. Même lorsqu'elles se trouvent dans le bois autumnal, elles conservent généralement ces caractères. Les vaisseaux des groupes vasculaires sont de deux espèces; les uns larges, ronds sur la coupe transversale, répartis surtout au commencement de la couche annuelle et devenant vers l'extérieur moins larges et plus rares; les autres étroits, carrés sur la coupe transversale, et qui ne se distinguent des trachéides que par la présence de perforations à l'extrémité de leurs cellules. Au sujet de la structure générale des couches annuelles, il faut encore remarquer que dans la partie interne de chaque couche les groupes vasculaires occupent un espace relatif beaucoup plus grand que dans la partie externe; et que leur direction oblique ne devient bien évidente que dans cette dernière.

Dans la fig. 17, ainsi qu'il a été dit, la couche annuelle 1871 est formée normalement et peut par conséquent servir de terme de comparaison pour la couche de 1872, dont la partie externe a crû sous une pression libérienne artificiellement augmentée. La ligature, appliquée en mai 1872, fut fortement serrée, et a par suite donné partout naissance à une ligne de démarcation bien tranchée, qui toutefois n'est pas visible dans la figure, à cause du faible grossissement auquel celle-ci est dessinée. En dehors de cette ligne de démarcation (fig. 17 *b. b.*), qui coupe transversalement les groupes vasculaires et les champs de libriforme, se trouve une couche continue de tissu vasculaire, telle qu'elle se forme à la suite d'un *abaissement* subit de la pression libérienne et qu'elle a été décrite ci-dessus (Chap II, 1<sup>re</sup> section). Il faut donc admettre que l'application de la ligature a eu ici pour premier effet une diminution de la pression, ce qu'il est facile d'expliquer en supposant que la limite d'élasticité du tissu libérien, distendu tangentiellement par la traction du cordon, a été dépassée. A cette couche en succède une autre, dans laquelle des groupes vasculaires alternent avec du tissu libriformien; ordinairement, toutefois, les groupes vasculaires sont peu développés, minces et placés non pas obliquement, mais tangentiellement. Vient enfin la couche extérieure, qui est née sous la pression la plus élevée. En beaucoup d'endroits

elle se compose uniquement de libriforme, sans aucune trace des éléments des groupes vasculaires. Sur d'autres points, on y voit de petites bandes tangentielles de tissu vasculaire, mais qui sont toujours isolées et à d'assez grandes distances l'une de l'autre. Les vaisseaux de ces groupes offrent sur la coupe transversale une forme rectangulaire, aplatie dans le sens tangentiel. Le libriforme de cette couche est distribué, sur la coupe transversale, tout aussi irrégulièrement que celui du bois normal, mais les cellules sont moins larges. Dans ses parties externes, toutefois, il montre souvent des séries radiales, formées de 3—6 cellules aplaties dans le sens tangentiel et reconnaissables pour fibres libriformiennes à leurs parois épaissies.

La branche qui a fourni la préparation de la fig. 17 fut coupée en novembre 1872. Tout ce qu'il y a encore à noter à son égard, c'est que la structure de la couche annuelle normale de 1872 concordait entièrement avec celle de la couche 1871, de sorte que, sous ce rapport aussi, la comparaison mutuelle des deux parties de la fig. 17 est parfaitement légitime.

Des résultats semblables, bien que naturellement moins complets, m'ont été donnés par une branche soumise à la ligature en avril et coupée à la fin de juin.

Le *Caragana arborescens*, dont le bois possède une structure fondamentalement la même que celle du *Sarothamnus*, m'a aussi conduit aux mêmes conclusions expérimentales.

*Autres espèces.* Les résultats généraux fournis par les expériences que je viens de décrire en détail ont encore trouvé une confirmation chez quelques autres espèces, dont je me contenterai toutefois de citer le nom.

Des fibres libriformiennes aplaties à la suite d'une élévation artificielle de la pression du liber ont été observées, en couches épaisses, dans des branches coupées à la mi-août ou à la mi-novembre, chez les espèces suivantes: *Acer Pseudoplatanus*, *Ailanthus glandulosa*, *Fraxinus excelsior*, *Morus nigra*, *Pavia* sp., *Populus alba* et *Salix cinerea*. Sur des branches coupées en juin, avant la formation du bois normal, j'ai constaté cet aplatissement

chez les *Corylus Avellana*, *Prunus Padus*, et *Aesculus Hippocastanum*.

Le fait que, dans les mêmes circonstances, des trachéides vasculaires subissent aussi un aplatissement tangentiel, a été confirmé par une expérience sur le *Sorbus aucuparia* (ligature appliquée en avril 1872, enlèvement de la branche en juin 1872).

