**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles
**Band:** 50 (1914-1915)
**Heft:** 185

**Artikel:** Nouvelles expériences sur le géotropisme de l'avoine
**Autor:** Maillefer, Arthur
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-269635

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 16.07.2025

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

UNIVERSITÉ DE LAUSANNE. LABORATOIRE DE BOTANIQUE.

# NOUVELLES EXPÉRIENCES SUR LE GÉOTROPISME DE L'AVOINE

PAR

Arthur MAILLEFER

Les expériences sur le géotropisme que j'ai publiées en 1910, 1911 et 1912 dans le Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles et qui m'ont permis d'énoncer quelques lois, étaient incomplètes en ce sens que mes expériences n'avaient jamais duré plus d'une heure; je n'ai ainsi pu étudier que la phase de courbure, mais non la régression de cette courbure. Il m'a semblé intéressant de faire une nouvelle série d'expériences, avec la même plante (avoine blonde hâtive de Martinet) et avec la même méthode, en observant les mouvements de la plante pendant quelques heures. Ces expériences ont été faites pendant les étés 1912 et 1913.

## Méthode et appareils employés.

La méthode que j'ai employée pour étudier la courbure de la plante consiste à mesurer au cathétomètre, de 5 en 5 minutes, le déplacement $h$ de l'extrémité de la plante dans le plan perpendiculaire à la ligne de visée du cathétomètre; ce déplacement $h$ est en réalité la projection de la distance entre deux positions données du sommet de la plante sur une droite perpendiculaire à l'axe

de celle-ci; quand la courbure est faible, comme cela a toujours été le cas dans mes expériences, *h* est sensiblement proportionnel à la courbure ou, autrement dit, sensiblement inversément proportionnel au rayon de courbure de la plante.

Pour les expériences effectuées en 1912, j'ai employé les mêmes appareils que pour les expériences publiées en 1910 et 1912 J'ai dû cependant apporter une petite modification à mes appareils pour tenir compte d'une cause d'erreur qui ne m'avait pas gêné dans des expériences de courte durée, mais qui faussait complètement les résultats pour des expériences durant plusieurs heures. Dans une première série de 8 expériences effectuées du 18 au 27 juillet 1912, les appareils étaient disposés de telle façon que la ligne de visée du cathétomètre était parallèle à la fenêtre du laboratoire; cette fenêtre ou vitrage a toute la largeur de la salle; la plante était placée tout d'abord 5 minutes horizontalement puis replacée verticalement; pour passer de la position verticale à la position horizontale et vice versa, la plante se mouvait par conséquent dans un plan perpendiculaire à la fenêtre; la plante en position horizontale avait sa pointe dirigée du côté opposé à la fenêtre. Après quelques expériences, l'examen des graphiques que je dessinais au fur et à mesure, me montra qu'il devait y avoir une erreur systématique; les plantes, me semblait-il, avaient la tendance à se diriger du côté de la fenêtre, et cela quoiqu'elles fussent dans une obscurité complète. J'interrompis la série d'expériences à la huitième et j'en refis une nouvelle après avoir retourné l'appareil de façon que la pointe de la plante en position horizontale fût tournée du côté de la fenêtre; les huit expériences ainsi faites me montrèrent que les plantes après avoir effectué leur courbure géotropique (du côté opposé à la fenêtre) se courbaient ensuite rapidement du côté du vitrage.

On ne peut attribuer cette action qu'à une différence de température entre la face de l'appareil tournée contre la fenêtre et la face opposée; la fenêtre étant au midi et donnant sur une cour très ensoleillée, la face correspondante devait être plus chaude; cette différence de température provoquait un courant de convection de l'air; la plante placée au-dessus du milieu de la caisse d'expérience se trouvait par conséquent dans un courant d'air venant de la face tournée du côté de la fenêtre. D'après

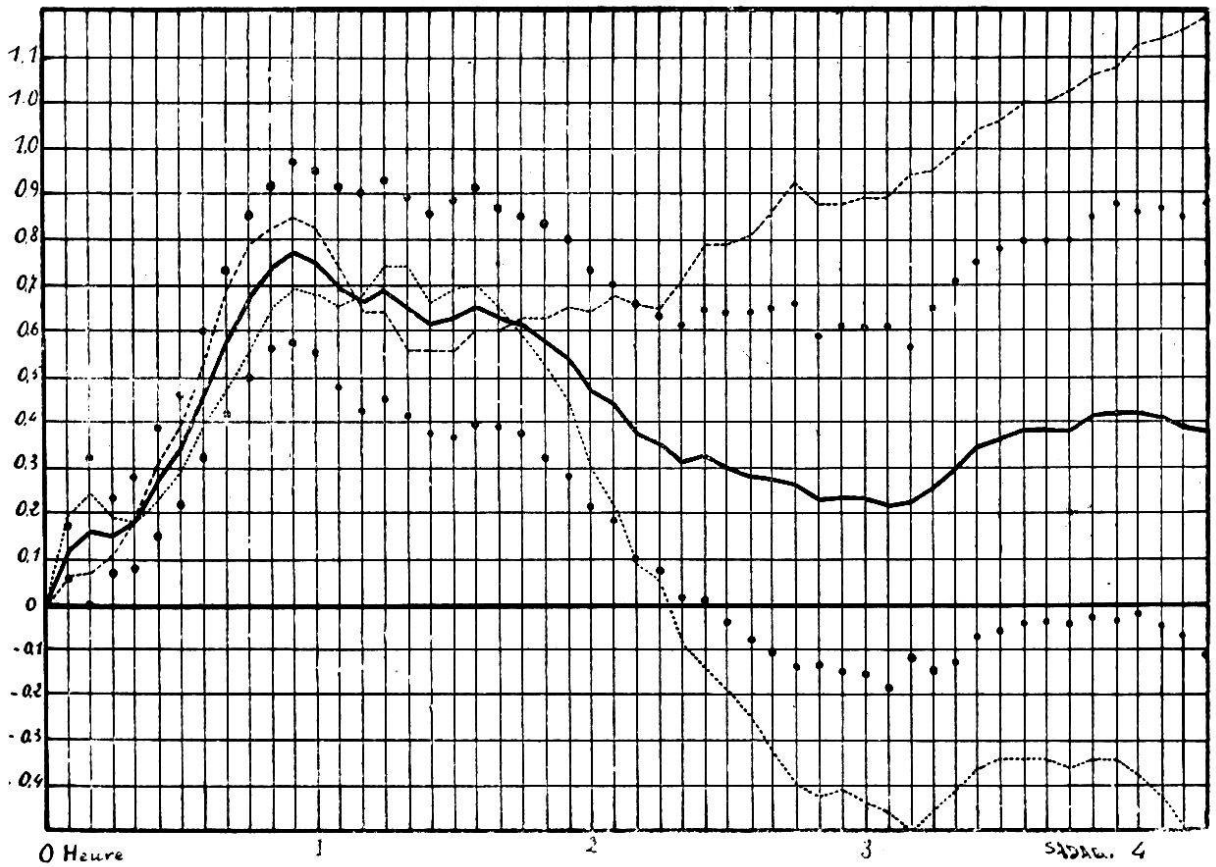


Fig. 1. — Explication dans le texte.

les expériences de *Tondera* cela suffit pour expliquer la courbure vers la fenêtre se superposant à la courbure géotropique.

