

# Tropisme et bois de réaction provoqués par la force centrifuge

Autor(en): **Jaccard, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse**

Band (Jahr): **49 (1939)**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-33369>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Tropisme et bois de réaction provoqués par la force centrifuge.

Par P. Jaccard.

(Travaux de l'Institut de physiologie végétale de l'E. P. F. Zurich.)

Manuscrit reçu le 28 octobre 1938.

Lors d'une visite au Palais de la découverte à l'Exposition de Paris de 1937, je fus tout particulièrement intéressé par une table tournante sur le bord de laquelle croissaient des graminées en pots. Toutes ces plantes étaient visiblement courbées vers le centre de la table. Une explication sommaire destinée au public relevait l'analogie de réaction de ces végétaux avec la position inclinée prise par des coureurs, vélos ou autos, dans les virages d'une route ou d'un vélodrome. Un observateur non botaniste devait tout naturellement se demander si, vis-à-vis de la force centrifuge engendrée par la rotation de la table tournante, les plantes possédaient un sens de l'équilibre analogue à celui d'un coureur qui, instinctivement, déplace son centre de gravité pour se maintenir en position. N'ayant pas réussi à obtenir de renseignements détaillés sur cette suggestive expérience, je résolus de la répéter non plus avec des plantes herbacées flexibles comme le sont des graminées en herbe avant la maturité, mais avec des plantes ligneuses ayant une certaine rigidité. Cette expérience devait, dans mon idée, compléter celle dont j'ai publié les résultats dans la Revue générale de botanique 1920 sous le titre : « Inversion de l'excentricité produite par la force centrifuge. »

Dans cette expérience, effectuée au cours de l'été 1919 en plein air sur la terrasse attenante à mon laboratoire, j'avais soumis de petits arbres en pots, conifères et feuillus, à une rotation continue *dans le plan vertical* au moyen du dispositif représenté par la fig. 1, dispositif grâce auquel une rotation de 7 tours à la minute développait une force centrifuge égale à  $\frac{1}{10}$  de la valeur de g. Les rameaux plus ou moins horizontaux des épicéas et des tilleuls ainsi traités présentèrent *une inversion de leur excentricité habituelle*, c'est-à-dire une épitrophie chez les résineux qui sont normalement hypotrophes et une hypotrophie chez le tilleul dont les branches horizontales sont, dans leur position normale, régulièrement épitrophes. J'en conclus que, soit l'épitrophie soit l'hypotrophie des branches horizontales de ces deux types de végétaux est due à l'action mécanique de la pesanteur, en particulier aux tensions — compressions antagonistes qu'elle engendre sur leurs deux côtés opposés, puisque une réaction analogue, mais de sens inverse peut être

obtenue par l'action mécanique d'une autre force, agissant dans le cas de mon expérience, en sens inverse de celle de la pesanteur.

J'étais impatient de voir comment se comporteraient de petits arbres tant feuillus que résineux soumis à une force centrifuge agissant non plus sur les rameaux de ces plantes dans le plan vertical, mais sur leur tige dans le plan horizontal. La fig. 2 montre la disposition géné-

