

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 46 (1910)
Heft: 169

Artikel: Étude sur la réaction géotropique
Autor: Maillefer, Arthur
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-268876>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 07.10.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE. LABORATOIRE DE BOTANIQUE.

ÉTUDE SUR LA RÉACTION GÉOTROPIQUE

PAR

ARTHUR MAILLEFER

Le temps de réaction est le temps qui s'écoule entre le moment où l'on soumet une plante à l'action d'un agent capable de produire une excitation et le moment où la plante commence à réagir.

Cette définition semble claire et cependant la valeur du temps de réaction a été trouvée comprise entre une et deux heures par *Czapek* et *Bach* et une fraction de seconde par Mlle *W. Polowzow*. La différence provient de ce que les deux premiers notaient le commencement de la courbure à l'œil nu et que Mlle *Polowzow* se servait du microscope.

Mlle *Polowzow*¹ expérimentait de la façon suivante : elle plaçait pendant une, deux ou trois minutes une plante de *Secale* ou d'*Helianthus* horizontalement, puis les replaçait dans la verticale ; à l'aide d'un microscope horizontal elle suivait l'extrémité de la plante et notait de minute en minute le déplacement de cette extrémité sur le micromètre oculaire du microscope ; elle put ainsi constater que la courbure commençait immédiatement ou au moins dans

¹ *W. Polowzow*. Untersuch. üb. Reizerscheinungen bei den Pflauzen, Iena, 1908.

un temps inférieur à celui qui était nécessaire pour mettre le microscope au point.

Comme le fait observé par Mlle *Polowzow* avait une importance considérable pour la mesure de l'intensité du géotropisme, j'ai cru bon de refaire ses expériences, en les modifiant toutefois pour les rendre plus susceptibles d'être étudiées systématiquement.

Méthode et appareils employés.

La plante que j'ai utilisée pour mes expériences est *l'avoine blonde hâtive de Martinet* qui m'avait déjà servi pour mes expériences sur l'induction géotropique. Les graines étaient débarrassées de leurs glumes et mises gonfler dans l'eau pendant 48 heures ; au bout de ce temps, la tigelle faisait déjà légèrement saillie et une ou deux racines étaient déjà visibles ; les graines étaient alors placées dans des trous percés à l'aide d'un clou dans la sciure contenue dans des vases cylindriques en porcelaine dégourdie ; les trous étaient forés obliquement et les graines placées de telle façon que la tigelle (coléoptile) fut verticale et ne put être gênée par rien dans sa croissance ; chaque vase recevait trois graines placées au sommet d'un triangle.

Aussitôt ensemencés, les pots prenaient place sur un clinostat à plusieurs platines¹ dont je donne ici la photographie fig. 1 ; les vases restaient sur le clinostat jusqu'à ce que les coléoptiles eussent atteint la longueur voulue et à cinq heures de l'après-midi les vases en porcelaine contenant les plantes étaient placés chacun dans une boîte en zinc exactement tournée et munie d'un couvercle fermant hermétiquement ; les boîtes en zinc étaient alors posées sur une

¹ Cet appareil ainsi que le suivant a été construit par M. *Henri Bigler*, mécanicien à Lausanne.

table d'ardoise munie de vis calantes et placée exactement horizontalement.

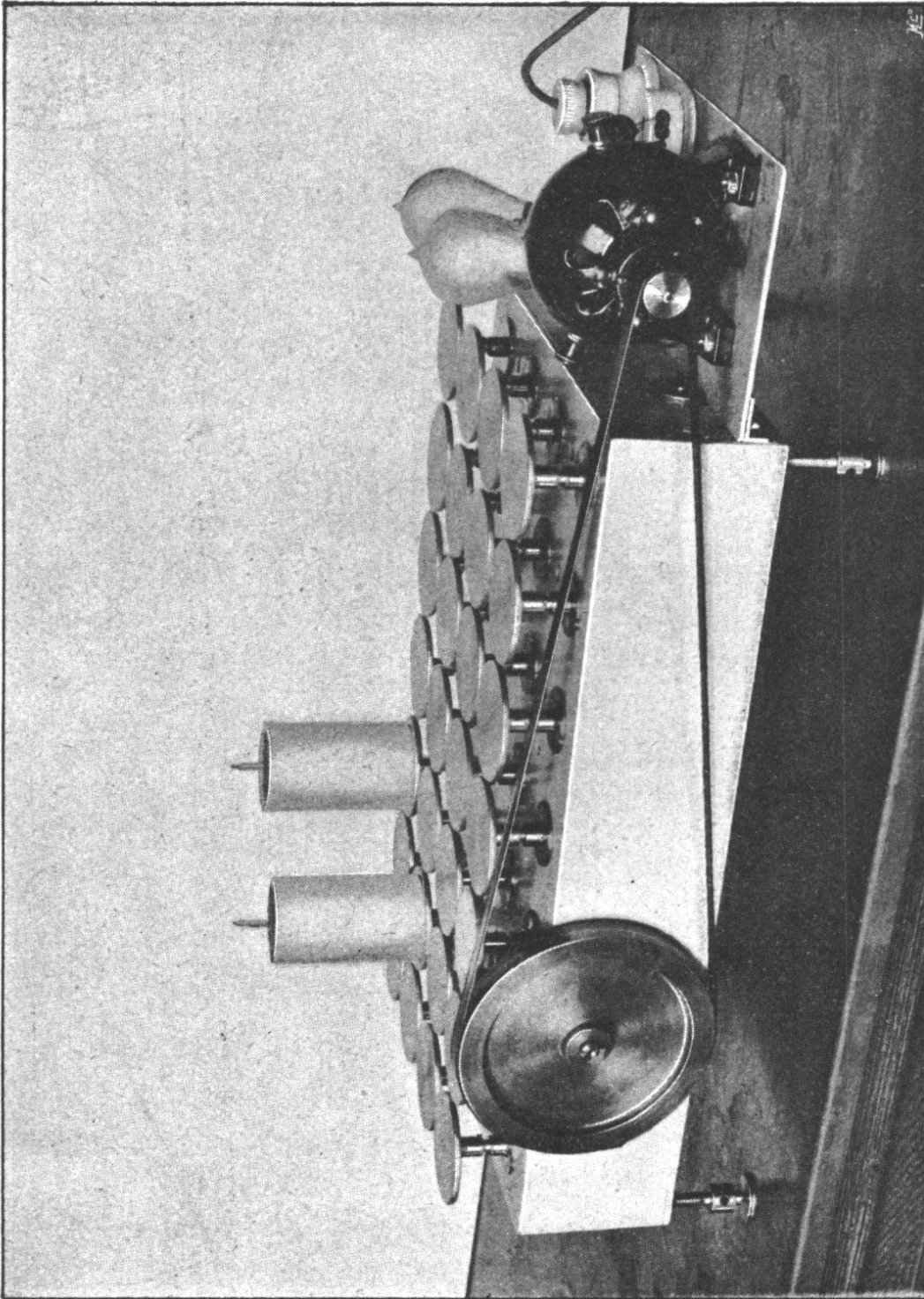


FIG. 1.