La diminution du nombre des vaisseaux par l'augmentation artificielle de la pression libérienne a été constatée chez les *Fraxinus excelsior*, *Ribes nigrum* et *Sorbus Aucuparia*, dans des branches d'épreuve coupées avant le mois de juillet. De même elle a été reconnue, dans des branches d'épreuve recueillies après l'achèvement de la croissance normale du bois, chez les *Acer Pseudoplatanus*, *Evonymus europaeus*, *Aesculus Hippocastanum*, *Fraxinus excelsior*, *Pavia* sp., *Populus alba*, *Ribes nigrum*, *Pyrus communis* et *Salix cinerea*.

Dans aucune de ces expériences je n'ai observé une influence de la pression sur la quantité relative du parenchyme ligneux.

---

#### IV.

#### Résultats déduits des expériences décrites dans le chapitre précédent.

La description détaillée des expériences, donnée dans le chapitre précédent, a fait voir que toutes les espèces d'arbres et d'arbrisseaux examinées subissent dans la structure de leur bois, sous l'influence d'une altération artificielle de la pression du liber, des changements essentiellement les mêmes, et que les différences, s'il y en a, sont seulement quantitatives ou n'ont rapport qu'à des points secondaires. Nous pouvons donc résumer ces résultats en propositions générales, applicables à toutes les espèces étudiées, et, vu le nombre et la diversité de celles-ci, nous sommes en outre autorisés à admettre que ces règles se trouveront vraies

aussi pour les autres arbres et arbrisseaux dicotylés, indigènes ou cultivés dans notre climat.

Voici, présentées sous une forme purement empirique, les principales conséquences auxquelles conduit notre travail.

A. Pour la première série :

1°. Sous une pression libérienne artificiellement diminuée, il se forme, dans toutes les phases de la croissance du bois, une couche ligneuse dont les fibres libriformiennes et les trachéides vasculaires possèdent un plus grand diamètre radial que celles du bois développé peu de temps auparavant.

2°. Sous une pression libérienne artificiellement diminuée, il se forme, dans toutes les phases de la croissance du bois, une couche ligneuse contenant plus de vaisseaux et ordinairement des vaisseaux plus larges que la précédente.

Pour l'interprétation exacte de ces énoncés, il est nécessaire de se rappeler que le diamètre radial des fibres libriformiennes et des trachéides vasculaires, ainsi que le nombre des vaisseaux, diminuent successivement, quoique souvent avec beaucoup de lenteur, de dedans en dehors dans chaque couche annuelle. Quelquefois seulement il y a, sous ces divers rapports, uniformité dans toute l'étendue d'une couche d'une certaine épaisseur ; mais jamais, dans le bois normal, il n'y a augmentation de dedans en dehors.

B. Pour la seconde série :

3°. Sous une pression libérienne artificiellement augmentée, il se forme une couche de bois dont les fibres libriformiennes et les trachéides vasculaires possèdent un plus petit diamètre radial que celles des couches ligneuses qui ont pris naissance, dans la même branche et dans le même temps, sous la pression normale.

4°. Sous une pression libérienne artificiellement augmentée, il se forme une couche de bois dans laquelle le nombre et la largeur des vaisseaux sont moindres que dans les couches ligneuses de la même branche qui ont pris naissance, simultanément, sous la pression normale.

Si l'on analyse ces règles empiriques, et qu'on cherche à donner une forme plus scientifique aux résultats qu'elles expriment, on

reconnait, en premier lieu, qu'il existe un certain rapport entre la structure anatomique du bois et la pression sous laquelle il a pris naissance. Cette pression exerce son influence sur trois choses, à savoir, sur la croissance radiale des fibres ligneuses, sur la croissance des vaisseaux dans le sens radial et dans le sens tangentiel, et sur le rapport du nombre des vaisseaux à celui des fibres ligneuses.

Avant de formuler cette dépendance d'une manière plus précise, faisons entrer dans le cercle de nos considérations le fait rappelé à la première page de ce Mémoire, à savoir, que l'épaisseur d'une couche ligneuse dépend de la grandeur de la pression sous laquelle elle a été formée. Cette différence d'épaisseur de la couche trouve-t-elle son explication complète dans la différence d'épaisseur (c'est-à-dire de diamètre radial) des fibres elles-mêmes? en d'autres termes, une couche de bois possède-t-elle, dans le sens radial, un même nombre de cellules, soit qu'elle ait pris naissance sous une haute ou sous une basse pression du liber? Evidemment, non; les différences d'épaisseur de la couche entière sont beaucoup plus considérables que celles du diamètre radial des fibres ligneuses, et cette inégalité est même si frappante à simple vue, qu'on peut regarder comme superflu de la corroborer par des chiffres. Un bel exemple est offert par nos fig. 14 et 15, relatives au *Salix aurita*. Ces deux préparations ont été prises dans la couche annuelle externe de la même branche, à peu de distance l'une de l'autre ( $\frac{1872}{1871}$  indique la limite intérieure,

c. c. la limite extérieure de la couche annuelle de 1872). Le nombre des fibres ligneuses d'une série radiale est, dans le bois formé sous la pression normale (fig. 15), environ deux fois aussi grand que dans le bois formé, simultanément, sous une pression libérienne artificiellement augmentée (fig. 14).