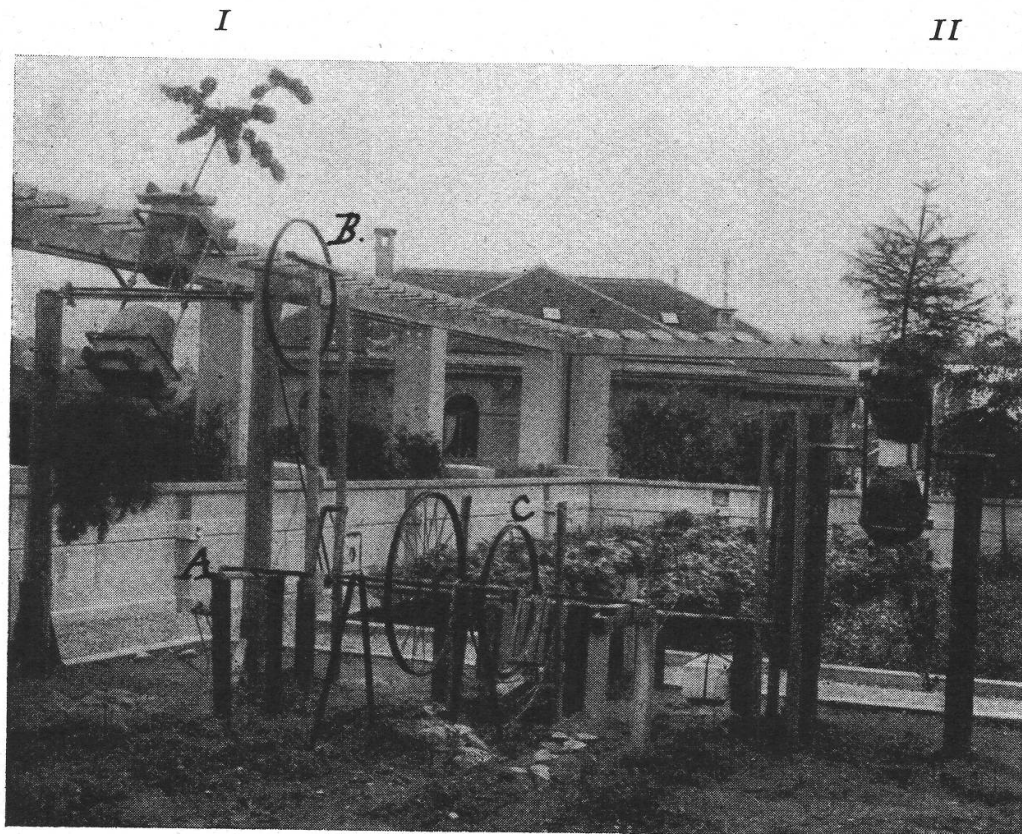


Fig. 1.

Grands rotateurs pour l'étude du géotropisme et de l'action de la force centrifuge sur la croissance excentrique.

rale de cette expérience effectuée, non pas à l'air libre comme la précédente, mais dans un local à température et à humidité sensiblement constantes. Quant à l'éclairage, il était obtenu au moyen de 6 lampes de 300 watts placées de façon à obtenir sur toute la surface de la table tournante une intensité lumineuse égale, tant sur le côté interne que sur le côté extérieur des plantes, ceci afin d'éliminer toute action phototropique unilatérale. Les lampes étant suspendues à 1,20 m au-dessus de la table tournante, la portion feuillée de nos plantes recevait une luminosité de 3000 Lux environ, suffisante pour permettre une assimilation chlorophyllienne et une croissance normales. Un interrupteur automatique assurait l'éclairage diurne de 6 h. du matin jusqu'à 21 h. soit durant 15 h. les plantes étant maintenues à l'obscurité de 21 h. à 6 h.



La température oscillait entre 25 et 28° C; l'humidité de l'air variait généralement entre 60 et 70° hygrométriques, mais descendait fréquemment à 50° grâce à un système d'aération. Chaque pot, maintenu par un grillage métallique et pourvu à sa partie inférieure d'une soucoupe, recevait tous les deux ou trois jours 100 puis 200 cm<sup>3</sup> d'eau ou de solution nutritive de Pfeffer diluée.

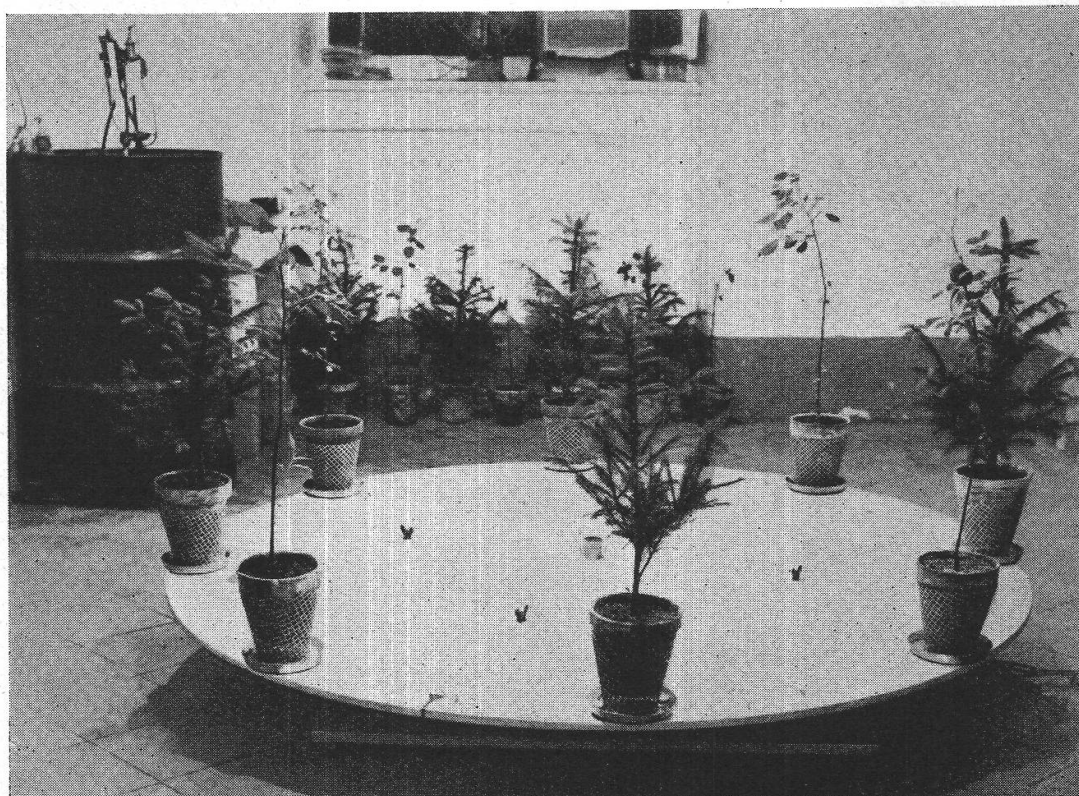


Fig. 2.