Le lendemain matin, les plantes étaient placées avec la boîte dans l'appareil d'expérience.

Ce dernier (fig. 2) se compose d'une caisse fermée par une porte (qui a été enlevée sur la photographie afin de

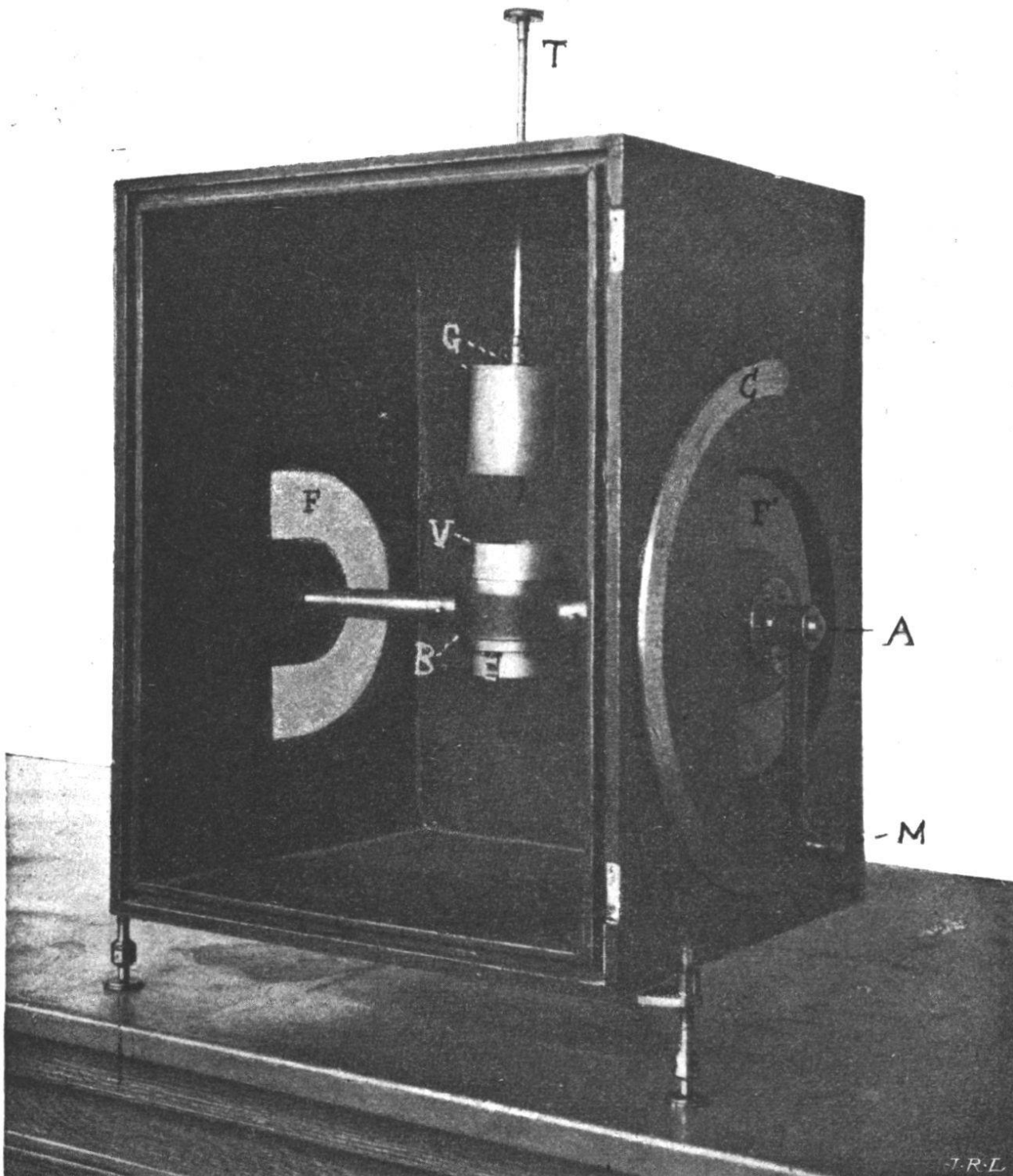


FIG. 2.

laisser voir l'intérieur); un axe A traverse la caisse de part en part et porte en son milieu un collier B dans lequel on place la boîte en zinc V contenant la plante. A

l'extrémité de l'axe, en dehors de la caisse est une manivelle M se mouvant sur un cercle C gradué en degrés. Une fois la boîte en place, on abaisse la tige T traversant la caisse dans une garniture à étoupe et on y fixe le couvercle de la boîte de zinc à l'aide d'une goupille G. La caisse refermée, on n'a qu'à tirer sur la tige T pour ouvrir la boîte sans que la plante ait pu subir l'influence de la lumière. La caisse de l'appareil est percée de deux fenêtres semi-circulaires F et F' garnies de plaques de verre recouvertes d'une couche de gélatine colorée au méthyl-orange d'après le procédé décrit par *Pringsheim*.¹ Ces vitres ne laissent passer que les rayons rouges, orangés, jaunes et verts qui n'ont pas d'action phototropiques. Je m'en suis du reste assuré en bouchant l'une des fenêtres et en laissant des plantes d'avoine dans l'appareil; après une journée, les plantes ne présentaient pas trace de courbure. L'appareil possède donc ces qualités précieuses que les plantes sont soustraites aux actions phototropiques tout en restant nettement visibles pour celui qui fait les expériences.