Il suit de là que le nombre des divisions successives qu'éprouvent, dans le cambium, les cellules d'une même série radiale est également soumis à l'influence de la pression du liber. Un argument à l'appui de cette proposition se trouve encore dans le fait,

que la formation de nouvelles cellules ligneuses s'arrête à la fin de l'été, à cause de la pression trop forte du liber; qu'une diminution artificielle de cette pression, à l'époque de la formation du bois autumnal, détermine la production de couches ligneuses épaisses, composées de nombreuses cellules; et que, même après l'arrêt de la croissance normale du bois, cette opération peut encore donner lieu à la formation de nouvelles cellules ligneuses.

En essayant maintenant d'embrasser nos résultats dans quelques propositions générales, je crois qu'on pourra le mieux les exprimer de la manière suivante:

1°. *La croissance des organes élémentaires du bois, dans le sens radial et dans le sens tangentiel, est soumise à l'influence de la pression sous laquelle elle s'opère; plus la pression est grande, plus sera faible l'expansion radiale (ou, respectivement, tangentielle).*

2°. *Le nombre des divisions cellulaires dans le cambium dépend de la pression radiale que celui-ci subit; plus cette pression est grande, plus sera petit le nombre des divisions des cellules de chaque série radiale dans un même temps (les autres conditions étant d'ailleurs les mêmes).*

3°. *Le rapport du nombre des vaisseaux à celui des fibres ligneuses dans une couche de bois dépend de la pression sous laquelle cette couche a pris naissance; plus cette pression est grande, plus ce rapport est défavorable au nombre des vaisseaux <sup>1)</sup>.*

Qu'il me soit permis de rattacher à ces conclusions quelques considérations supplémentaires.

En ce qui concerne la dépendance des divisions cellulaires par rapport aux causes externes, nos connaissances sont encore trop imparfaites pour qu'il soit déjà possible d'établir à ce sujet des lois générales. Ce n'est pas non plus mon intention de rassembler ici tous les faits, relatifs à cette question, qui sont

---

<sup>1)</sup> Je fais remarquer que les expériences décrites ne permettent pas de décider, si la dépendance, dont il est ici question, est une dépendance directe ou indirecte; question théorique, dont je m'occuperai dans un autre Mémoire.

consignés dans la littérature botanique. Je ne veux rappeler qu'un seul de ces faits, qui forme en quelque sorte la contre-partie de celui que mes observations ont fait connaître. Il s'agit des résultats obtenus par M. Sorauer <sup>1)</sup> à l'occasion de recherches faites, dans un autre but, sur l'influence de l'humidité du sol sur la croissance de l'orge, recherches dont la valeur théorique, inconnue à cet auteur, fut révélée par M. Sachs dans son *Lehrbuch der Botanik* <sup>2)</sup>. M. Sorauer cultivait des pieds d'orge dans des pots remplis de terre, la teneur en eau de cette terre étant maintenue constante pendant toute la période de végétation. Dans les différents pots, toutefois, cette teneur était différente. Il a trouvé ainsi, que les feuilles et les entre-nœuds des tiges étaient non-seulement d'autant plus développés que la proportion constante d'eau avait été plus grande dans la terre, mais qu'ils étaient aussi, dans la même mesure, composés de cellules plus nombreuses. Or, comme on peut admettre que les organes des plantes cultivées dans une terre plus humide étaient eux-mêmes plus riches en eau, et comme l'eau du contenu des cellules distend à proportion les parois cellulaires, il est permis de conclure, avec un grand degré de probabilité, que cette distension a exercé une influence favorable sur le nombre des divisions cellulaires dans les points de végétation. La distension des parois des cellules, par l'eau qui pénètre en abondance leur contenu, favorise donc ici la division cellulaire, de même que, dans le cambium, la compression des parois rend les divisions plus rares <sup>3)</sup>. Peut-être cette règle est-elle d'une application générale dans le règne végétal.

Dans notre seconde proposition, il y a lieu de distinguer entre les vaisseaux et les fibres ligneuses. L'affirmation, que les vaisseaux

<sup>1)</sup> P. Sorauer, *Einfluss des Wasserzufuhr auf die Ausbildung der Gerstenpflanze*, dans *Bot. Ztg.*, 1873, p. 145.