Vue d'ensemble de la table tournante utilisée pour étudier l'action de la force centrifuge sur la croissance des plantes.

Au moyen d'un moteur ad hoc, notre table ainsi que les 8 pots placés sur son pourtour et soigneusement équilibrés quant à leur poids, effectuaient 20 tours à la minute. Le rayon de la table étant de 85 cm et son diamètre 1,70 m, la force centrifuge développée par la rotation atteignait, comme nous l'établirons plus loin, environ 40% de la valeur de *g*. L'expérience débuta le 27 mai, pour se terminer le 6 septembre, soit au bout de 3 mois et  $\frac{1}{3}$ , temps pendant lequel nos 8 plantes se sont développées normalement, sans montrer aucune anomalie visible; par contre, toutes, à l'exception d'une seule, présentaient une courbure caractéristique. A cet égard les conifères (épicéas) et les feuillus (aunes) se comportèrent différemment. Tandis que les épicéas, trois d'entre eux du moins, montraient une courbure de la tige dirigée nettement vers le



centre de la table (fig. 3), les aunes à tiges plus flexibles étaient visiblement courbés en sens inverse du mouvement de rotation et de la résistance de l'air (fig. 4).



Fig. 3.

Épicéa n° 1 (*Picea excelsa*) courbé vers l'intérieur de la table sous l'effet de la force centrifuge. La portion supérieure de la tige fait un angle de 21° avec la verticale.

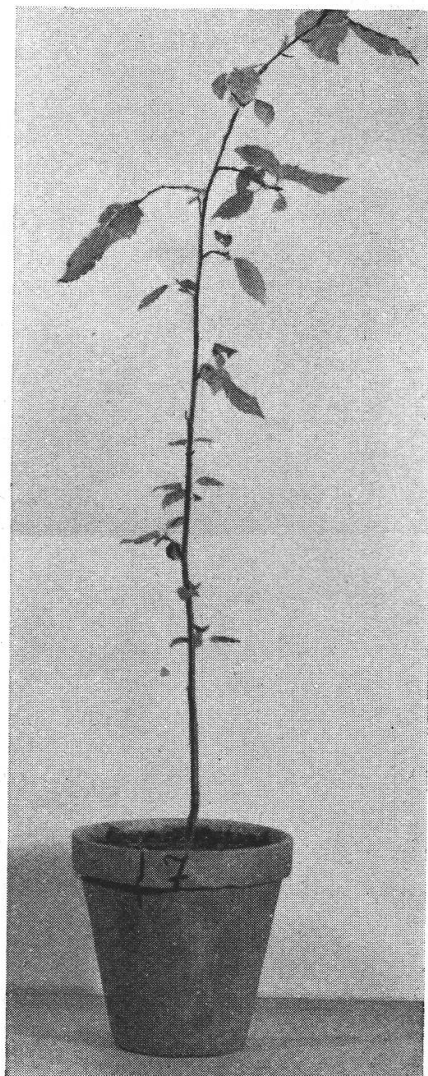


Fig. 4.

Aune (*Alnus incana*) dont la portion supérieure s'est courbée sous l'effet du vent de rotation.

L'épicéa exempt de courbure ayant une tige plus forte que celle des épicéas courbés, la différence de comportement observée chez nos plantes paraît due à la rigidité plus ou moins grande de leur tige; nous reviendrons d'ailleurs sur ce point. Le fait que, même en l'absence de courbure, le bois de la tige de l'épicéa n° 4 présente, comme nous l'indiquons plus loin, une différenciation anatomique très nette entre le côté

externe et le côté interne tourné vers le centre de la table tournante, parle en faveur de cette manière de voir (fig. 5 et 6).

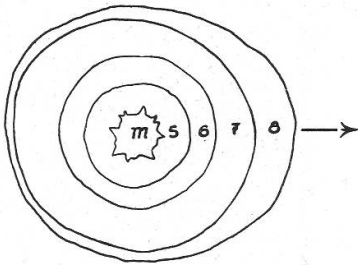


Fig. 5.

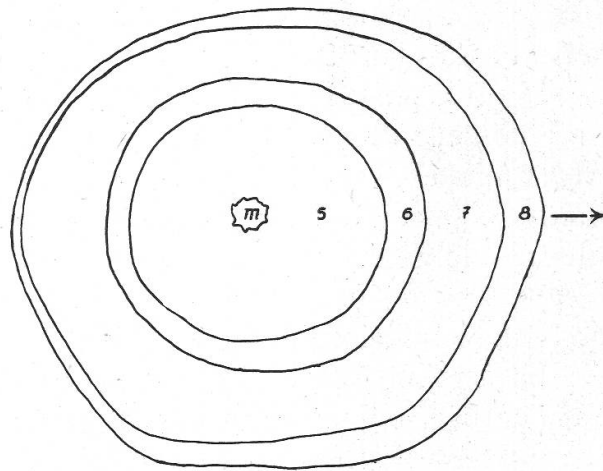


Fig. 6.