Une fois le couvercle de la boîte de zinc enlevé, on peut incliner la plante à l'aide de la manivelle M et lui faire faire l'angle que l'on veut avec la verticale. A l'aide d'un cathétomètre placé en dehors de la caisse, on vise l'extrémité de la plante et de 5 en 5 minutes, on lit le déplacement de cet extrémité. Pendant l'été 1909, j'ai fait une

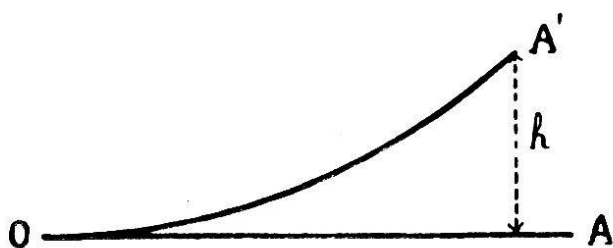


FIG. 3.

série de 300 expériences en plaçant toujours la plante horizontalement.

Soit OA (fig. 3) la plante en expérience placée horizontalement et OA' la position qu'elle

a prise au bout d'un certain temps d'expérience, la quan-

¹ *Pringsheim* Hans. Über die Herstellung von Gelbfiltern, etc. Ber. d. deut. bot. Gen. 1908, p. 556.

tité qu'il est possible de mesurer avec le cathétomètre est h , distance qui sépare les projections verticales de A et de A'.

Les tableaux ¹ placés dans l'appendice de ce travail contiennent les résultats de mes expériences groupés d'après la longueur des plantes et d'après la température pendant l'expérience. Les températures ont été groupées de 3 en 3 degrés afin d'obtenir des nombres d'expériences plus grands dans chaque groupe ; de même les plantes ont été réparties en groupes allant de 5 en 5 millimètres. Dans les expériences, la température était maintenue aussi constante que possible et rapportée au nombre entier de degré le plus rapproché. La longueur des plantes a été mesurée en millimètres à la fin de l'expérience qui durait une heure. Afin de réduire l'erreur due aux différentes longueurs comprises dans le même groupe, nous avons supposé que la déviation était proportionnelle aux longueurs et tous les déplacements de l'extrémité de la plante ont été ramenés à une plante de 10 mm. de longueur.

Nous verrons plus loin que la déviation n'est pas proportionnelle à la longueur, mais pour des groupes ne comprenant que des individus différant au plus de 5 mm. l'erreur est absolument négligeable. Si l est la longueur de la plante en millimètres, h le déplacement de la plante dans le sens vertical, les tables indiquent la valeur

$$x = \frac{10 h}{l}.$$

Le signe — indique que le déplacement a eu lieu vers le bas ; le signe + qu'il a eu lieu vers le haut.

Les chiffres négatifs sont imprimés en italique.

Au bas de chaque tableau, dans chaque colonne, est in-

¹ Ces tableaux n'ont pu trouver place dans ce numéro du Bulletin ; ils paraîtront dans le Bulletin de septembre.

diqué la valeur moyenne de $x = \frac{10 h}{l}$ et en dessous la valeur moyenne de h recalculée en posant $h = \frac{l x}{10}$.

Calcul des résultats.

Si l'on porte maintenant pour chaque tableau la valeur de h moyen, en ordonnée et le temps d'exposition en minutes, en abscisses, on obtient des lignes brisées. Ces lignes sont caractérisées géométriquement par le fait qu'elles passent par l'origine; en outre, on observe que les ordonnées prennent d'abord des valeurs négatives, présentent un minimum, puis croissent de plus en plus rapidement et finissent par prendre des valeurs positives.

L'allure de ces lignes fait penser que la courbe du phénomène est une parabole passant par l'origine et à axe parallèle à l'axe des y .

L'équation d'une telle parabole est

$$y = ax + bx^2 + cx^3 + \dots$$

Le calcul nous a montré que les deux premiers termes suffisent pour décrire mathématiquement le phénomène dans la limite des erreurs d'expériences.

Désignons par t le temps d'exposition en minutes, et par h l'écart moyen mesuré au cathéломètre, la formule décrivant le phénomène sera

$$h = at + bt^2$$

A l'aide de la méthode des moindres carrés nous avons déterminé, pour chaque groupe de températures et de longueurs des plantes, la valeur de a et celle de b .

Ces valeurs sont données dans le tableau suivant. Les chiffres entre parenthèses qui suivent les valeurs de a et de b indique le nombre d'expériences d'où a ou b ont été tirés.

Valeur de a
en fonction de la longueur des plantes exprimée en millimètres
et de la température.

Longueur médiane	TEMPÉRATURE MÉDIANE				
	15°	18°	21°	24°	27°
10 mm	+ 0,0002 (2)	- 0,0074 (8)	- 0,0086 (7)		- 0,0010 (1)
15 »	- 0,0058 (15)	- 0,0093 (35)	- 0,0202 (12)	- 0,0180 (8)	- 0,0164 (2)
20 »	- 0,0019 (16)	- 0,0102 (30)	- 0,0163 (13)	- 0,0303 (18)	- 0,0207 (7)
25 »	- 0,0152 (12)	- 0,0208 (15)	- 0,0316 (24)	- 0,0247 (17)	- 0,0237 (2)
30 »	+ 0,0100 (2)	- 0,0195 (7)	- 0,0259 (8)	- 0,0253 (13)	- 0,0452 (3)
35 »		- 0,0171 (1)	- 0,0356 (6)	- 0,0518 (3)	- 0,0404 (2)
40 »		- 0,0720 (2)			- 0,0580 (1)
45 »					
50 »		- 0,0414 (2)			
55 »		- 0,0817 (1)			

Valeur de b
en fonction de la longueur des plantes exprimée en millimètres
et de la température.

Longueur médiane	TEMPÉRATURE MÉDIANE				
	15°	18°	21°	24°	27°
10 mm	- 0,00009 (2)	0,00026 (8)	0,00033 (7)		0,00024 (1)
15 »	0,00020 (15)	0,00032 (35)	0,00058 (12)	0,00067 (8)	0,00058 (2)
20 »	0,00016 (16)	0,00035 (30)	0,00070 (13)	0,00111 (18)	0,00117 (7)
25 »	0,00031 (12)	0,00062 (15)	0,00104 (24)	0,00114 (17)	0,00062 (2)
30 »	- 0,00001 (2)	0,00071 (7)	0,00107 (8)	0,00091 (13)	0,00170 (3)
35 »		0,00110 (1)	0,00052 (6)	0,00115 (3)	0,00106 (2)
40 »		0,00113 (2)			0,00201 (1)
45 »					
50 »		0,00138 (2)			
55 »		0,00127 (1)			

Les figures 4 et 5 représentent la variation de a et de b en fonction de la température et de la longueur des plantes.