<sup>2)</sup> Sachs *Lehrb. d. Bot.*, 4<sup>e</sup> éd., p. 786.

<sup>3)</sup> Jusqu'à quel point les parois des cellules du cambium et du jeune bois sont réellement comprimées par la pression artificiellement augmentée du liber, ou jusqu'à quel point cette pression a seulement pour résultat de diminuer la distension des parois cellulaires par la turgescence du contenu, c'est là une question qu'il reste à examiner.



sont dans tous les sens d'autant plus larges que la pression est plus faible, découle directement des résultats de nos expériences. Celles-ci démontrent également cette même relation pour le diamètre radial des fibres ligneuses. Quant à l'accroissement de ces dernières dans le sens tangentiel, la conclusion qu'il dépend aussi de la pression se déduit surtout de la forme à peu près cylindrique de la couche de cambium. Par suite de cette forme, la croissance des jeunes cellules ligneuses dans le sens radial occasionne toujours une dilatation tangentielle, et l'influence ainsi exercée sur l'accroissement tangentiel est naturellement d'autant plus grande que la croissance radiale est plus considérable. Or comme celle-ci dépend de la pression, il est clair que la croissance dans le sens tangentiel doit en dépendre aussi <sup>1)</sup>. Les cellules du parenchyme ligneux suivent évidemment, sous ce rapport, les mêmes lois que les fibres ligneuses.

La dépendance entre la croissance des parois cellulaires et la pression à laquelle elles sont soumises est un fait si parfaitement d'accord avec la théorie émise par M. Sachs <sup>2)</sup> au sujet de cette croissance, qu'elle pouvait facilement en être déduite, et que, réciproquement, elle procure à cette théorie un soutien expérimental. Selon les vues de M. Sachs, en effet, parmi les causes de la croissance des parois cellulaires, la distension de celles-ci par le contenu des cellules joue un rôle important. Sans vouloir reproduire ici cette théorie universellement connue, je ferai seulement remarquer que par cette distension la distance des molécules cristalloïdes, qui d'après les recherches de M. Nägeli composent la membrane cellulaire, est augmentée, et que de nouvelles molécules cristalloïdes peuvent seulement être formées lorsque

---

<sup>1)</sup> On peut admettre que la croissance dans le sens tangentiel, chez les cellules du cambium et chez les plus jeunes cellules du bois, est en partie une suite de la distension tangentielle de leurs parois; et puisque la pression contrarie la distension, il faut donc, à ce point de vue aussi, conclure à une influence de la pression sur la croissance dans le sens tangentiel.

<sup>2)</sup> Sachs, *Lehrbuch der Botanik*, 4<sup>e</sup> éd., p. 762.

cette distance a dépassé une certaine grandeur. Toute distension doit donc agir favorablement sur la croissance en longueur <sup>1)</sup>); réciproquement, une pression doit ralentir l'accroissement dans le sens où elle s'exerce, ainsi que cela a eu lieu dans nos expériences.

Notre troisième règle peut aussi être énoncée de la manière suivante: Lors du développement d'un groupe de cellules-filles du cambium, il y en a d'autant moins qui se transforment en cellules vasculaires et d'autant plus qui passent à l'état de fibres ligneuses, que la pression sous laquelle elles croissent est plus grande. Ou bien: *Une cellule-fille du cambium a d'autant moins de chances de devenir cellule vasculaire qu'elle se développe sous une pression plus grande*; pour la chance de devenir fibre ligneuse, c'est l'inverse. Nous avons donc ici le cas, dûment constaté, d'une différenciation morphologique dépendant d'une cause mécanique. Les exemples connus d'une pareille dépendance sont jusqu'ici en nombre relativement petit, de sorte qu'il n'est pas encore possible de ranger notre observation sous un point de vue plus général.

Un phénomène étroitement lié à cette règle, et qui a également été prouvé par les expériences décrites dans le chapitre précédent, est l'influence de la pression du liber sur les organes élémentaires qui, chez certaines espèces ligneuses, sont exclusivement propres au bois autumnal. Dans mes expériences, ce cas s'est seulement présenté chez le *Corylus Avellana* et le *Carpinus Betulus*, où les cellules en question sont des trachéides vasculaires. La réduction artificielle de la pression du liber, durant la formation du bois autumnal, a empêché la production ultérieure de ces organes élémentaires. Peut-être que la règle est d'une application plus générale, et que la pression exerce aussi une influence sur les quantités relatives d'autres organes élémentaires du bois.