Fig. 5 et 6

montrant la croissance excentrique du bois formé au cours de l'expérience chez l'épicéa n° 1 section 8 (Fig. 5) et chez l'épicéa n° 4 section 6 (Fig. 6) m = moelle, 5, 6, 7, 8 les anneaux successifs de 1935 à 1938. Diamètre effectif du corps ligneux: pour le n° 1 5½ mm et pour le n° 4 9 mm. La flèche → indique la direction de la résultante de la force centrifuge et de la gravitation. Les deux figures concernent une portion non courbée de la tige.

\* \* \*

Examinons maintenant les caractères anatomiques du bois de réaction qui accompagne la courbure des tiges.

### A. Chez les conifères.

*Epicéa n° 1.* Courbure très marquée de la moitié supérieure de la tige, formant avec la verticale un angle de 20 à 21° dans la direction du centre de rotation (fig. 3). Bois de réaction (bois rouge) visible à la loupe sur le côté convexe de toutes les sections 1 à 10 de la tige.

Diamètres des diverses sections de la tige (cylindre ligneux seulement, sans l'écorce) de haut en bas :

Section	2	2 ½ mm
»	3	3 »
»	5	4 »
»	7	5 ¼ »
»	10	6 ½ »
»	11	7 ½ »

Sur le côté interne concave de la tige, l'épaisseur relative du bois formé au cours de l'expérience diminue du haut de la tige vers le bas,

surtout à partir du milieu (section 5) tandis qu'elle augmente sur le côté convexe externe. A la base de la tige (section 11) l'anneau 1938 mesure 10 divisions micrométriques sur le côté concave et 110 sur le côté convexe. (Toutes nos mesures micrométriques ont été faites avec un micromètre oculaire n° 2 et un objectif Leitz n° 5.)

D'autre part, tandis que le bois du côté concave est formé sur toute son épaisseur par des trachéides conductrices de section rectangulaire à parois minces, celui du côté convexe (bois de réaction) montre des trachéides à parois épaisses, arrondies, se colorant en jaune foncé avec le chlorure de zinc jodé, et présente dans la portion moyenne de l'anneau le caractère de *bois de compression* tel qu'on l'observe habituellement sur le côté inférieur comprimé des branches de conifères.

La section 5 faite à mi-hauteur de la tige, soit à la base de la portion courbée, présente les caractères suivants :

Côté étroit interne (tourné vers le centre de la table) 20 divisions micrométriques d'épaisseur, formé uniquement de trachéides conductrices quadrangulaires à parois minces, à caractère de bois de printemps (fig. 7).

Le côté externe, par contre, mesure 42 divisions micrométriques. L'anneau 1938 débute par 3 à 4 assises de trachéides conductrices, puis se continue par 28 à 29 assises de trachéides à section arrondie, très régulières, formant le bois d'été; l'anneau se termine par quelques assises de trachéides aplaties sans caractère particulier, constituant le bois d'automne (fig. 8).

*L'épicéa n° 4* dont la tige, sauf la pousse terminale inclinée vers le centre de rotation, ne présentait, ainsi que nous le disons plus haut, aucune courbure visible, montre cependant l'existence d'un bois de réaction caractéristique semblable à celui des épicéas 1, 2 et 3. La section 1, voisine du sommet et mesurant 4 mm de diamètre, ne présente il est vrai aucune différenciation anatomique du bois formé au cours de l'expérience; par contre, on observe à ce niveau-là une faible excentricité en faveur du côté externe qui mesure 30 divisions micrométriques, tandis que le côté interne (dans la direction du centre de la table) n'a que 14 divisions d'épaisseur.

La section 5, effectuée 5 cm plus bas et qui mesure 4½ mm de diamètre, montre déjà une légère différenciation anatomique; le côté étroit interne, large de 13 divisions micrométriques, est formé uniquement de trachéides printannières; le côté large, externe, de 40 divisions micrométriques d'épaisseur, possède par contre des trachéides moins régulièrement quadrangulaires, plutôt pentagonales, moins anguleuses, faiblement arrondies, à parois plus épaisses et à coloration plus foncées que celles du côté étroit. La différenciation s'accroît dans la section 4 mesurant 6 mm de diamètre; le côté étroit interne de 12 divisions micrométriques de largeur est formé uniquement de tissu conducteur (tra-



chéides printannières), tandis que sur le côté large (38—40 divisions micrométriques) la portion moyenne correspondant au bois d'été est formée de trachéides nettement arrondies à parois épaisses se colorant fortement; au début et à la fin de l'anneau, les trachéides sont quadrangulaires et présentent les caractères habituels du bois de printemps et du bois d'automne.