Je m'abstiens de publier les données numériques relatives à cette série d'expériences; il me semble cependant intéressant d'en résumer les résultats dans un graphique (fig. 1).

Dans la figure 1 comme dans les autres graphiques, le temps est porté en abcisses, le début de l'expérience est désigné par zéro; les expériences avaient une durée de 8 heures; j'ai dessiné dans la figure 1 le graphique des 4 premières heures, les plus intéressantes. Les deux lignes en pointillé représentent les moyennes des déviations $h$, de 5 en 5 minutes, pour chacune des deux séries d'expériences; les déviations du côté de la plante qui étaient en haut lors de sa position horizontale, ont été comptées avec le signe + ; par conséquent dans la première série les déplacements du côté de la fenêtre étaient + ; dans la seconde, ils étaient —. Le trait plein donne les déviations moyennes des deux séries combinées. Les points placés de part et d'autre du trait plein sont à la distance du double de l'erreur probable de la déviation moyenne.

On voit par ce graphique que les deux séries ne diffèrent systématiquement l'une de l'autre qu'à partir de 1 heure 45 minutes. La courbure due au courant de convection se fait donc très lentement. On voit que *malgré cette cause d'erreur les expériences publiées précédemment gardent toute leur valeur.* C'est surtout en vue de cette constatation que je publie la figure 1. A partir de 1 heure $^3/_4$, les deux courbes divergent de plus en plus; la courbe moyenne qui élimine en quelque sorte l'erreur due aux courants d'air n'a pas grand intérêt vu la grandeur des erreurs probables. Il fallait donc modifier la manière d'expérimenter et éviter les courants d'air pour avoir une courbe significative.

L'appareil fut placé au milieu de la salle, de telle façon que la ligne de visée du cathétomètre fût perpendiculaire à la fenêtre ; les différences de température entre les deux faces latérales de la caisse d'expérience étaient ainsi pratiquement nulles ; de plus, il y avait en chaque instant autant de chances pour chacune des deux faces

d'être la plus chaude. La face tournée du côté de la fenêtre et la face opposée pouvaient présenter des différences de température, mais bien moindres qu'auparavant, la caisse étant à une distance beaucoup plus grande de la fenêtre que précedemment ; du reste, les courants de convection ne pouvaient introduire d'erreurs, car la faible courbure qu'ils auraient pu provoquer se serait faite dans un plan parallèle à la ligne de visée du cathélomètre.

Pour éviter encore plus complètement l'erreur due aux courants de convection, j'ai placé sur le vase où croissait la plante un petit appareil protecteur, composé de deux lames de tôle parallèles, distantes d'environ 1 centimètre et entre lesquelles se trouvait la coléoptile; ces lames étaient noircies sur leur face en regard l'une de l'autre; un fragment de liège collé à l'extérieur de chaque lame servait d'isolant calorifuge ; les morceaux de liège étaient recouverts de plâtre de façon à absorber le moins possible de chaleur rayonnante.

Avec ces modifications à l'appareil, l'erreur systématique due aux courants d'air a complètement disparu.

L'appareil ne possédait, lors des expériences de 1912, aucun dispositif pour maintenir la température constante ; l'expérimentateur ne pouvait pas choisir la température la plus favorable ; la seule chose à faire était de choisir les heures d'expérimentation de telle sorte que la température fût la plus constante possible pendant toute la durée d'observation ; le soleil peut pénétrer dans le laboratoire jusqu'à environ dix heures du matin ; jusqu'à ce moment la température s'élève ; à partir de dix heures elle se maintient assez constante le reste de la journée si l'on a soin de laisser les fenêtres fermées. C'est pourquoi j'ai fait commencer mes expériences entre onze heures et midi pour les continuer jusqu'à six ou sept heures du soir. Du 19 au 30 août 1912, la température, lue toutes les cinq minutes, a varié de $^1/_{10}$ à $^9/_{10}$ de degré

au plus pendant la journée et cela sans précautions spéciales; d'un jour à l'autre, on trouve naturellement des différences plus grandes ; dans cette même série, la température la plus basse observée a été 17°, la plus haute 20°2.

Il était désirable d'opérer de façon à être à l'abri des variations extérieures de la température et surtout de faire les expériences au-dessus de 25° de façon à être dans le voisinage de l'optimum ; j'aurais désiré aussi opérer dans l'air humide ; c'est pour réaliser ces desiderata qu'en 1913 j'ai apporté les perfectionnements suivants à mes appareils :

Un ventilateur électrique prenait de l'air à l'extérieur du laboratoire et l'envoyait à travers un tuyau en tôle de 6 cm. de diamètre dans une caisse en bois doublée à l'intérieur de tôle et d'amiante ; six lampes électriques à filament de charbon de cinquante bougies étaient placées dans la caisse et servaient à chauffer l'air ; de cette caisse partaient deux tuyaux de 6 cm. ; l'un se rendait dans le double fond placé de caisse où les plantes étaient mises en expérience, l'autre conduisait l'air dans le double fond d'une caisse où les plantes étaient cultivées avant d'être soumises aux expériences ; un dispositif permettait de transporter les plantes de la caisse de culture à la caisse d'expérience sans qu'elles vissent la lumière. Un thermomètre à contact électrique était placé dans le tuyau allant de la caisse de chauffage à la caisse d'expérience ; dès que la température s'élevait au-dessus de celle qui avait été choisie, un circuit comprenant un accumulateur et un relai était fermé ; le relai avait pour fonction de couper le courant se rendant dans les lampes. Au début, j'avais placé dans la caisse de chauffage des plateaux avec de l'eau de façon à avoir de l'air saturé d'humidité ; j'ai dû y renoncer bientôt à cause des condensations dans la caisse d'expérience et de la buée qui recou-

vrait les vitres jaunes de celle-ci. L'humidification de l'air se fit désormais avec un cristallisoir plein d'eau placé sur le double fond de la caisse de culture. L'air sortait de la caisse par une cheminée contenant des chicanes de façon à empêcher l'entrée de la lumière.

## Résultats des expériences.

Les questions que je me proposais de résoudre étaient les suivantes :

1° Etudier l'influence de la nutation et de sa phase sur la courbure géotropique;

2° Etudier la courbure géotropique et sa régression jusqu'à ce que la plante puisse être considérée comme revenue dans sa condition primitive.

Voici comment je pensais opérer pour résoudre la première question :

Une plante d'avoine, placée verticalement la veille de l'expérience dans la caisse d'expérimentation, était laissée dans cette position et observée de cinq en cinq minutes ; les déplacements $h$ de son extrémité étaient mesurés avec le cathétomètre placé horizontalement ; les chiffres obtenus permettaient de tracer un graphique de la nutation. Je me proposais d'exposer une première série de plantes horizontalement pendant cinq minutes au moment où l'écart $h$ dû à la nutation aurait été maximum du côté positif, c'est-à-dire du côté où la courbure géotropique se faisait ; une seconde série de plantes aurait été placée horizontalement quand $h$ aurait été maximum du côté négatif ; une troisième série aurait été mise en expérience au moment où la vitesse du déplacement aurait été maximum, en passant d'une déviation positive à une déviation négative ; enfin, une quatrième série aurait été faite en exposant la plante horizontalement

au moment du passage d'une déviation $h$ négative à une déviation positive.