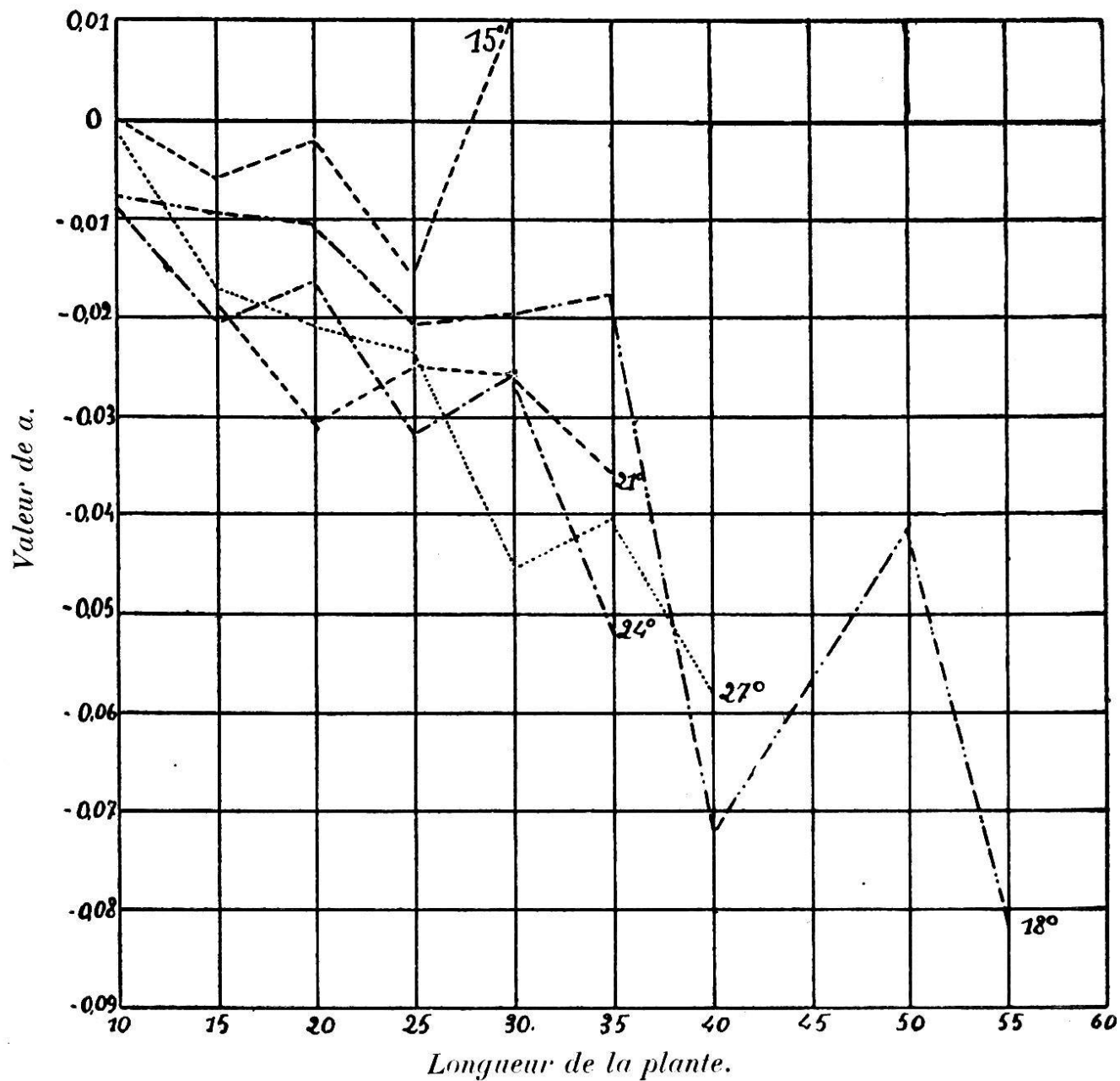


FIG. 4. — Valeur de a en fonction de la température et de la longueur de la plante.