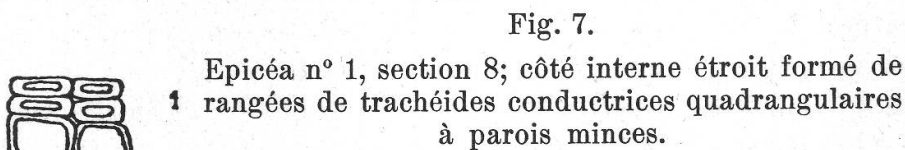


Fig. 7.

Epicéa n° 1, section 8; côté interne étroit formé de rangées de trachéides conductrices quadrangulaires à parois minces.

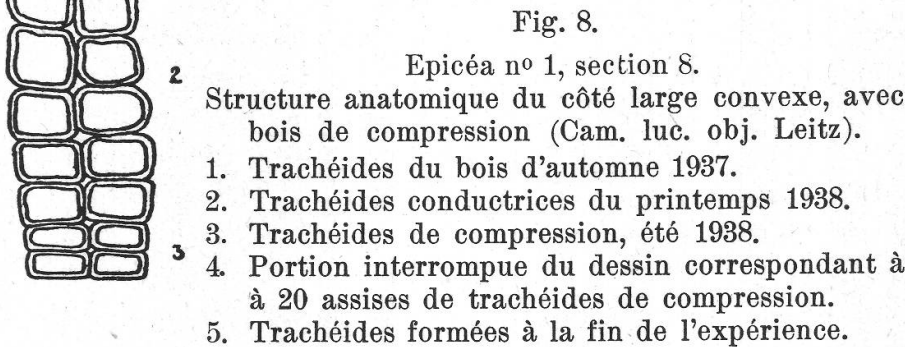


Fig. 8.

Epicéa n° 1, section 8.

Structure anatomique du côté large convexe, avec bois de compression (Cam. luc. obj. Leitz).

1. Trachéides du bois d'automne 1937.
2. Trachéides conductrices du printemps 1938.
3. Trachéides de compression, été 1938.
4. Portion interrompue du dessin correspondant à 20 assises de trachéides de compression.
5. Trachéides formées à la fin de l'expérience.

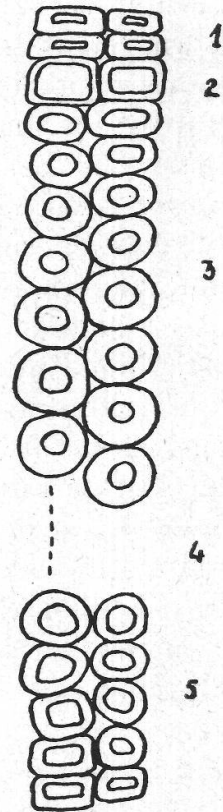


Fig. 8.

Fig. 7.

Sur la section 6, de 9 mm de diamètre, l'excentricité ainsi que la différenciation anatomique s'accroissent; le côté étroit mesurant 15 divisions micrométriques est formé de trachéides printannières. Le côté large (45 divisions micrométriques) est formé dans sa partie centrale de trachéides arrondies.

Les épicéas n° 2 et 3 dont la tige présentait une courbure analogue à celle du n° 1 et dont la moitié supérieure faisait avec la verticale un angle de 20° environ, ont été mis en terre en vue d'observer leur redressement géotropique au cours de la prochaine saison de végétation.

### B. Feuillus.

*Alnus n° 7.* Courbure de la portion supérieure de la tige dans la direction du vent produit par la rotation (fig. 4). Les sections transversales de la tige présentent au voisinage du sommet une légère amphixy-

lie dont le grand axe est tout d'abord perpendiculaire à la direction de courbure; vers la base de la tige, les sections sont plus ou moins obovées, l'amphixylie s'accroît et s'oriente dans le sens du rayon de la table tournante. L'examen anatomique donne les renseignements suivants :

Sections 1 et 2, bois sans différenciation histologique apparente. Toutefois, contrairement à ce que l'on observe habituellement, le bois formé dans la seconde moitié de l'expérience est moins serré, soit plus poreux qu'au début, ce qui provient sans doute du développement plus tardif des feuilles et de la plus forte transpiration qui en résultait. A partir de la section 3, l'amphixylie s'accroît dans le sens de la courbure; le côté convexe ainsi que le côté concave mesurent chacun 40 divisions micrométriques, tandis que le flanc droit atteint 50 divisions micrométriques et le flanc gauche 30 divisions seulement. Ces différences résultent selon toute évidence, comme le montre le film cinématographique que nous avons pris, des torsions dues au vent de rotation qui agite tout spécialement la portion supérieure feuillée de la tige.

*Alnus* n° 8. Portion supérieure de la tige courbée en sens inverse de la rotation par l'effet du vent. La section 1, à 10 cm du sommet végétatif, est elliptique, aplatie dans le sens de la rotation. Anneau 1938 sans différenciation histologique visible.