Quand j'avais préparé ce plan d'expérimentation, je croyais que la nutation était une oscillation de la plante, non pas sans doute aussi régulière que celle d'un pendule, mais du moins suffisamment régulière pour qu'il fût possible de déterminer sans ambiguïté les maxima et les points d'inflexion de la courbe de nutation.

En réalité, la période n'est pas constante, l'amplitude non plus ; de plus, il arrive qu'après avoir passé par ce qui semblait un maximum la courbe reste à peu près horizontale un certain temps pour repartir ensuite dans le même sens qu'auparavant. Les courbes de nutation sont si irrégulières qu'il est très difficile de fixer les maxima et les points d'inflexion, surtout ces derniers. C'est pourquoi je suis obligé de renoncer à publier les nombreuses expériences que j'ai faites dans ce sens ; je me contenterai de donner les résultats d'une seule série.

### *1re série d'expériences.*

Cette série comporte neuf expériences faites du 19 au 30 août 1912. J'ai observé les mouvements de nutation de la plante et j'ai exposé celle-ci horizontalement lorsque les chiffres lus au cathétomètre ne différaient que peu les uns des autres ; on pouvait admettre, quand ces conditions étaient remplies, que la déviation due à la nutation passait par un maximum ou par un minimum avec autant de chances pour que ce fut l'un ou l'autre.

Les résultats de ces expériences sont donnés dans le tableau I ; le moment où la plante, après avoir été placée horizontalement, était replacée verticalement, a été choisi comme origine des temps, ceci pour faire concorder cette origine avec celle que j'avais choisie dans mes travaux précédents ; pour les lectures précédant le temps

choisi comme origine, les heures ont été comptées avec le signe — ; ainsi le temps 70 minutes avant l'origine sera désigné dans le tableau par — 2 heures + 50 minutes ; il suit de là que la plante a été exposée horizontalement de — 1 heure + 55 minutes à 0 heure.

On a pris comme origine pour mesurer les déplacements *h* la position qu'occupait la plante au temps zéro.

Comme il fallait observer les mouvements dus à la nutation jusqu'au moment où les lectures au cathétomètre ne différaient que peu les unes des autres, la plante a été exposée horizontalement plus ou moins tôt ; c'est pour cela que les cases sont vides aux deux extrémités du tableau 1.

Les expériences ont été numérotées de 1 à 9; chaque tableau partiel donne les résultats d'une heure d'expérience: les deux lignes inférieures de chaque tableau donnent la déviation moyenne A et l'erreur probable $E_A$ de cette moyenne.

**TABLEAU I**

**Déviation *h* en millimètres de l'extrémité de la coléoptile de plantes d'avoine avant et après avoir été placées horizontalement pendant 5 minutes.**

| Numéros | HEURE | MINUTES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | —2 | +5 | +10 | +15 | +20 | +25 | +30 | +35 | +40 | +45 | +50 | +55 |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,3 | —0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | 0,4 |
| 7 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | 0,0 |
| 9 | | | | | | | | | | | 0,6 | 0,5 |
| A | | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,3 | —0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,45 | 0,30 |
| $E_A$ | | | | | | | | | | | 0,07 | 0,09 |

**TABLEAU I** *(suite).*

| Numéros | HEURE | MINUTES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | —1 | +5 | +10 | +15 | +20 | +25 | +30 | +35 | +40 | +45 | +50 | +55 |
| 1 | | | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 2 | | | | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,3 |
| 3 | | | | | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 5 | | | | | | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 |
| 6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 |
| 7 | | | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 8 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 |
| 9 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| A | 0,30 | 0,37 | 0,34 | 0,28 | 0,24 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,17 |
| $E_A$ | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

**TABLEAU I** *(suite).*

| Numéros | HEURE | MINUTES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| 2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 |
| 3 | 0,0 | —0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,9 |
| 4 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| 5 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| 6 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| 7 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| 8 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,2 | —0,2 | —0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| 9 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| A | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,09 | 0,12 | 0,23 | 0,31 | 0,42 | 0,49 | 0,59 |
| $E_A$ | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,06 |

**TABLEAU I** *(suite).*

| Numéros | HEURE 1 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 |
| 2 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 3 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 4 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,1 |
| 5 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 6 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| 7 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 8 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | —0,1 |
| 9 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | —0,1 | 0,0 |
| A | 0,60 | 0,61 | 0,61 | 0,59 | 0,63 | 0,62 | 0,59 | 0,56 | 0,51 | 0,49 | 0,47 | 0,47 |
| EA | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |

**TABLEAU I** *(suite).*

| Numéros | HEURE 2 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 |
| 2 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| 3 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0'7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,5 |
| 4 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 5 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | —0,1 |
| 6 | 0,0 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,3 | —0,5 | —0,5 | —0,5 | —0,5 | —0,5 | —0,5 | —0,5 |
| 7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 8 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,2 | —0,4 |
| 9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,4 | —0,5 | —0,7 |
| A | 0,44 | 0,44 | 0,41 | 0,41 | 0,44 | 0,43 | 0,38 | 0,34 | 0,31 | 0,28 | 0,27 | 0,19 |
| EA | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,14 |

**TABLEAU I** *(suite).*

| Numéros | HEURE 3 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,2 |
| 2 | 0,1 | 0,0 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,3 | —0,2 | —0,2 | —0,3 | —0,3 | —0,3 | —0,4 |
| 3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 4 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 5 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | —0,2 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,4 | —0,5 | —0,5 | —0,5 |
| 6 | —0,5 | —0,5 | —0,5 | —0,5 | —0,6 | —0,6 | —0,6 | —0,6 | —0,7 | —0,7 | —0,7 | —0,8 |
| 7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 8 | —0,4 | —0,4 | —0,3 | —0,2 | —0,3 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0,5 | —0,5 | —0,6 | —0,7 |
| 9 | —0,7 | —0,8 | —0,8 | —0,8 | —0,9 | —0,9 | —0,9 | —0,8 | —0,8 | —0,9 | —0,9 | —0,8 |
| A | 0,18 | 0,16 | 0,13 | 0,10 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | —0,03 | —0,09 | —0,12 | —0,16 | —0,18 |
| $E_A$ | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,15 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