---

<sup>1)</sup> Cela était aussi le cas dans les expériences sus-mentionnées sur la croissance de l'orge, où les dimensions plus grandes des organes dans les pots le mieux arrosés était due non-seulement au nombre plus grand des cellules, mais aussi aux dimensions plus grandes de ces cellules elles-mêmes.

---

## V.

Influence de la pression du liber sur la production  
du bois autumnal.

Les résultats expérimentaux qui ont été rapportés dans notre troisième chapitre et soumis à une discussion détaillée dans le quatrième, peuvent aider à expliquer la production du bois normal de l'automne. Pour parvenir à cette explication, en tant qu'elle soit possible aujourd'hui, je crois utile de préciser d'abord les caractères par lesquels le bois autumnal ordinaire diffère du reste de la couche annuelle. C'est seulement en ayant ces différences présentes à l'esprit, qu'on sera en mesure de juger jusqu'à quel point une explication satisfaisante peut être donnée.

La dénomination de bois autumnal est tout aussi inexacte, qu'est insuffisante dans beaucoup de cas la distinction des couches annuelles en deux zones: le bois de printemps et le bois d'automne. L'expression de bois autumnal est inexacte, au moins pour les branches et les rameaux, parce que chez ceux-ci la zone externe de la couche annuelle se forme ordinairement en juillet ou au commencement d'août. Vers le milieu du mois d'août, en effet, l'accroissement normal du bois s'arrête dans les branches de la plupart de nos arbres et de nos arbrisseaux, indigènes ou généralement cultivés. Quant à la distinction susdite, elle est insuffisante, attendu que très souvent on peut distinguer nettement trois zones différentes. C'est ainsi que chez le *Syringa vulgaris*, par exemple, la masse fondamentale de la zone interne de la couche annuelle consiste en fibres libriformiennes, celle de la seconde zone, qui a à peu près la même épaisseur, en trachéides fibreuses, et celle de la zone externe, qui est très mince, en trachéides fibreuses aplaties. Ces zones se distinguent déjà à l'œil nu, l'interne ayant une couleur plus jaunâtre, les deux externes une couleur plus blanchâtre. En pareil cas, il est donc

nécessaire d'admettre, avec M. Rossmann <sup>1)</sup>, une zone de début, une zone moyenne et une zone de clôture. On peut alors, là où on le juge à propos, réunir les deux premières zones sous le nom de bois de printemps et appeler la dernière bois d'automne, afin de laisser subsister ces deux termes consacrés par un long usage.

Les caractères principaux qui rendent les couches annuelles visibles sont au nombre de quatre, et se laissent partager en deux groupes, suivant qu'ils se présentent chez toutes les espèces ligneuses ou sont bornés à un nombre d'espèces plus ou moins grand.

Ceux qui ne manquent jamais sont :

- 1°. la largeur des cellules, en particulier dans le sens radial ;
- 2°. le nombre et la largeur des vaisseaux.

Ceux qui se rencontrent plus rarement sont :

- 3°. l'espèce des organes élémentaires qui se trouvent dans les différentes zones ;
- 4°. l'épaisseur absolue des parois des cellules.

Prenons d'abord les caractères du premier groupe. C'est sur eux exclusivement que repose la visibilité des couches annuelles à l'œil nu, soit que cette visibilité résulte des démarcations fines mais bien tranchées entre les fibres aplaties du bois autumnal et les fibres très larges du bois printanier de la couche annuelle suivante, soit qu'elle dérive de la plus grande abondance des vaisseaux, ou de l'existence d'un cercle de larges vaisseaux, dans le bois du printemps.

Chez toutes les espèces ligneuses où les couches annuelles sont visibles, les cellules du bois autumnal sont plus étroites dans le sens radial que celles du bois printanier ; elles sont, comme on l'exprime, aplaties tangentiellement. Quelquefois le diamètre radial des fibres ligneuses diminue progressivement depuis le commencement de la couche annuelle jusque dans le bois d'automne ; d'autres fois le passage, à la limite de la zone moyenne et de la zone de clôture, est plus ou moins brusque. Comme, suivant M. Sanio <sup>2)</sup>, l'épaisseur absolue des parois est, — à un petit nombre

<sup>1)</sup> J. Rossmann, *Ueber den Bau des Holzes*, Frankfurt 1865, p. 41.

<sup>2)</sup> Sanio, *Bot. Ztg.*, 1863, p. 391.

d'exceptions près, dont il sera question à l'occasion du second groupe, — la même dans les différentes zones, le bois d'automne forme une masse ligneuse plus compacte que le bois du printemps.