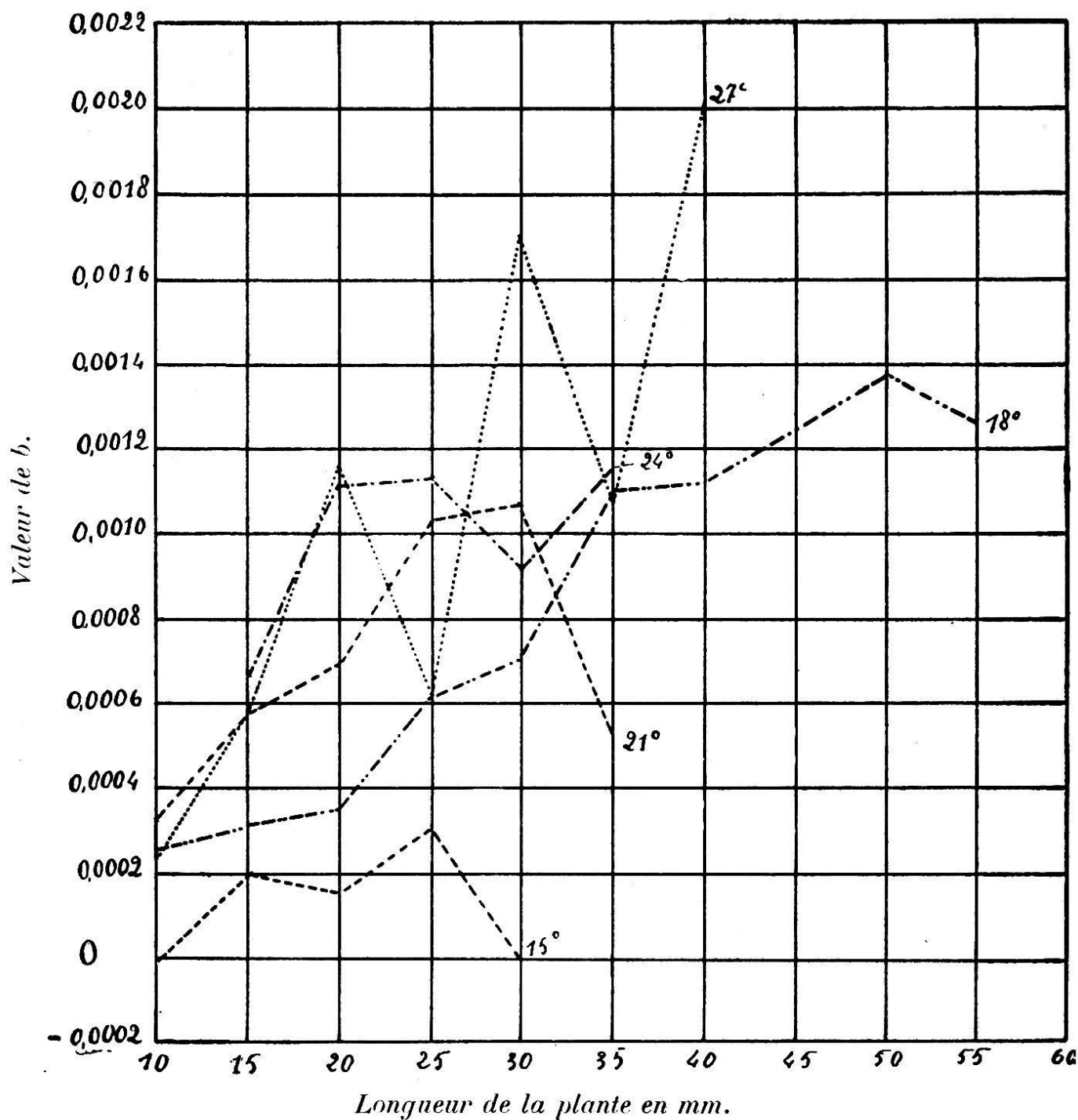


FIG. 5. — Valeur de b en fonction de la température et de la longueur de la plante.

Signification géométrique et physiologique des valeurs a et b .

La courbe $h = at + bt^2$ est une parabole passant par l'origine et dont l'axe est parallèle à l'axe des ordonnées.

L'ordonnée du sommet de la courbe sera donné en égalant la dérivée à 0 et en résolvant par rapport à t

$$h' = a + 2bt = 0$$

h sera minimum pour

$$t = \frac{-a}{2b}$$

L'ordonnée du sommet est

$$h \text{ min.} = \frac{-a^2}{4b}$$

La courbure de la plante qui commence à se faire vers le bas passe donc à une courbure vers le haut au bout d'un temps

$$t = \frac{-a}{2b}$$

a est négatif dans la plupart des cas et b positif; (voir le tableau); par conséquent t est positif.

Une constante caractéristique de toute parabole est son paramètre; on l'obtient en ramenant la courbe à son sommet et en la plaçant de telle façon que son axe soit confondu avec l'axe des x .

L'équation prend la forme de

$$Y^2 = 2pX$$

où $2p$ est le paramètre cherché.

En opérant de cette façon pour notre parabole nous trouvons

$$Y^2 = \frac{X}{b} = 2pX$$

d'où nous tirons

$$2p = \frac{1}{b}$$

Moins la valeur de $2p$ est grande, plus la courbure est prononcée et par conséquent plus b est grand, plus la courbure est forte. *Physiologiquement plus b est grand, plus la réaction géotropique se fait activement.* Par conséquent le coefficient b pourra servir à caractériser l'allure d'une réaction géotropique.

L'angle de la tangente à la courbe passant par $t = 0$ sera donnée en remplaçant, dans la dérivée de l'équation de la courbe, t par 0 .

Il vient

$$\operatorname{tg} \tau = a.$$

Le coefficient a de notre équation est donc la valeur de la tangente de l'angle que fait la tangente de la courbe à l'origine avec l'axe de x .

Si a augmente en valeur absolue, l'angle augmente aussi. *Physiologiquement a est une mesure de la rapidité avec laquelle s'effectue le mouvement de la plante vers le bas (puisque a est négatif); c'est par conséquent aussi une mesure de l'irritabilité de la plante.*

Corrections des valeurs de a et de b fournies par les expériences.

Les tableaux des valeurs de a et de b ainsi que les figures 4 et 5 montre que a et b croissent en valeur absolue avec la température (entre 14° et 27°) et avec la longueur de la plante.

Il ressort de là que la plante réagit plus rapidement à mesure que la température s'élève (entre 14° et 22°) mais il ne faudrait pas tirer la conclusion que l'irritabilité de la plante augmente avec la longueur. En effet h est la distance mesurée verticalement qui sépare la position de l'extrémité de la plante au début de l'expérience de sa position au bout du temps t ; plus la plante sera longue, plus natu-

rellement h sera grand. Pour rendre les résultats comparables et pour permettre d'étudier l'irritabilité de la plante, il y a donc lieu d'apporter une correction de longueur à la valeur de a et de b .

Soit OA la plante dans sa position initiale et OA' la

plante après courbure, nous ferons deux suppositions :

1° la plante croît d'une quantité négligeable pendant la durée d'une expérience ; 2° la plante se courbe en arc de cercle.

C'est afin de pouvoir admettre ces deux suppositions que la réaction n'a été suivie que pendant une heure. Dans ce cas la longueur de la plante n'augmente que

d'une fraction de millimètre et la courbure est si faible qu'on peut sans erreur la ramener à quelle courbe on veut.

Soit c le centre de la courbe OA , fig. 6 ; CO est le rayon de courbure, nous le désignons par r . Posons en outre $OA' = c$; et désignons par 2α l'angle OCA' , et par β l'angle COA' et traçons la bissectrice de l'angle OCA' .