**TABLEAU I** *(suite).*

| Numéros | HEURE 4 | TEMPS EN MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | —0,2 | —0.2 | —0,4 | —0,7 | —0,7 | —0,7 | —0,6 | —0,5 | —0,6 | —0,6 | —0,5 | —0,4 |
| 2 | —0,3 | —0,3 | —0,4 | —0,4 | —0,5 | —0,5 | —0,6 | —0,7 | —0,8 | —0,8 | —0,9 | —0,9 |
| 3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0.1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| 4 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | |
| 5 | —0,6 | —0,8 | —0,7 | —0,8 | —0,7 | —0,7 | —0,6 | —0,5 | —0,3 | —0,2 | —0,2 | —0,1 |
| 6 | —0,7 | —0,8 | —0,8 | —0,8 | —0,8 | —0,7 | —0,6 | —0,6 | —0,5 | —0,5 | —0,4 | —0,4 |
| 7 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 |
| 8 | —0,8 | —0,7 | —0,8 | —0,7 | —0,6 | —0,6 | —0,6 | —0,5 | —0,6 | —0,6 | —0,5 | —0,6 |
| 9 | —0,7 | —0,7 | —0,7 | —0,8 | —0,8 | —0,7 | | | | | | |
| A | —0,18 | —0,18 | —0,21 | —0,26 | —0,24 | —0,21 | —0,09 | —0,05 | —0,04 | —0,01 | 0,01 | —0,14 |
| $E_A$ | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,17 |

**TABLEAU I** *(suite).*

| Numéros | HEURE | TEMPS EN MINUTES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 1 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | 0,0 | —0,1 | —0,2 |
| 2 | —1,0 | —1,0 | —1,0 | —1,0 | —1,0 | —0,9 | —0,8 | —0,8 | —0,7 | —0,6 | —0,5 | —0,4 |
| 3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0,5 |
| 6 | —0,4 | —0,5 | —0,4 | —0,3 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0,5 | —0,5 | —0,5 | —0,6 | —0,7 |
| 7 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 8 | —0,4 | —0,5 | —0,6 | —0,5 | —0,6 | —0,6 | —0,7 | —0,7 | —0,7 | —0,8 | —0,9 | —0,8 |
| 9 | | | | | | | | | | | | |
| A | —0,09 | —0,07 | —0,06 | —0,04 | —0,10 | —0,10 | —0,10 | —0,13 | —0,13 | —0,10 | —0,13 | —0,16 |
| $E_A$ | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,18 |

**TABLEAU I** *(suite).*

| Numéros | HEURE | TEMPS EN MINUTES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 1 | —0,4 | —0,6 | —0,7 | —0,7 | —0,6 | —0,6 | | | | | | |
| 2 | —0,3 | —0,3 | —0,3 | —0,3 | —0,2 | —0,3 | —0,4 | —0,5 | | | | |
| 3 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,2 | —0.3 | —0,3 | —0,3 | —0,3 | —0,3 | |
| 4 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | —0,5 | —0,5 | —0,4 | —0,4 | —0,2 | —0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | | |
| 6 | —0,6 | —0,6 | —0,5 | | | | | | | | | |
| 7 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | | |
| 8 | —1,0 | —1,0 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | |
| A | —0,20 | —0,26 | —0,15 | —0,08 | —0,04 | —0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | 0,13 | —0,30 | |
| $E_A$ | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,19 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,08 | 0,12 | | |

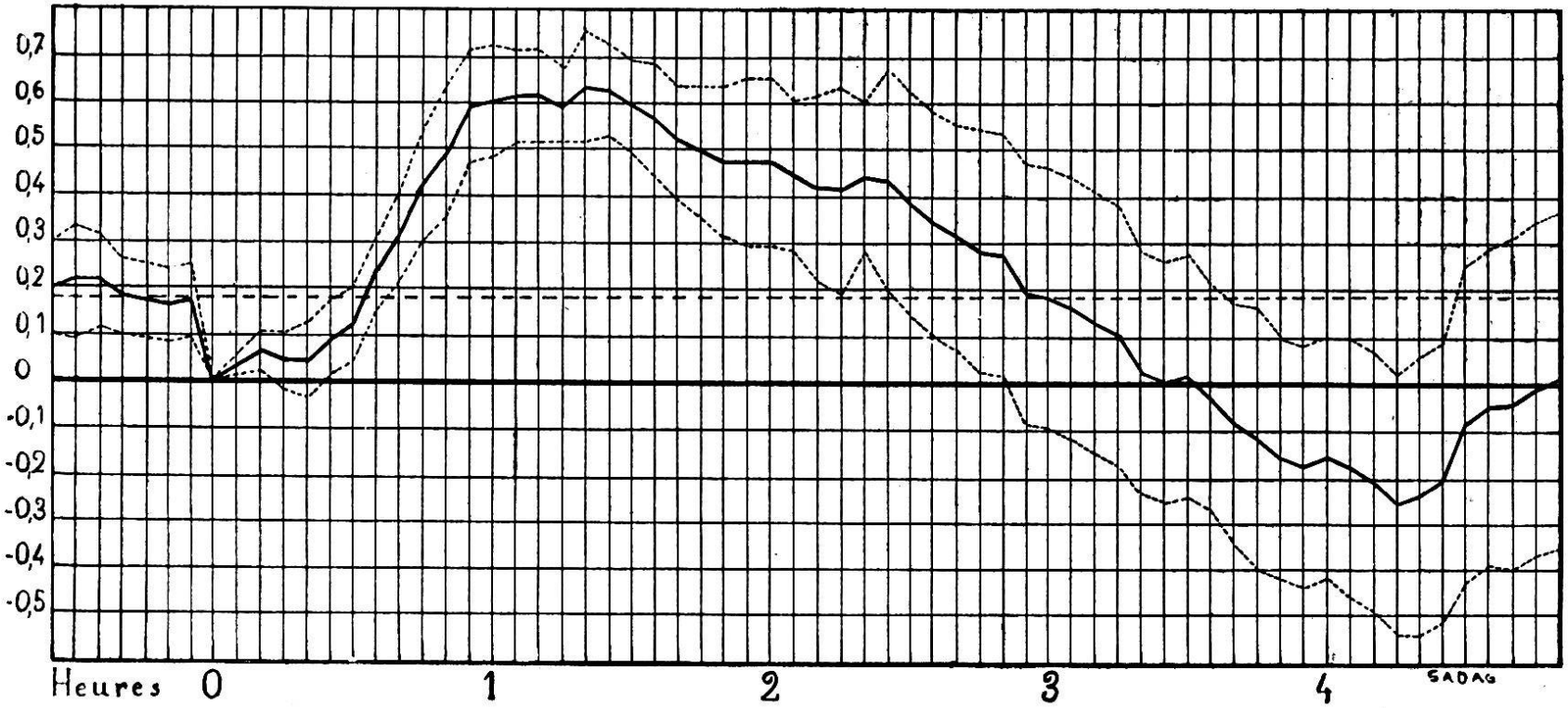


Fig. 2. — Déviations moyennes en millimètres des coléoptiles observées avant et après avoir été exposées horizontalement pendant 5 minutes.

Le tableau II donne pour chacune des expériences 1 à 9 la longueur de la plante à la fin de l'expérience, les températures moyennes, maxima et minima observées.