Chez la plupart des espèces ligneuses, mais non chez toutes, les vaisseaux sont le plus larges et le plus nombreux dans la zone de début, et diminuent successivement en largeur et en nombre à mesure qu'on se rapproche de la périphérie de la couche (ex.: *Populus*, *Salix*). Dans la zone de clôture ils manquent alors souvent, ou bien ils y sont assez rares. Chez un grand nombre d'espèces ligneuses on trouve dans la zone de début un cercle de vaisseaux très larges, suivis immédiatement, en dehors, de vaisseaux beaucoup plus étroits (ex.: *Fraxinus*, *Quercus*, *Ulmus*). Jusqu'à présent je ne connais pas d'espèces ligneuses où les vaisseaux aient, sur toute l'épaisseur de la couche annuelle, une largeur exactement égale et une distribution parfaitement uniforme<sup>1</sup>); toujours la largeur et le nombre décroissent vers l'extérieur.

Ce fait peut maintenant être expliqué par la variation que la pression du liber éprouve durant la période de végétation des arbres, et par les règles posées au chapitre précédent.

D'un côté, nous savons qu'au printemps, à l'époque où commence la formation du bois, la pression libérienne est faible; qu'elle augmente durant l'été, et devient enfin assez grande pour empêcher toute croissance ultérieure (voir Chapitre II).

D'un autre côté, nous savons que les fibres ligneuses sont d'autant plus larges dans le sens radial, et les vaisseaux d'autant plus larges et plus nombreux, que la pression libérienne (les autres conditions restant les mêmes) a été plus petite (Chapitre IV).

D'où cette conclusion:

*Le fait, que la largeur radiale des fibres ligneuses ainsi que le nombre et la largeur des vaisseaux diminuent de dedans en dehors dans chaque couche annuelle du bois, s'explique en général d'une manière satisfaisante par l'accroissement continu de la*

<sup>1</sup>) M. von Mohl se prononce exactement de la même manière à ce sujet (*Bot. Ztg.*, 1862, p. 290).

*pression du liber*. Les deux principaux caractères du bois autumnal peuvent donc être attribués à la très grande pression libérienne sous laquelle il a dû se développer <sup>1)</sup>).

La production du cercle de vaisseaux, qui chez beaucoup d'espèces se trouve au commencement de chaque couche annuelle et qui est ordinairement déjà perceptible à l'œil nu, doit aussi être mise sur le compte de la faible valeur de la pression libérienne à l'époque où il prend naissance. Cela résulte du fait que, chez ces espèces, un nouveau cercle pareil peut apparaître, sous l'influence d'une diminution artificielle de la pression du liber, au moment de la formation de la zone moyenne (par ex. chez l'*Ulmus*, voir Chap. III).

Quant à savoir si d'autres causes entrent encore en jeu, si par exemple, la pression libérienne restant la même, des différences de structure analogues peuvent provenir de différences dans les matières nutritives ou dans la proportion d'eau, c'est une question à laquelle je ne veux pas toucher. Mes expériences démontrent bien que la pression du liber est une cause des phénomènes observés, mais elles ne prouvent nullement que ce soit la cause unique.

Il nous reste maintenant encore à parler des deux caractères accessoires, par lesquels, chez certaines espèces, le bois d'automne se distingue du bois précédent.

Une différence dans l'épaisseur absolue des parois ne se rencontre, d'après M. Sanio <sup>2)</sup>), que rarement, et ne consiste alors qu'en un fort épaissement des parois radiales des éléments du bois d'automne. Il va sans dire que sous ce rapport on doit toujours comparer, dans les zones successives, des éléments de même espèce, attendu que des éléments d'espèce différente peuvent présenter, même dans l'étendue d'une seule zone, des différences

<sup>1)</sup> Cette proposition a déjà été énoncée, sous forme conjecturale, par M. Sachs, dans la première édition de son *Lehrbuch der Botanik*, 1868, p. 409; une communication préliminaire, tendant à montrer la justesse de cette conjecture, fut insérée par moi dans le *Flora*, 1872, p. 241.

<sup>2)</sup> *Bot. Ztg.*, 1863, p. 394.

d'épaisseur. Ce caractère du bois autumnal dépend-il aussi, là où il existe, de la pression du liber? C'est ce que mes expériences ne nous apprennent pas.

Elles ne décident pas non plus si la pression du liber est pour quelque chose dans la différence qu'on observe, par rapport à la nature des organes élémentaires, entre la zone de début et la zone moyenne chez un petit nombre d'espèces ligneuses (par exemple chez le *Syringa vulgaris*, voir p. 43).

Un cas moins rare que les deux précédents est celui où le bois d'automne possède des organes élémentaires qui manquent dans les deux premières zones des couches annuelles de la même espèce, par exemple, des trachéides vasculaires chez le *Corylus* et le *Carpinus*. D'autres fois il arrive que le bois d'automne tout entier est composé d'une masse fondamentale différente de celle de la zone moyenne, comme on le voit par exemple chez le *Fraxinus excelsior* et l'*Ailantus glandulosa*; chez ces espèces, en effet, le bois d'automne est formé de parenchyme ligneux.

