Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 65 (1951-1953)
Heft: 280

Artikel: Le phototropisme des racines de Lens Culinaris MEDIKUS
Autor: Pilet, Paul-Emile
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-274363

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: 12.07.2025

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

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles
N° 65 1952 N° 280

Le phototropisme des racines de *Lens Culinaris* MEDIKUS

PAR

Paul-Emile PILET

(Séance du 19 mars 1952)

I. INTRODUCTION

Si les tiges présentent, vis-à-vis de la lumière, une orientation définie et presque toujours constante (phototropisme +), il n'en va pas de même pour les racines qui se comportent d'une façon très variable lorsqu'on les excite par des radiations lumineuses.

Il était utile de reprendre complètement l'étude de cet important problème. En effet, d'une part les travaux déjà anciens qui décrivent ce phénomène sont pleins de contradictions, et d'autre part, il manque des théories modernes expliquant le phototropisme de la racine. Il convenait donc d'analyser avec soin [1] les réactions des racines vis-à-vis de la lumière et de les interpréter en utilisant les conclusions de nos travaux ultérieurs [2]. C'est l'objet de la présente publication. Puis il faudra reprendre l'étude théorique du phénomène que des lois plus précises que celles présentées jusqu'à maintenant semblent régir. Il s'agira enfin d'étendre ces études à des racines d'autres plantes pour voir dans quelle mesure la réaction phototropique se manifeste ailleurs.

II. ETUDE DU PHENOMENE

1. Historique.

Payer (30) constate que les racines ont tendance à fuir la lumière (?), surtout pour la partie du spectre comprise entre les raies F et H. Devaux (9) étudie le cas des racines de maïs et de sagittaire

[1] J'ai déjà présenté un mémoire (non publié) sur ce sujet intitulé: « Les auxines dans les racines de *Lens* et observations sur leur phototropisme » (Prix de Faculté, 1949). Ce travail en est la continuation.

[2] Un résumé de ces recherches sera publié dans *Phyton* (*Annales rei botanicae*). Austria.

et montre que la lumière favorise le développement des poils radiculaires, tout en provoquant un ralentissement de croissance et une diminution de la ramification. WIESNER (52, 53) observe que la sensibilité phototropique des racines est identique à celle des plaques photographiques (?), et montre (54) que les racines de *Raphanus* et *Sinapis* sont négativement phototropiques pour des lumières moyennes et fortes et positivement phototropiques pour des intensités faibles. LINSBAUER et VOUK (19) confirment ces observations. SCHAEFER (45) classe les racines en trois groupes (anhéliotropique, + et — héliotropiques) sans admettre la possibilité d'une inversion. CLARK (7) trouve pour *Avena* que la réaction phototropique dépend de l'intensité et de la durée de l'éclairement. La courbure de l'organe est d'abord +, puis — (avec une durée naturellement variable). NOACK (25) pense que le seuil d'intensité nécessaire à la courbure phototropique varie avec l'incidence des rayons lumineux en suivant une loi (L. des sinus) analogue à celle que MAILLEFER (20) proposa pour le géotropisme. MAILLEFER (21) fait remarquer que le dispositif de Noack donne une lumière polarisée qui fausse les résultats. ARISZ (1), à propos d'*Avena* observe qu'une courbure + apparaît pour 1,4 à 4000 BMS, l'inversion aurait lieu de 4000 à 70 000 BMS et l'organe redeviendrait + au-dessus de 120 000 BMS. TOLLENAAR (50) pense que la photoréaction de croissance marche de pair avec la réaction de croissance à l'obscurité, en général inverse; le phototropisme des racines résulterait de l'alternance de ces facteurs. Pour S. MEYLAN (23), la phase négative transitoire de la réaction phototropique des coléoptiles d'*Avena* qui disparaît en lumière faible appliquée pendant une longue durée, disparaîtrait également pour une même quantité de lumière appliquée sous une intensité croissante ou décroissante. BOSE (3) observe, pour les racines de *Sinapis*, une inversion très nette du phototropisme qui en 10 minutes passe de + 4° à — 3°. DASSEK (8) détermine les longueurs d'onde susceptibles de provoquer le phototropisme des rhizoïdes d'Hépatique (entre 470 et 497 mμ). La zone apicale serait seule sensible à l'excitation et la réaction, pour cet auteur, dépendrait essentiellement de l'indice du milieu de culture. NAUNDORF (24) observe que des racines primaires d'*Helianthus* sont phototropiquement + (l'angle maximum atteint étant de 40°), mais ces mêmes racines décapitées ne réagissent plus. PILET (32, 35), à propos des étamines d'*Hosta* est amené à comparer leur réaction avec celle des racines; l'inversion de leur géotropisme serait due à une augmentation de la luminosité, l'éosine ralentirait ce phénomène. ZIEGLER (50) étudie l'inversion phototropique des racines d'*Helianthus* pour un éclairement de 610 Lux, il montre en particulier que ces racines présentent des réactions plus nettes si elles sont plongées dans de la fluorescéine.