Dans le triangle OCB , on a

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

D'autre part

$$A'OA = 90^\circ - \beta = 90^\circ - (90^\circ - \alpha) = \alpha$$

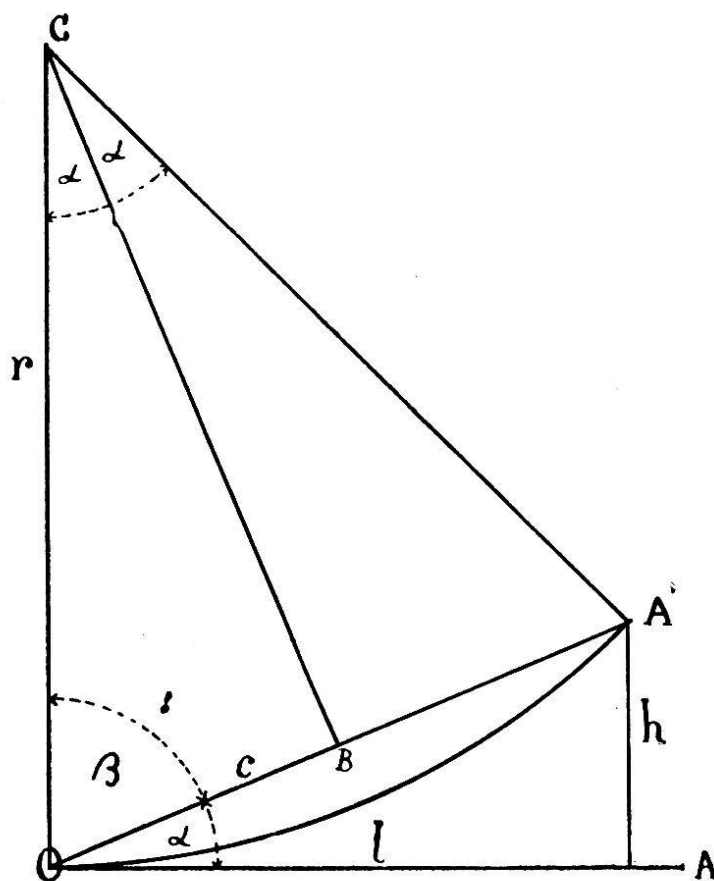


FIG. 6.

Désignons par l la longueur de la plante ; par supposition nous avons

$$\text{arc } OA' = OA = l.$$

De la figure, nous tirons les relations suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} h = c \sin \alpha \\ \frac{c}{2} = r \sin \alpha \end{array} \right\} h = 2 r \sin^2 \alpha$$

$$l = \frac{2 \pi r \cdot 2 \alpha}{360} = \frac{\pi r \alpha}{90}$$

$$\text{d'où } \alpha = \frac{90 l}{\pi r}$$

et
$$h = 2 r \cdot \sin^2 \frac{90 l}{\pi r}$$

Soit à comparer la valeur de h pour deux plantes de longueur l' et l'' présentant la même courbure par conséquent le même rayon r de courbure, il vient la relation suivante :

$$\frac{h'}{h''} = \frac{\sin^2 \frac{90 l'}{\pi r}}{\sin^2 \frac{90 l''}{\pi r}}$$

On voit que la relation est trop compliquée pour pouvoir être utilisée ; il faut donc chercher une relation plus simple mais approximative.

Comme l'angle α est toujours petit lorsque les expériences ne durent qu'une heure, on peut poser

$$\alpha = \sin \alpha$$

On a alors

$$h = 2 r \alpha^2 = 2 r \left(\frac{90 l}{\pi r} \right)^2$$

et
$$\frac{h'}{h''} = \frac{2 r \left(\frac{90 l'}{\pi r} \right)^2}{2 r \left(\frac{90 l''}{\pi r} \right)^2} = \frac{l'^2}{l''^2}$$

Cette formule nous permettra de ramener tous les résul-

tats des expériences à une longueur de plante uniforme; nous prendrons $l' = 10$ mm.

$$h' = \frac{100 h}{l^2} \text{ ou } h = \frac{l^2 h'}{100}$$

Soit maintenant l'équation $h = at + bt^2$

Introduisons la valeur de h , il vient

$$\frac{l^2 h'}{100} = at + bt^2$$

$$h' = \frac{(at + bt^2) 100}{l^2}$$

$$h' = \frac{100 a}{l^2} \cdot t + \frac{100 b}{l^2} \cdot t^2$$

Posons $a' = \frac{100 a}{l^2} \quad b' = \frac{100 b}{l^2}$

Ce seront les nouvelles constantes obtenues en tenant compte de la longueur de la plante.

Les deux tableaux suivants donnent les valeurs de a' et b' .

$$\text{Valeur de } a' = \frac{100 a}{l^2}$$

en fonction de la longueur des plantes exprimée en millimètres et de la température.

Longueur médiane	TEMPÉRATURE MÉDIANE				
	15°	18°	21°	24°	27°
10 mm	+ 0,0002	— 0,0074	— 0,0086		— 0,0010
15 »	— 0,0026	— 0,0041	— 0,0090	— 0,0080	— 0,0073
20 »	— 0,0005	— 0,0026	— 0,0041	— 0,0076	— 0,0052
25 »	— 0,0024	— 0,0033	— 0,0051	— 0,0040	— 0,0038
30 »	+ 0,0011	— 0,0022	— 0,0029	— 0,0028	— 0,0050
35 »		— 0,0014	— 0,0029	— 0,0042	— 0,0033
40 »		— 0,0045			— 0,0036
45 »					
50 »		— 0,0016			
55 »		— 0,0027			

$$\text{Valeur de } b' = \frac{100 b}{l^2}$$

en fonction de la longueur des plantes exprimée en millimètres et de la température.

Longueur médiane	TEMPÉRATURE MÉDIANE				
	15 °	18 °	21 °	24 °	27 °
10 mm	-0,00009	0,00026	0,00033		0,00024
15 »	0,00009	0,00014	0,00026	0,00030	
20 »	0,00004	0,00009	0,00017	0,00028	0,00029
25 »	0,00005	0,00010	0,00017	0,00018	0,00010
30 »	0,00000	0,00008	0,00012	0,00010	0,00019
35 »		0,00009	0,00004	0,00009	0,00009
40 »		0,00007			0,00013
45 »					
50 »		0,00006			
55 »		0,00006			

Les figures 7 et 8 représentent graphiquement les valeurs de a' et de b' .

On voit que la valeur absolue de a' et de b' diminue avec la longueur des plantes en expérience. Comme a' et b' peuvent être considérées comme des mesures de la sensibilité géotropique, on voit que *la sensibilité géotropique est maximum pour les plantes les plus courtes et va en diminuant avec leur taille (et par conséquent leur âge)*.