Section 2 presque circulaire.

Section 3 : Bois formé durant l'expérience (anneau 1938) plus large du côté convexe de la courbure où il mesure 60 divisions micrométriques contre 25 pour le côté opposé. La partie moyenne du côté convexe est formée de *fibres de tension typiques* à épaissement interne brun-rouge avec le chlorure de zinc iodé. Le début et la fin de l'anneau présentent un bois normal, tant sur le côté large que sur le côté opposé étroit.

Section 4 : Côté convexe large de 60 à 65 divisions micrométriques contre 25 divisions pour le côté opposé. Sur le côté convexe, la zone médiane de l'anneau est constituée comme dans la section 3 par des trachéides de tension, mais avec parois un peu moins épaisses.

Section 5 : Côté large de 50 à 53 divisions avec un petit nombre seulement de fibres de tension. Le côté étroit (opposé au sens de la rotation) n'a que 15 à 18 divisions micrométriques de largeur.

Section 6 : Pas trace de fibres de tension; côté large 65 divisions, côté étroit 20 divisions micrométriques.

Section 7 : Pas de fibres de tension; abondance de parenchyme amylofère. Diamètre du corps ligneux : 5¼ mm dans la direction large de l'anneau et 5 mm perpendiculairement à cette direction.

Tant la direction de courbure des tiges que la forme de leur section transversale et l'inégal accroissement du bois, permettent de conclure que, chez *Alnus*, les particularités décrites ci-dessus sont dues essentiel-

lement à la force du vent produit par la rotation. Le plus grand accroissement du bois dans le sens de la rotation, c'est-à-dire du côté courbé par le vent, correspond à l'épixylie habituelle des branches des feuillus ployées par la pesanteur.

\* \* \*

En résumé, nos plantes se trouvaient, durant notre expérience, soumises à trois forces différentes : la pesanteur, la force centrifuge et la résistance de l'air résultant de leur mouvement de rotation. Chez les conifères, l'action de la pesanteur s'est manifestée par une faible hypotrophie des rameaux dont la position plus ou moins horizontale n'a guère été modifiée par la rotation et qui ne présentaient aucune courbure visible dans le plan de rotation. Par contre, *l'action de la force centrifuge a été dominante chez les épicéas 1, 2 et 3 dont la partie supérieure flexible s'est courbée vers le centre de la table tournante.* C'est à cette même force qu'il faut attribuer la formation, sur le côté convexe de ces tiges, d'un bois de réaction constitué en grande partie par des trachéides arrondies, à parois épaisses, striées et fortement lignifiées, ainsi qu'un fort accroissement d'épaisseur de ce côté-là.

Sollicitée vers l'extérieur par la force centrifuge dans le prolongement du rayon de rotation, la tige de nos plantes se trouvait donc soumise à une tension longitudinale sur son côté interne (tourné vers le centre de la table tournante) et par contre-coup à une compression longitudinale sur le côté opposé externe. Chez les conifères, l'accroissement majoré s'effectuant sur le côté comprimé du cambium, *c'est donc sur le côté externe que devait apparaître le bois de réaction et l'allongement correspondant*, cause de la courbure vers le centre de la table.

Nous n'avons pas, il est vrai, observé sur le côté interne de nos tiges de différenciation anatomique telle qu'elle apparaît sur le côté supérieur tendu des branches d'épicéa horizontales ou infléchies vers le sol. Malgré la force centrifuge qui tendait à les courber vers l'extérieur, c'est finalement vers l'intérieur, comme nous l'avons vu, que se fait la courbure. *L'absence de bois de réaction anatomiquement différencié sur le côté interne de la courbure peut s'expliquer par l'action simultanée de deux forces opposées, la force fléchissante développée vers l'extérieur par la rotation et la compression passive sur le côté concave de la courbure.*

On peut admettre que ces deux actions agissant d'une façon continue durant l'expérience, se neutralisent en quelque sorte, comme cela se produit chez les tiges ployées alternativement dans les diverses directions par l'effet du vent et chez lesquelles les tensions-compressions alternatives se compensent sans entraîner la formation de bois de réaction différencié. D'ailleurs, soit sur le côté tendu soit sur le côté comprimé d'une tige ou d'une branche à croissance excentrique, les pre-



mières assises de bois sont régulièrement constituées par des éléments conducteurs à parois minces, ce qui parle en faveur de la prédominance des exigences physiologiques de la nutrition sur les dispositions mécaniques assurant la solidité et l'orientation de la plante.

Les tiges déviées de leur position normale réagissent donc d'une manière analogue vis-à-vis de l'action mécanique de la pesanteur, de la force centrifuge ou du vent, et cela

- 1° par des courbures,
- 2° par une croissance excentrique
- et 3° par une différenciation anatomique du bois de réaction.