**TABLEAU II**

| N° | Longueur en mm. | Température moyenne | Température maximum | Température minimum |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 35 | 19,07 | 19,2 | 18,9 |
| 2 | 30 | 18,48 | 18,6 | 18,3 |
| 3 | 29 | 18,95 | 19,1 | 18,8 |
| 4 | 31 | 17,66 | 17,9 | 17,1 |
| 5 | 28 | 17,32 | 17,7 | 16,8 |
| 6 | 28 | 19,83 | 20,2 | 19,6 |
| 7 | 29 | 18,42 | 18,9 | 18,0 |
| 8 | 32 | 19,30 | 19,9 | 19,0 |
| 9 | 30 | 18,16 | 18,2 | 18,1 |
| Moyennes | 30,2 | 18,57 | — | — |

Dans le graphique de la figure 2, j'ai représenté en abcisses les temps et en ordonnées les déviations *h* moyennes de la série de neuf expériences ; je n'ai dessiné que la région où j'avais des chiffres pour toutes les expériences ; les deux traits pointillés sont situés à une distance double de l'erreur probable de part et d'autre de la ligne (en trait plein) représentant la déviation moyenne.

Les résultats de cette série d'expériences seront discutés plus loin.

### *2me série d'expériences.*

Cette série d'expériences a été faite du 28 août au 4 octobre 1913 ; l'appareil était maintenu à une température assez élevée par le dispositif décrit à la page 370. La plante était exposée horizontalement pendant dix minutes ; la nutation n'a pas été observée avant l'exposi-

tion horizontale, de sorte que dans le tableau III toutes les expériences commencent au temps zéro, c'est-à-dire au moment où la plante est replacée verticalement après l'exposition horizontale.

Contrairement à la pratique que je suivais lors de mes précédentes expériences et lors de celles de la première série, les plantes ont été orientées d'une manière fixe par rapport à la ligne de visée. La coléoptile était placée de telle façon que l'axe du grain d'avoine et l'axe de la coléoptile fussent dans le plan vertical contenant la ligne de visée ; comme on sait que c'est dans ce plan que se fait la nutation, cette dernière n'a plus que peu d'influence sur la courbure géotropique.

Les résultats de cette série sont donnés dans le tableau III établi de la même manière que le tableau I.

**TABLEAU III**

**Déviation *h* en millimètres de l'extrémité de plantules d'avoine après avoir été placées 10 minutes horizontalement.**

| Numéros | HEURE | MINUTES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| 1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 0,7 | 0,9 | 1,3 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,6 |
| 2 | 0,0 | —0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| 3 | 0,0 | —0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 4 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,5 |
| 5 | 0,0 | —0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0.4 | 0,3 |
| 6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,0 |
| 7 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,5 |
| 8 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| 9 | 0,0 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 10 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,9 | 1,0 | 1,4 | 1,6 | 1.6 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| 11 | 0,0 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0.6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,6 | 0,4 |
| 12 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,5 |
| 13 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,1 | 0,9 | 0,8 |
| A | 0,00 | 0,09 | 0,19 | 0,29 | 0,47 | 0,62 | 0,83 | 0,99 | 1,00 | 0,97 | 0,89 | 0,79 |
| $E_A$ | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,07 |

**TABLEAU III** *(suite).*

| Numéros | HEURE 1 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,1 |
| 2 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| 3 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,0 |
| 4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 5 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| 6 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| 7 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,1 |
| 8 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,6 |
| 9 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | —0,2 | —0,2 | —0,3 | —0,3 |
| 10 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 0,9 |
| 11 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 12 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | —0,1 |
| 13 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,7 | 0,6 |
| A | 0,67 | 0,67 | 0,63 | 0,57 | 0,55 | 0,53 | 0,52 | 0,49 | 0,46 | 0,43 | 0,40 | 0,32 |
| $E_A$ | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,06 |

**TABLEAU III** *(suite).*

| Numéros | HEURE 2 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | —0,1 | —0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | —0,2 | —0,4 | 0,1 | 0,0 | —0,1 | —0,2 | —0,1 |
| 2 | 0,4 | 0,3 | 0.2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| 3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| 4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,4 |
| 5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 6 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,3 |
| 7 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | —0,1 | 0,0 | —0,2 | —0,1 | —0,3 |
| 8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| 9 | —0,4 | —0,5 | —0,4 | —0,6 | —0,6 | —0,5 | —0,5 | —0,3 | —0,4 | —0,5 | —0,6 | —0,6 |
| 10 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,7 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,9 |
| 11 | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,6 |
| 12 | 0,0 | —0,1 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,2 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,2 | —0,3 |
| 13 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,4 |
| A | 0,29 | 0.25 | 0,31 | 0,32 | 0,33 | 0,30 | 0,26 | 0,29 | 0,29 | 0,25 | 0,24 | 0,22 |
| $E_A$ | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0.11 |

**TABLEAU III** *(suite).*

| Numéros | HEURE 3 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,0 | —0,2 | —0,3 | —0,1 | —0,2 | —0,2 | —0,4 | —0,2 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,2 |
| 2 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 3 | 0,0 | —0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | —0,1 | 0,0 |
| 4 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| 5 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,2 |
| 6 | —0,4 | —0,5 | —0,6 | —0,5 | —0,7 | —0,7 | —0,8 | —0,9 | —0,9 | —1,0 | —1,0 | —0,9 |
| 7 | —0,3 | —0,5 | —0,5 | —0,6 | —0,7 | —0,4 | —0,4 | —0,5 | —0,4 | —0,2 | —0,4 | —0,2 |
| 8 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 |
| 9 | —0,5 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0,2 | —0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0.0 | 0,0 | 0,2 |
| 10 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| 11 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 1,0 |
| 12 | —0,2 | —0,2 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,5 | —0,4 | —0,5 | —0,6 | —0,6 | —0,5 | —0,4 |
| 13 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,3 | —0,3 | —0,2 |
| A | 0,22 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,13 | 0,14 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,06 | 0,15 |
| $E_A$ | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |

**TABLEAU III** *(suite).*

| Numéros | HEURE 4 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,4 | —0,2 | —0,1 | —0,2 | —0,2 | —0,2 | 0,0 | 0,0 | —0,3 |
| 2 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,9 |
| 3 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | 0,0 | —0,1 | —0,3 | —0,2 | —0,2 | —0,2 | —0,1 | —0,1 | —0,1 |
| 4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | 0,0 | —0,1 | 0,0 | —0,1 |
| 6 | —0,9 | —0,8 | —0,6 | —0,6 | —0,5 | —0,6 | —0,4 | —0,3 | —0,4 | —0,4 | —0,2 | —0,2 |
| 7 | —0,3 | —0,2 | —0,1 | 0,0 | —0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,0 |
| 8 | 0.8 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1.1 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 |
| 9 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0.2 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 10 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0.6 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| 11 | 0,9 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | —0,1 | —0,1 | 0,1 | 0,3 |
| 12 | —0,3 | —0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,3 |
| 13 | —0,2 | 0,0 | —0,2 | —0,3 | —0,3 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0,4 | —0.5 | —0,4 |
| A | 0,19 | 0,17 | 0,19 | 0,15 | 0,21 | 0,15 | 0,15 | 0,22 | 0,13 | 0,13 | 0,15 | 0,12 |
| $E_A$ | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |

**TABLEAU III** *(suite).*

| Numéros | HEURE 5 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,2 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,3 | —0,3 | —0,4 | —0,4 |
| 2 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 3 | —0,2 | —0,3 | —0,2 | —0,3 | —0,4 | —0,3 | —0,3 | —0,5 | —0,5 | —0,6 | —0,7 | —0,6 |
| 4 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,2 | —0,2 | —0,4 | —0,4 | —0,5 | —0,5 |
| 5 | —0,3 | —0,1 | —0,1 | —0,3 | —0,4 | —0,3 | —0,3 | —0,5 | —0,6 | —0,4 | —0,6 | —0,8 |
| 6 | —0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,0 |
| 7 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |
| 8 | 1,3 | 1,4 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| 9 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,1 | —0,1 | —0,2 | —0,3 | —0,2 | —0,2 |
| 10 | 0,3 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | —0,1 | —0,1 | —0,3 | —0,5 | —0,4 | —0,6 | —0,8 |
| 11 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| 12 | —0,4 | —0,6 | —0,7 | —0,7 | —0,9 | —1,1 | —1,1 | —1,3 | —1,4 | —1,2 | —1,1 | —1,2 |
| 13 | —0,6 | —0,6 | —0,7 | —0,7 | —0,8 | —0,5 | —0,6 | —0,5 | —0,6 | —0,7 | —0,7 | —0,8 |
| A | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,01 | —0,02 | 0,03 | 0,04 | —0,03 | —0,08 | —0,10 | —0,15 | —0,18 |
| $E_A$ | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |

**TABLEAU III** *(fin).*

| Numéros | HEURE 6 | MINUTES 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | —0,5 | —0,3 | —0,6 | —0,7 | —0,7 | | | | | | | |
| 2 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | | | | | | | |
| 3 | —0,7 | —0,8 | —0,9 | —0,2 | —0,8 | —0,8 | —0,8 | | | | | |
| 4 | —0,5 | —0,5 | —0,6 | —0,7 | —0,7 | —0,9 | —0,8 | | | | | |
| 5 | —0,7 | —0,5 | —0,9 | —0,8 | —0,8 | —0,8 | —0,8 | | | | | |
| 6 | —0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | | | | | |
| 7 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | —0,2 | —0,3 | —0,4 | | | | | |
| 8 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | | | | | |
| 9 | —0,4 | —0,3 | —0,3 | —0,4 | —0,5 | —0,3 | —0,1 | | | | | |
| 10 | —0,9 | —0,8 | —1,0 | —1,1 | —0,9 | —1,3 | —1,7 | | | | | |
| 11 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,7 | | | | |
| 12 | —1,2 | —1,3 | —1,3 | —1,1 | —1,2 | —1,3 | —1,5 | | | | | |
| 13 | —1,0 | —1,1 | —1,2 | —1,2 | —1,3 | —1,5 | —1,5 | | | | | |
| A | —0,27 | —0,22 | —0,32 | —0,31 | —0,37 | —0,47 | —0,47 | | | | | |
| $E_A$ | 0,13 | 0,14 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,16 | 0,18 | | | | | |

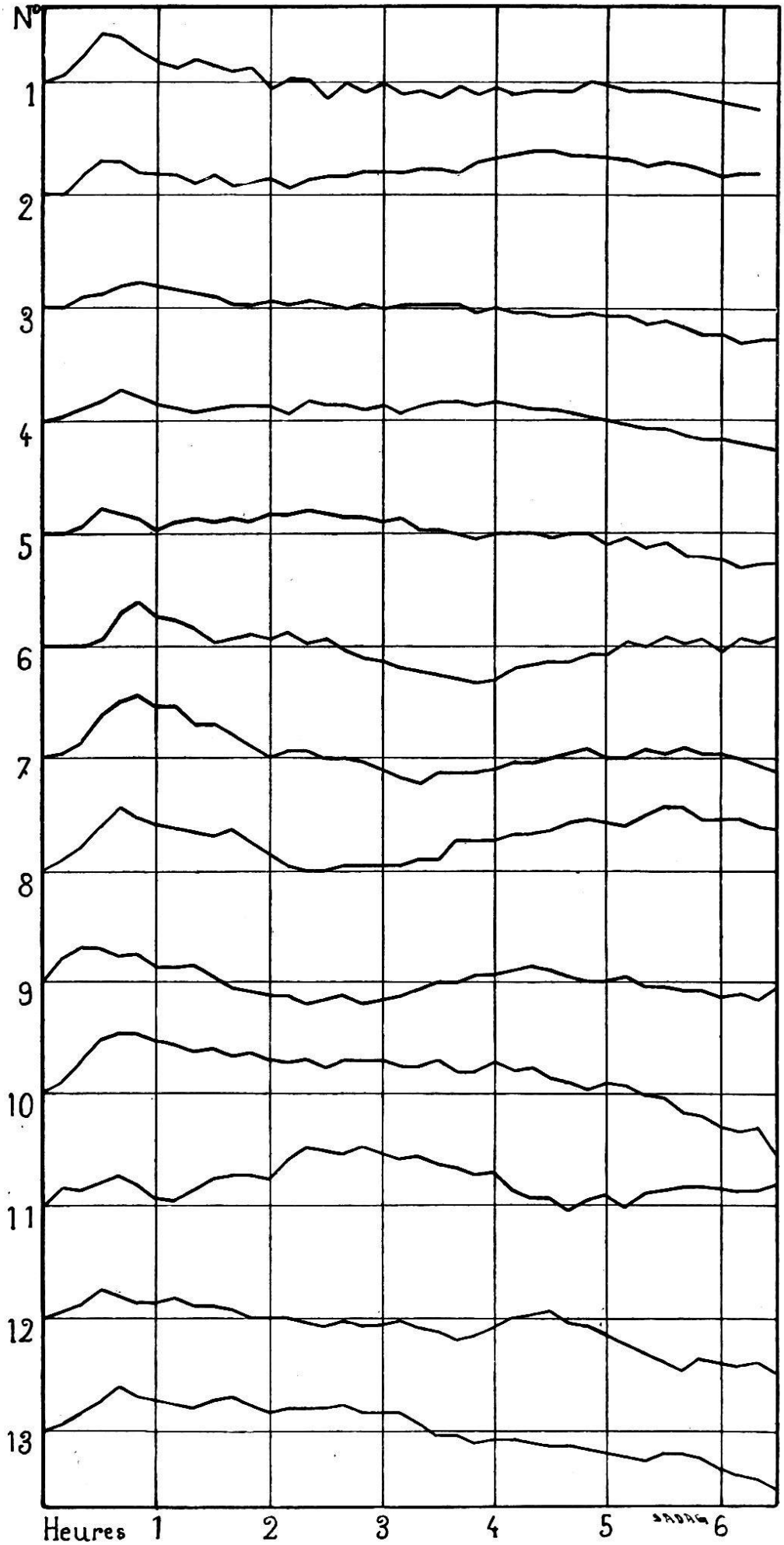


Fig. 3. — Déviations de chacune des plantes de la deuxième série.