Si l'on s'était contenté d'observer la courbure à l'œil nu, on aurait probablement apprécié que la sensibilité maximum était chez les plantes de 20 à 30 mm. de longueur.

a' et b' augmentent en valeur absolue avec la température; l'inspection des graphiques fig. 7 et 8 montre que les lignes isothermiques se resserrent de plus en plus en rapprochant de 27° ce qui annonce que la température optimum ne doit pas être de beaucoup supérieure à 27°.

Ce fait montre que a' et b' sont bien des mesures de la sensibilité géotropique.

Nos expériences ont mis au jour un phénomène très cu-

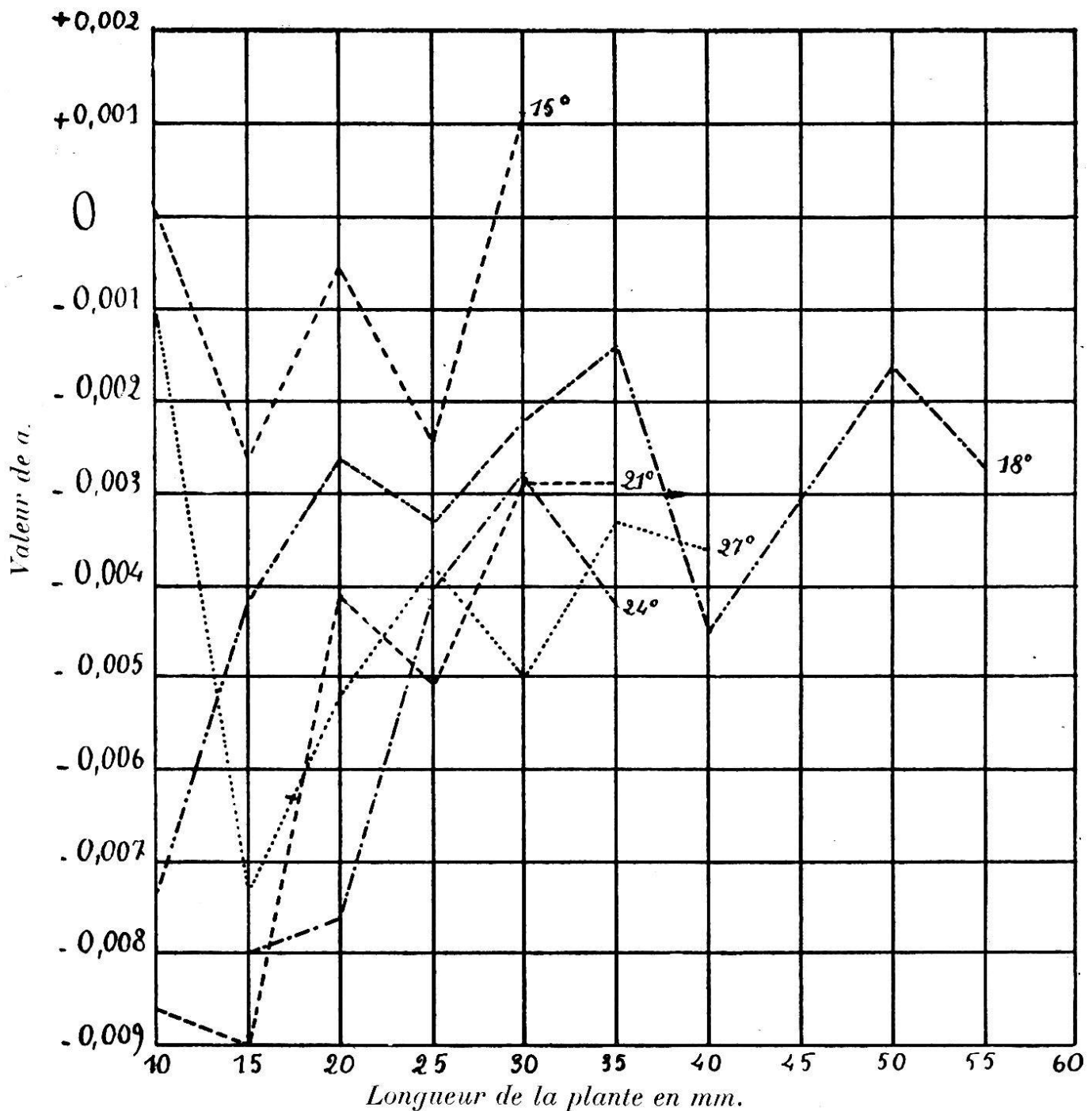


Fig. 7. — Valeur de $a' = \frac{100a}{l^2}$ en fonction de la température et de la longueur de la plante.

rieux et qui n'a été mentionné jusqu'à présent que par *J. C. Bose*¹; c'est qu'une tige (coleoptile) d'avoine placée horizontalement avant de se courber vers le haut (géotropisme négatif) présente une phase à géotropisme positif.

¹ J. C. Bose, *Plant response as means of physiological investigation* 1906.