Vis-à-vis de l'action mécanique de ces trois facteurs, tant les épicéas que les aunes ont développé leur bois de réaction sur le côté convexe des tiges courbées, c'est-à-dire sur le côté en voie d'allongement.

Nous laisserons de côté pour le moment les feuillus (*Alnus*) nous réservant de renouveler notre expérience l'an prochain en utilisant des plantes de diverses essences (chêne, érable, tilleul, robinier) à tige suffisamment rigide pour n'être pas courbées par le vent de rotation. Nous espérons obtenir ainsi une réaction plus nette vis-à-vis de la force centrifuge.

Pour en revenir aux conifères, relevons le fait que la direction de courbure de nos épicéas 1, 2 et 3 correspond tout à fait à la résultante des deux forces agissant sur eux, à savoir la gravitation et la force centrifuge. Le calcul montre en effet que la force centrifuge correspondant à une vitesse de 20 tours par minute à la périphérie d'un disque horizontal de 85 cm de rayon atteint environ 40 % de la valeur de  $g$ , ou plus exactement 37,9 %, ainsi que l'indique le calcul suivant que je dois à l'obligeance de M. le Prof. H. Favre.

Soit :

- $r$  le rayon de la trajectoire circulaire d'une masse  $m$
- $v$  la vitesse constante avec laquelle se meut cette masse
- $\omega$  sa vitesse angulaire
- $n$  le nombre de tours par minute
- $g$  l'accélération de la pesanteur
- $G = mg$  le poids de la masse  $m$
- $F$  la force centrifuge agissant sur  $m$
- $\alpha$  l'angle avec la verticale de la résultante  $R$  des forces  $G$  et  $F$ .

Nous obtenons :

$$v = \omega \cdot r \quad G = m \cdot g$$

$$F = m \frac{v^2}{r} = m \frac{(\omega r)^2}{r} = mr \omega^2$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{G} = \frac{mr \omega^2}{mg} = \frac{r \omega^2}{g} = \frac{r \pi^2 n^2}{900 g}$$

$$\alpha = \text{arc tg} \left( \frac{r \pi^2 n^2}{900 \cdot g} \right)$$

ce qui, dans notre cas, donne la valeur suivante pour  $\alpha$  :

$$\begin{aligned} n &= 20 \text{ t/min.} \quad r = 0.85 \text{ m.} \quad g = 9.81 \text{ m/sec.} \\ \alpha &= \text{arc tg} \cdot \left( \frac{0.85 \cdot 3.1416^2 \cdot 20^2}{900 \cdot 9.81} \right) = \text{arc tg} \cdot (0.379) \\ &\quad \text{(soit ca. 38 \% de g)} \\ \alpha &= 20^\circ 45' \end{aligned}$$

angle qui définit la direction du champ de force sollicitant la plante en rotation.

*Or cet angle est précisément celui que nos tiges courbées font avec la verticale, soit 20 à 21°.*

La résultante des deux forces sus-indiquées est orientée dans le prolongement du rayon *vers l'extérieur*; elle exerce donc sur le *côté externe* de nos épicéas une *compression longitudinale*. Il en résulte, comme on l'observe d'une manière générale chez les conifères soumis à une action de ce genre 1° un accroissement d'activité du cambium, soit un élargissement de l'anneau ligneux, et 2° une différenciation anatomique du bois de compression à trachéides arrondies. L'accroissement excentrique ainsi produit se traduit par une courbure, soit un allongement du côté externe de la tige, laquelle se penche *vers l'intérieur* de la table tournante. Cette réaction est en réalité tout à fait comparable à celle d'une branche horizontale de conifère, dont l'extrémité se redresse géotropiquement et dont le côté inférieur, sous l'influence de la pesanteur, devient hypotrophe en formant un bois rouge constitué par des trachées de compression. Dans les deux cas, le bois de compression se forme sur le côté convexe de la courbure; dans un cas c'est l'action mécanique de la pesanteur qui produit la compression longitudinale, dans l'autre c'est la force centrifuge. Ce sont là sans aucun doute les causes *immédiates* ou primaires de la réaction observée. Dans quelle mesure les trachéides de compression grâce à leur structure spiralée contribuent-elles, en agissant à la façon de ressorts ainsi que l'admet E. M ü n c h, à provoquer l'allongement du côté comprimé et par suite la courbure de l'organe dans le sens favorable à son équilibre géotropique, c'est ce qu'il est assez difficile de dire.