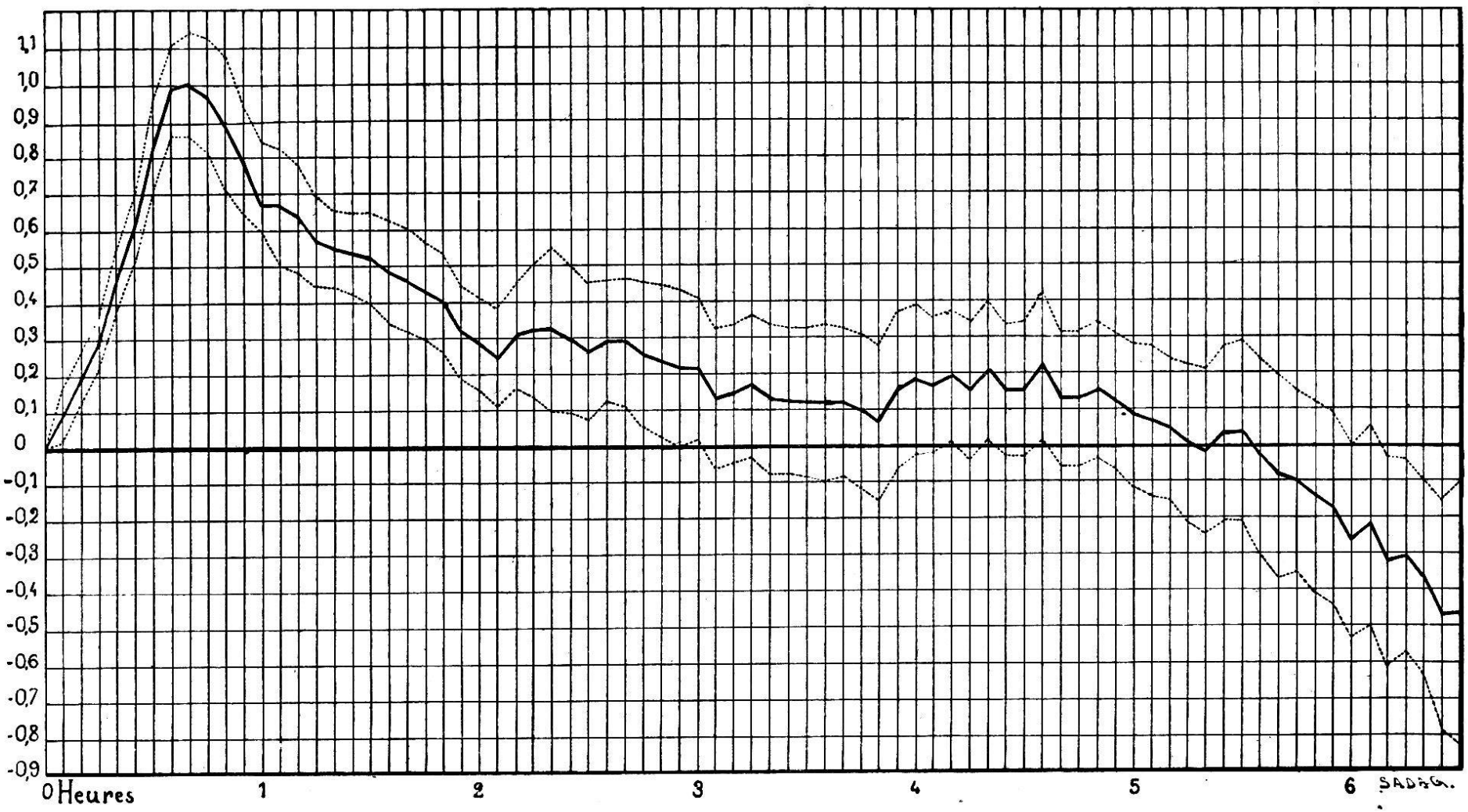


Fig. 4. — Déviations moyennes en millimètres du sommet des coléoptiles exposées horizontalement pendant 10 minutes, puis replacées verticalement.

Dans le graphique de la figure 3, on a représenté les résultats de chacune des expériences numérotées de 1 à 13 ; les déviations *h* ont été portées en abcisses de dix en dix minutes ; la figure 4 donne le graphique de la déviation *h* moyenne des treize expériences (trait plein) pour tous les intervalles de cinq en cinq minutes ; le trait pointillé est placé en chaque point à une distance double de l'erreur probable de *h*.

Le tableau IV donne la longueur des plantes 1 à 13 à la fin de l'expérience, ainsi que les températures moyennes, maximum et minimum observées pendant les expériences.

TABLEAU IV

| N° | Longueur en mm. | Température moyenne | Température maximum | Température minimum |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 22 | 27.30 | 27,8 | 27,1 |
| 2 | 21 | 27,13 | 27,6 | 26,8 |
| 3 | 21 | 27,24 | 27,8 | 26,8 |
| 4 | 23 | 27,46 | 27,8 | 26,9 |
| 5 | 28 | 27,50 | 27,8 | 27,3 |
| 6 | 29 | 27,10 | 28,9 | 25,0 |
| 7 | 27 | 27,65 | 28,0 | 26,8 |
| 8 | 22 | 27.90 | 27,4 | 27,1 |
| 9 | 25 | 27,39 | 26,8 | 28,0 |
| 10 | 28 | 27,67 | 28,2 | 27,2 |
| 11 | 27 | 27,75 | 28,0 | 27,3 |
| 12 | 26 | 27,79 | 28,1 | 27,2 |
| 13 | 24 | 27,54 | 28,4 | 26,7 |
| Moyennes | 24,8 | 27,49 | — | — |

## Discussion des expériences.

Les deux séries d'expériences diffèrent l'une de l'autre par la température et par le temps d'exposition ; la série de 1912 a été faite à une température moyenne d'environ 18°5, celle de 1913 à environ 27°5. La longueur des

plantes oscillait en 1912 autour de 30 millimètres, celle de 1913 autour de 25 millimètres.

La température plus élevée et le temps d'exposition plus long en 1913 amènent une réaction géotropique plus énergique : la longueur moins grande tend à donner des déviations *h* plus faibles.

*1re série d'expériences.*

Examinons tout d'abord le graphique de la figure 2. La déviation *h* portée en abcisses pendant le temps qui va de — 1 h. + 25 m. à — 1 h. + 55 m. devrait être constante s'il n'y avait pas de nutation ou si l'on avait un nombre infini d'expériences ; on voit en effet que la courbe est sensiblement parallèle à l'axe des temps ; l'ordonnée moyenne de cette phase de l'expérience représente l'état d'équilibre de la plante ; c'est le 0 auquel il faut rapporter les expériences ; c'est pourquoi j'ai tracé un axe en — — — — passant par la déviation moyenne *h* immédiatement avant que la plante fût exposée horizontalement ; à — 1 h. + 55 m. la plante est soumise horizontalement à l'action de la pesanteur, puis replacée verticalement ; à ce moment, temps 0, la position de l'extrémité de la plante est déterminée au cathétomètre ; on voit que pendant ces cinq minutes la déviation moyenne a passé de 0,17 mm. à 0 mm. Il s'est produit une flexion, probablement d'ordre mécanique, qui ne disparaît pas instantanément lorsque la plante est replacée verticalement. Comparons ce résultat avec celui d'une plante placée horizontalement et observée dans cette position. Pour cela nous n'avons qu'à nous reporter au tableau XIV, p. 465 de mon travail publié en 1912 ; le déplacement observé pour des plantes de 30 mm. était de 0,14 mm., c'est-à-dire du même ordre de grandeur que celle que nous observons, un peu plus faible cepen-

dant, ce qui tient à la manière différente de faire les expériences ; lorsque la plante est observée horizontalement, il est évident qu'on ne peut mettre au point le cathétomètre que quelques secondes après que la plante est dans la position horizontale ; pendant ce temps, la plante a déjà commencé sa flexion, de sorte que le résultat obtenu doit être trop faible.