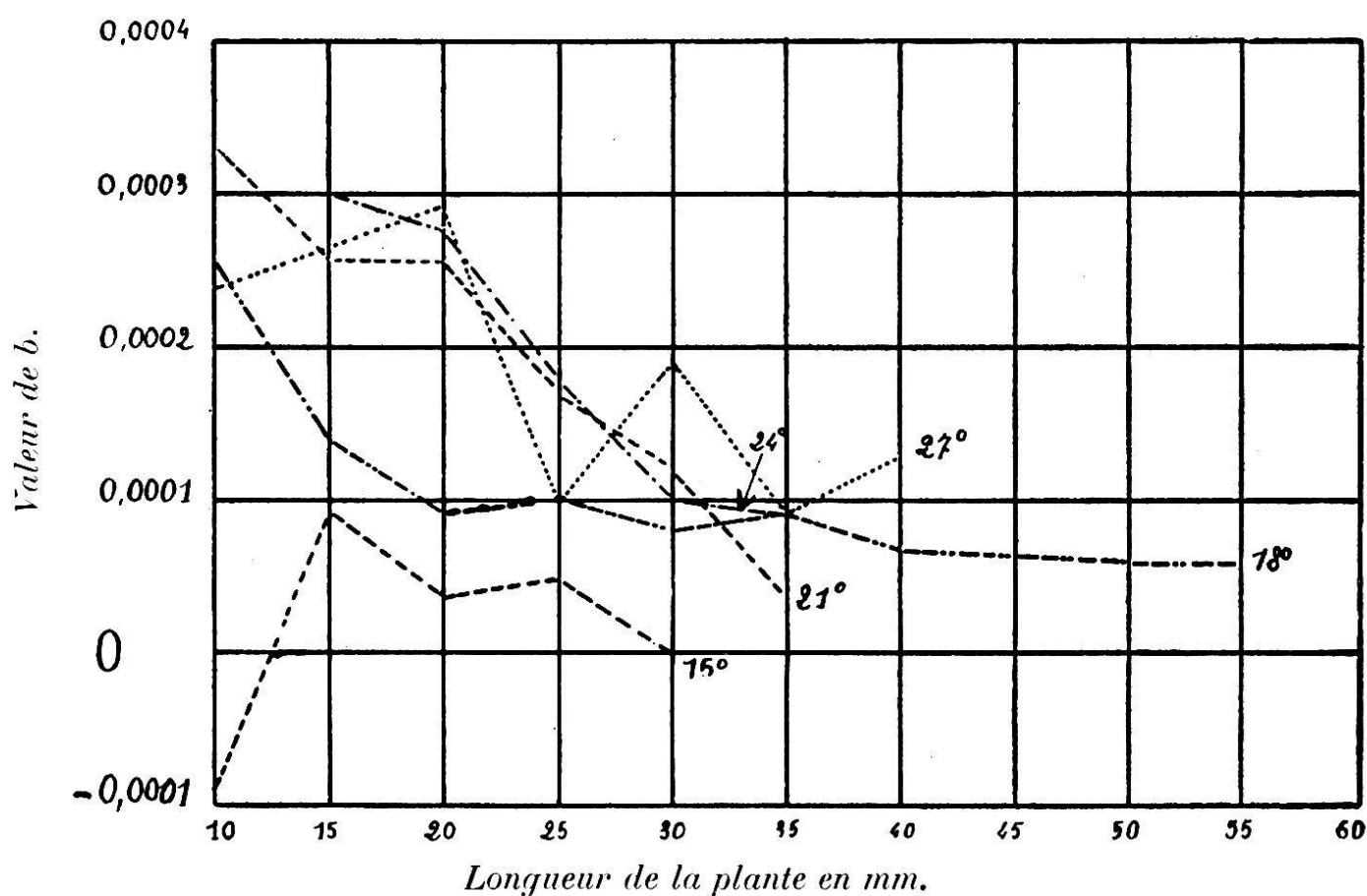


FIG. 8. — Valeur de $b = \frac{100b}{l^2}$ en fonction de la température et de la longueur de la plante

J. C. Bose cherche à expliquer le phénomène en supposant que le poids de la plante provoque une tension de la face supérieure, ce qui augmente la vitesse de croissance de cette face ; pendant ce temps déjà la réaction géotropique, due à un accroissement des cellules de la face inférieure, commence à se faire et s'accroissant de plus en plus finit par provoquer le mouvement vers le haut.

La première phase de courbure vers le bas ne serait donc pas un phénomène géotropique ; nous tenons pour bonne l'hypothèse de *J. C. Bose*. D'autre part cette courbure vers le bas n'est en tout cas pas un phénomène d'ordre purement mécanique ; c'est un phénomène lié à la vie ; en effet la phase dure trop longtemps et a' et b' sont liés de la même façon à la température et à la longueur des plantes.

Conséquences mathématiques de l'équation

$$h = at + bt^2.$$

Prenons pour mesure de la courbure de la plante, le rayon de courbure, la plante étant supposée courbée en arc de cercle ; nous avons trouvé (page 248) la relation

$$h = 2 r \sin^2 \frac{90 l}{\pi r}$$

Egalons le sinus à l'arc et supposons deux plantes de longueur égale mais inégalement courbée nous aurons le rapport

$$\frac{h}{h'} = \frac{2 r \left(\frac{90 l}{\pi r} \right)^2}{2 r \left(\frac{90 l}{\pi r'} \right)^2}$$

d'où

$$\frac{h}{h'} = \frac{r'}{r}$$

Nous pouvons donc admettre que la valeur h (ou h') est inversement proportionnelle au rayon de courbure.

Dans l'équation

$$h' = a' t + b' t^2$$

h' variera d'une manière inversement proportionnelle au rayon.

Transportons nos axes de coordonnées parallèlement à eux-mêmes au sommet de la parabole en faisant

$$h' = \frac{a'^2}{4b'} + H \quad t = T - \frac{a'}{2b'}$$

ce qui donne

$$H = b T^2$$

Différencions par rapport au temps

$$\frac{dH}{dT} = 2bT$$

mais $\frac{dH}{dT}$, étant le rapport d'un espace par un temps, est

une vitesse ; c'est la *vitesse de la courbure* ; en appelant v cette vitesse, il vient

$$v = 2 b T$$

d'où suit cette loi analogue à celle de la chute des corps.

La vitesse de la courbure géotropique est proportionnelle au temps pendant lequel la pesanteur a agi sur la plante.

$2 b$ est l'accélération géotropique.

Cette loi peut aussi s'exprimer en disant que la pesanteur agit pendant toute la durée de l'expérience comme une force constante dont les effets élémentaires se somment et provoquent une accélération de la courbure.

Le temps de réaction.

Dans toutes ces déductions nous n'avons nulle part trouvé la notion du temps de réaction. Nous avons vu nos plantes exécuter d'abord un mouvement vers le bas pendant lequel commençait déjà sans doute la réaction géotropique négative. A aucun moment de l'expérience, il n'était possible de dire : voilà où commence la réaction.

Pour nous, le *temps de réaction* est une notion qu'il faut abandonner complètement.

Nous terminons ici cette étude en nous réservant de revenir sur la partie théorique lorsque nous aurons pu étudier l'influence de l'angle avec la verticale sur la marche de la réaction géotropique.

Nous remercions chaleureusement le professeur Dr Wilczek qui a bien voulu mettre à notre disposition une partie des crédits du laboratoire qu'il dirige pour la construction des appareils nécessaires.