Pour ce dernier cas, mes expériences sur le *Corylus Avellana* et le *Carpinus Betulus*, fournissent quelque lumière, puisque chez ces espèces une diminution artificielle de la pression du liber, à l'époque de la production du bois autumnal, a empêché la formation ultérieure de trachéides vasculaires. Cette observation doit faire regarder comme probable que les différences accessoires, signalées ici entre le bois d'automne et le bois de printemps, seront aussi ramenées, par de nouvelles recherches, sous la dépendance de la pression du liber.

#### EXPLICATION DES FIGURES.

Toutes les figures représentent des coupes transversales des espèces ligneuses étudiées. Les vaisseaux y sont reconnaissables à des contours plus épais, tandis que les cellules à parois indiquées par des lignes doubles sont des fibres ligneuses, c'est-à-dire, suivant les espèces, des fibres libriformiennes ou des trachéides vasculaires. Les cellules dessinées en pointillé sont des cellules de parenchyme ligneux.

Les branches ont toutes été coupées dans l'année même où l'expérience avait

en lieu, et toutes, sauf celle qui a fourni les fig. 14 et 15, lorsque la production ligneuse y était déjà arrêtée depuis longtemps. Par suite, la série supérieure de cellules est toujours, à une couple d'exceptions près, la zone automnale (*c. c.*), soit celle du bois normal, soit celle du bois traumatique.

Dans toutes les figures, les contours extérieurs des cellules ont été relevés avec soin à la chambre claire, puis le dessin a été achevé en le comparant sans cesse avec la préparation. Le grossissement, sauf pour les fig. 10 et 17, est toujours  $\frac{250}{1}$ .

Dans toutes les figures on doit entendre par :

$\frac{1872}{1871}$  la démarcation entre les couches annuelles de 1871 et de 1872.

- c.* le périmètre extérieur du bois, qui touche au cambium; le cambium lui-même n'est figuré nulle part.
- b.* la démarcation entre le bois formé avant le commencement de l'expérience et celui formé après.
- m.* les rayons médullaires.

#### Ière Section.

Diminution artificielle de la pression du liber (fig. 1—10).

P. I, II, Fig. 1—4. *Corylus Avellana*.

Fig. 1. Coupe transversale d'une jeune branche dans laquelle on a pratiqué, le 19 mai 1873, des incisions longitudinales. La couche annuelle 1873 était à ce moment déjà formée jusqu'à la ligne *b. b.*; ce qui se trouve au-dessus de cette ligne s'est développé après la date susdite, entre les incisions longitudinales et par conséquent sous pression libérienne artificiellement réduite. L'abondance plus grande des vaisseaux dans ce bois, comparé au bois formé peu de temps avant le début de l'expérience, est très frappante. On voit aussi que le diamètre radial des cellules est plus grand dans le bois nouveau qu'au côté interne de la ligne *b. b.*

Fig. 2. Incisions longitudinales du 26 juin 1872. Le bois traumatique commence (en *b. b.*) par un cercle de vaisseaux, tandis que le bois normal formé peu de temps avant ne présente pas de vaisseaux dans la partie figurée.

Fig. 3. Incisions longitudinales du 26 juin 1872. Le bois traumatique commence (en *b. b.*) par des vaisseaux beaucoup plus nombreux et des fibres plus larges dans le sens radial que ceux du bois précédent.

Fig. 4. Incisions longitudinales faites le 20 août 1872, pendant la formation du bois d'automne. Au-dessous de la ligne *b. b.* se voit le bois automnal normal, dont la production a été arrêtée par le commencement de l'expérience. A sa place, il s'est formé une couche ligneuse à fibres élargies dans le sens radial, couche terminée (en *c. c.*) à une limite automnale propre. Les vaisseaux étroits, et les trachéides vasculaires du bois automnal normal sont suivis, dans le bois traumatique, de vaisseaux larges.



Pl. III, Fig. 5 et 6. *Viburnum Opulus*.

Fig. 5. Incisions longitudinales du 9 mai 1872. Le nouveau bois commence en *b. b.* par des vaisseaux plus nombreux et des fibres plus larges dans le sens radial.

Fig. 6. Incisions longitudinales faites le 25 août 1872, pendant la formation du bois d'automne. Celle-ci s'arrête à la suite de l'expérience, et, au lieu de trachéides fibreuses aplaties, il s'en forme de très larges.

Pl. III, Fig. 7. *Carpinus Betulus*.