Reprenons maintenant l'étude du graphique de la figure 2. Une fois replacée verticalement, les déviations augmentent dans le sens positif; la courbe des déviations montre qu'il se produit au bout de dix minutes un petit maximum suivi d'un léger fléchissement ; ce premier maximum est dû à la régression de la flexion mécanique qui s'était produite pendant l'exposition horizontale ; comme on peut le voir sur le graphique, la flexion ne disparaît pas complètement puisque l'ordonnée de ce maximum est moindre que celle de la déviation à — 1 h. + 55 m.

Ce premier maximum se retrouve dans les graphiques des fig. 18, 19 et 20 du travail publié en 1912.

La courbe des déviations devient ensuite rapidement ascendante et atteint un maximum aux environs de 1 h. 20 ; à partir de ce moment, la courbe descend plus lentement qu'elle n'est montée et revient à 2 h. 55 à l'ordonnée qu'elle avait à — 1 h. + 55 m. A 3 h. 25 la courbe passe par l'ordonnée 0 ; la déviation moyenne devient négative, passe par un minimum à 4 h. 15 ou avec une valeur de — 0,26 et redevient nulle à 5 h. Le minimum de 4 h. 15 est, si l'on prend l'ordonnée à — 1 h. 55 comme ordonnée initiale de — 0,43; le maximum de 1 h. 20 serait de 0,46; le temps compris entre le maximum et le point où la courbe coupe l'ordonnée de — 1 h. 55 est de 1 h. 35 ; le temps qui s'écoule entre ce point et le minimum est de 1 h. 20.

On peut interpréter le graphique de la figure 2 de la manière suivante :

Si l'on soumet une série de plantes à l'action de la pesanteur, en position horizontale, pendant cinq minutes, et qu'on les replace verticalement de telle manière que le plan de nutation des plantes fasse un angle quelconque avec le plan quic ontient les plantes dans les deux positions, horizontale et verticale, on constate que pendant la position horizontale la plante fléchit mécaniquement vers le bas ; replacée verticalement la flexion mécanique régresse ; en même temps, la courbure géotropique se produit ; la courbure géotropique est suivie d'un mouvement de nutation atteignant presque l'amplitude de la courbure géotropique et qui peut être représenté par une courbe à peu près sinusoïdale ; les expériences n'ont pas eu une durée suffisante pour montrer si les oscillations successives se suivent à des intervalles de temps égaux et si les amplitudes restent constantes ; d'après les chiffres du tableau I pour le temps qui s'écoule après 5 heures et qui n'ont pas été représentés sur le graphique parce que l'on n'avait pas de chiffres pour toutes les neuf expériences, il semble bien y avoir décroissance de la phase et de l'amplitude.

### 2me *série d'expériences.*

Dans la 2me série, les plantes étaient placées pendant dix minutes horizontalement ; leur plan de nutation était perpendiculaire au plan contenant la plante dans les deux positions horizontales et verticales, autrement dit le plan de nutation était le plan vertical contenant la ligne de visée du cathétomètre ; par conséquent, si l'on avait observé la nutation des plantes avant l'exposition horizontale, on n'aurait observé aucun mouvement.

Comme je tenais à suivre les plantes le plus longtemps possible après leur exposition horizontale, je ne les ai pas observées auparavant; je le regrette car j'aurais pu déterminer la flexion pendant l'exposition. Dans mon étude parue en 1912, j'avais trouvé une flexion vers le bas de 0,11 mm. après 5 minutes et de 0,10 au bout de 10 minutes pour les plantes de 25 mm. à 27° C., c'est-à-dire à peu près dans les mêmes conditions. Il faut cependant remarquer que le plan de nutation était orienté dans n'importe quelle direction, ce qui peut changer sa valeur.

Le graphique de la figure 4 montre que les 13 plantes ont présenté nettement une courbure géotropique; toutes ces plantes après avoir atteint une courbure maximum se sont redressées, la plupart sont revenues à zéro, mais avec des vitesses différentes; en négligeant les petits crochets des courbes, on constate la présence d'ondulations dont l'amplitude peut dépasser le déplacement dû au géotropisme.

Le graphique de la figure 4 donne la courbe des déviations moyennes *h*. En comparant cette courbe avec celle de la première série (fig. 3) on constate la disparition du petit maximum au bout de 10 minutes, ce qui est dû à une « vitesse atteinte de courbure » beaucoup plus forte que dans la première expérience grâce à la température plus voisine de l'optimum et à l'exposition plus longue. La déviation maxima est atteinte au bout de 40 minutes au lieu de 80 minutes; à ce moment la déviation moyenne est de 1 mm. au lieu de 0,63.

Après avoir atteint le maximum, la courbe redescend, d'abord rapidement, puis plus lentement; la concavité de la courbe est dirigée vers le haut. Si l'on admet que la position de la plante avant l'exposition horizontale était comprise entre 0,1 et 0,2 mm on voit que la courbe tend à se rapprocher insensiblement de l'horizontale précisément pour une valeur comprise entre 0,1 et 0,2. A

partir de 5 heures, il se produit une déviation systématique vers les valeurs négatives; il est possible qu'on puisse attribuer cet abaissement de la courbe au géotropisme ; en sortant les plantes de l'appareil, j'ai constaté, pour les plantes présentant une déviation négative, une torsion et une courbure de l'hypocotyle. Peut-être est-ce un effet de l'induction géotropique qui a mis 5 heures avant de se manifester. Quoi qu'il en soit, la coléoptile était toujours parfaitement droite à la fin de l'expérience.

Les expériences que je publie ici me semblent autoriser les conclusions suivantes :

*Des plantes d'avoine placées horizontalement pendant un certain temps, de façon à ce que le plan de nutation et le plan dans lequel se fait la courbure géotropique coïncident, montrent que la courbure géotropique déclanche une nutation qui atteint l'amplitude de la courbure géotropique.*

*Lorsque les plans de nutation et de courbure sont perpendiculaires l'un à l'autre, la courbure géotropique est suivie d'un retour à la position droite; ce mouvement est d'autant moins rapide que la plante est plus près d'être droite.*

En terminant, je remercie sincèrement M. le professeur E. Wilczek qui a bien voulu me permettre de disposer d'une partie des crédits de son laboratoire pour construire les appareils nécessaires.

**Travaux de l'auteur sur le Géotropisme.**

Etude sur le géotropisme. Bull. Soc. vaud. Sc. nat. XLV, p. 277-312 (1909).

Etude sur la réaction géotropique. Bull. Soc. vaud. Sc. nat. XLVI, p. 235-254 et p. 415-432 (1910).

Nouvelle étude expérimentale sur le géotropisme et essai d'une théorie mathématique de ce phénomènc. Bull. Société vaud. Sc. nat. XLVIII, p. 411-537 (1912).

Les lois du géotropisme. Act, Soc. helvétique 1913 IIe partie.