Il est tout aussi plausible d'admettre que dans la croissance excentrique, tous les éléments ligneux s'allongent, et non seulement les cellules à parois spiralées; cet allongement général, joint à l'inégale épaisseur des deux côtés opposés, entraîne la courbure de l'organe. Toutefois, la conclusion à laquelle E. M ü n c h arrive à la suite d'une étude approfondie de cette question (« Statik und Dynamik des schraubigen Baues der Zellwand des Druck- und Zugholzes ») mérite d'être relevée :

« *Le but* de la structure spiralée des parois cellulaires consiste, dit-

il, à transformer des forces longitudinales en forces transversales et inversément. » (Loc. cit. p. 423 : « ... der Zweck des schraubigen Baues der Zellwände ist demnach, Längskräfte in Querkkräfte und Querkkräfte in Längskräfte umzuformen. Dadurch werden dynamische Längenänderungen zum Zwecke von Richtungsbewegungen erzielt. »)

L'allongement du bois de compression proviendrait, d'après cet auteur, de ce que, sous l'influence d'une excitation tropistiquie, les cellules du cambium en se transformant en trachéides de compression, s'allongent. Ainsi, tandis que E. M ü n c h considère l'excitation tropistiquie comme facteur primaire de la différenciation anatomique du bois de compression et justifie sa formation par des raisons finalistes, je crois pouvoir, pour ma part, l'attribuer à une action mécanique, agissant directement sur les cellules du cambium.

Comme nous l'indiquons au début, seule la partie supérieure flexible de la tige de nos épicéas s'est courbée; la moitié inférieure ayant un plus fort diamètre est restée parfaitement droite. Dans la portion courbée, la force centrifuge dépassait la résistance de la tige à la flexion, dans le second cas elle lui restait inférieure. La compression longitudinale s'exerçant néanmoins aussi bien vers le bas que vers le haut de la tige, l'accroissement excentrique et la différenciation anatomique se manifestent également sur la portion restée droite, mais sans arriver à vaincre la rigidité du bois déjà formé, et à provoquer la courbure. *Les tiges de nos plantes réalisent ainsi leur meilleure position d'équilibre vis-à-vis des forces fléchissantes, vent ou force centrifuge agissant sur elles, par une réaction spécifique dont les corps inanimés sont incapables.* Cette réaction consiste, chez les conifères, dans l'accélération de croissance qui se manifeste sur le côté soumis d'une façon prolongée à une compression longitudinale, l'excentricité qui en résulte ne s'accompagnant d'une courbure visible que si la force fléchissante est supérieure à la rigidité du corps ligneux sur lequel elle s'exerce. Nous avons ici une différence comparable, dans une certaine mesure, à celle qu'on observerait entre un camion lourd et une voiture légère roulant en rond à forte allure sur une piste horizontale. Grâce à son poids, le camion resterait adhérent à la piste par les quatre roues, tandis que la voiture légère serait soulevée, entraînant ainsi un changement de son centre de gravité et son inclinaison sur les deux roues extérieures.

On peut se demander pourquoi une force centrifuge n'atteignant que 38 % de la valeur de  $g$  est capable de dévier la tige de nos plantes hors du plan de gravitation, autrement dit pourquoi, au lieu de se courber, nos tiges ne restent pas verticales, se bornant à élaborer un bois de réaction juste suffisant pour les maintenir dans leur position géotropique normale.

La raison en est que, dans notre expérience, la force centrifuge bien qu'inférieure à la valeur de  $g$ , exerce une *action de tension-com-*



*pression différente sur le cambium des deux côtés opposés de la tige*, tandis que dans la croissance géotropique normale pareil antagonisme n'existe pas; la tige s'accroissant dans un champ de forces symétriquement orienté autour de l'axe longitudinal, l'assise génératrice libéro-ligneuse s'accroît également sur tout son pourtour, engendrant une structure concentrique. Il suffit par contre qu'une force fléchissante même plus faible que celle de *g*, mais agissant d'une façon continue, exerce sur la tige des tensions-compressions antagonistes pour qu'aussitôt se manifeste une croissance excentrique due à l'activité inégale du cambium sur deux côtés opposés.

C'est ce qui se produit également lors du redressement géotropique d'une branche. Bien que la cause initiale de ce redressement soit tout d'abord d'ordre physiologique et conforme aux exigences de l'assimilation, de la transpiration et des corrélations qui s'établissent à cet égard entre le sommet principal et les branches, le mécanisme de ce redressement est comparable à celui qui détermine la courbure de nos plantes sous l'influence de la force centrifuge.

---

#### Bibliographie spéciale.

- J a c c a r d , P. : Inversion de l'excentricité des branches produite expérimentalement par la force centrifuge. (Revue générale de botanique, Paris, 1920, Vol. 32, p. 273, 2 pl.)
- Exzentrisches Dickenwachstum und anatomisch-histologische Differenzierung des Holzes. (Berichte der schweiz. botan. Gesellschaft, 1938, Bd. 43, S. 491 bis 537. 36 Textfiguren, 3 Tafeln.)
- H a r t m a n n , F. : Ursachen und Gesetzmässigkeit exzentrischen Dickenwachstums bei Nadel- und Laubbäumen. (Forstw. Centralblatt, 54, S. 497, 1932, Berlin.)
- M ü n c h , E. : Statik und Dynamik des schraubigen Baues der Zellwand besonders des Druck- und Zugholzes. (Flora, 32, S. 357, 1938.)
-