Fig. 7. Incisions longitudinales faites le 20 août 1872, pendant la formation du bois autumnal normal, à laquelle toutefois l'expérience met immédiatement fin. A sa place il se forme du bois à cellules larges et à vaisseaux nombreux. Aux vaisseaux étroits et aux trachéides vasculaires du bois autumnal normal succèdent, dans le bois traumatique, des vaisseaux larges et ronds.

Pl. IV, Fig. 8 et 9. *Ulmus campestris*.

Fig. 8. Incisions longitudinales du 26 juin 1872. Le nouveau bois commence en *b. b.* par un cercle de vaisseaux de même largeur que ceux du bois printanier; ces vaisseaux sont, dans les deux cas, entourés de parenchyme ligneux paratrachéen. On voit d'ailleurs que le bois traumatique a des cellules plus larges que celles du bois normal adjacent.

Fig. 9. Incisions longitudinales du 11 juillet 1872. La formation des fibres aplaties et placées en petites séries radiales du bois d'automne avait déjà commencé; par l'effet de la diminution de pression, il s'est formé une couche de fibres plus larges, distribuées irrégulièrement.

Pl. V, Fig. 10. *Rhamnus cathartica*.

Fig. 10.  $\frac{130}{1}$  (Fibres ligneuses indiquées par des contours simples). Incisions radiales du 17 mai 1873. La partie dessinée de la couche annuelle 1872 montre que dans le bois normal les vaisseaux sont disposés en groupes, entre lesquels se trouvent des champs de fibres libriformiennes, dépourvus de vaisseaux. La couche annuelle 1873 débute normalement, par un cercle de vaisseaux larges; peu de temps après leur formation l'expérience a commencé (en *b. b.*), et le bois nouveau présente partout les vaisseaux distribués sans ordre dans le libriforme.

II<sup>me</sup> Section.

Augmentation artificielle de la pression du liber (fig. 11—17).

Pl. V, Fig. 11. *Populus canescens*.

Fig. 11. Ligature du 12 mai 1872. Tandis que le bois autumnal normal de la couche annuelle 1871 est très mince, le bois de 1872, qui s'est développé sous la ligature, présente une couche très épaisse de fibres aplaties.

Pl. VI, Fig. 12 et 13. *Sambucus nigra*.

Fig. 12. Ligature du 17 mai 1872. Couche épaisse de fibres aplaties, avec très peu de vaisseaux.

Fig. 13. Coupe du bois normal de la même branche, destinée à montrer la très faible épaisseur du bois autumnal normal.

Pl. VII, Fig. 14 et 15. *Salix aurita*.

Fig. 14. Ligature du 4 avril 1872; branche coupée le 23 juin 1872, avant le commencement de la production normale du bois d'automne. Les fibres ligneuses externes sont aplaties à peu près aussi fortement que celles du bois autumnal normal de 1871.

Fig. 15. Bois normal de la même branche. Cette coupe, prise à 5 centimètres au-dessus de la ligature, au même côté que la préparation représentée dans la fig. 14, ne montre pas encore de fibres aplaties. La comparaison des deux figures donne une idée de l'influence de la pression sur l'épaisseur de la couche ligneuse et sur le nombre des divisions qui ont eu lieu dans les cellules du cambium.

Pl. VIII, Fig. 16. *Alnus glutinosa*.

Fig. 16. Ligature du 9 mai 1872. En *b. b.*, par suite de la forte traction exercée sur le cordon, une couche de cellules a été déplacée latéralement et est morte; elle a pris en même temps une coloration brune. Cette couche de cellules était, au moment où la ligature fut appliquée, la dernière formée des couches de fibres ligneuses; elle indique par conséquent la limite entre le bois né avant le début de l'expérience et le bois né après. L'influence de l'augmentation de pression, toutefois, ne se fait sentir que plus tard. La portion dessinée de la couche annuelle 1871 permet la comparaison entre le bois anormal et le bois normal. Cette comparaison montre dans le second une couche très mince, dans le premier une couche très épaisse de fibres aplaties.

Pl. VIII, Fig. 17. *Sarothamnus vulgaris*.

Fig. 17. Grossissement 1 : 37,5. Ligature du 9 mai 1872. Les groupes de vaisseaux sont distingués par des hachures, les champs de libriforme ont été laissés en blanc; les vaisseaux larges ont seuls été dessinés. La couche annuelle 1871 fait connaître la structure normale du bois; celle de 1872 commence de la même manière, et montre ensuite un groupe vasculaire concentrique, auquel succède une couche de fibres ligneuses ne contenant que de très rares petits groupes vasculaires. Cette couche presque dépourvue de vaisseaux est le bois qui a pris naissance sous la pression artificiellement augmentée.