2. EXPÉRIENCES.

A. Technique.

Dans la plupart des essais qui vont suivre, j'ai utilisé une source ultra-violette (Lampe de Wood HPW, λ : 3600 Å ± 50) placée à

30 cm ± 5 de l'organe et qui fonctionne pendant 20 minutes, les observations étant faites 40 minutes après le début de l'essai. Les racines, parfaitement verticales, proviennent de graines intactes et fraîches qu'on a fait germer selon la technique habituelle (38, p. 140). Ces graines reposent sur un filet en nylon fixé à un récipient de quartz contenant un milieu nutritif voisin de celui de KNOP (*Ibid.*, p. 141), (v. fig. 1 A). La mesure de l'angle de courbure est faite par ombre chinoise (36, 38), cet angle (en degrés ± 5 est compris entre l'axe primitif de la racine (vertical) et le segment formé par les 4 derniers mm de celle-ci [1]). Tous les essais sont faits à l'étuve (température : 18° ± 1; humidité : 75 % ± 5).

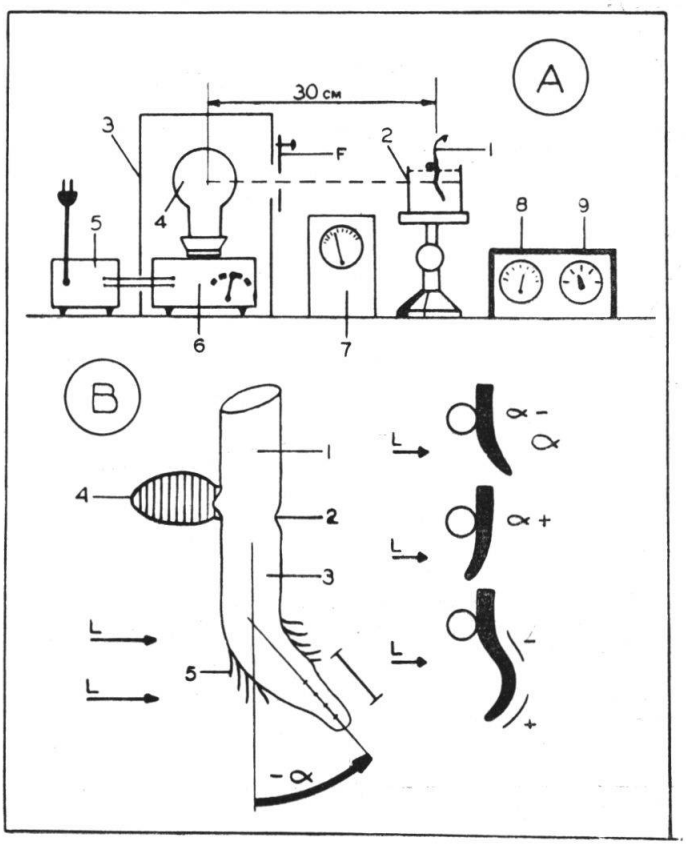

FIG. 1.

A. 1. Plante. — 2. Cuve en quartz. — 3. Chambre noire avec fenêtre F réglable. — 4. Lampe de Wood. — 5. Transformateur. — port et rhéostat. — 7. Luxmètre. — 8. Thermomètre. — 9. Hygromètre.

B. 1. Hypocotyle. — 2. Collet. — 3. Racine. — 4. Graine. — 5. Zone pilifère. — L. Radiations lumineuses.

B. Sens et durée de la réaction phototropique.

En suivant la courbure des racines de 16 mm placées devant la lampe de Wood à 30 cm et sous un éclairement de 10^3 Lux, on observe que (v. fig. 2) :

1. Si la durée de l'excitation augmente, les périodes de

[1] On donnera la valeur + à cet angle si la racine s'approche de la source lumineuse et — dans l'autre cas.

latence et de réaction diminuent pour une même valeur finale (environ 45°).

2. Il semble exister une relation simple entre ces périodes [1]. En outre, pour une excitation très forte, la latence et la réaction sont comprises dans la période d'excitation.

3. La racine, ayant atteint un angle de courbure maximum, voit cet angle diminuer. (Le géotropisme règle vraisemblablement l'orientation radiculaire lorsque le phototropisme n'est plus provoqué).

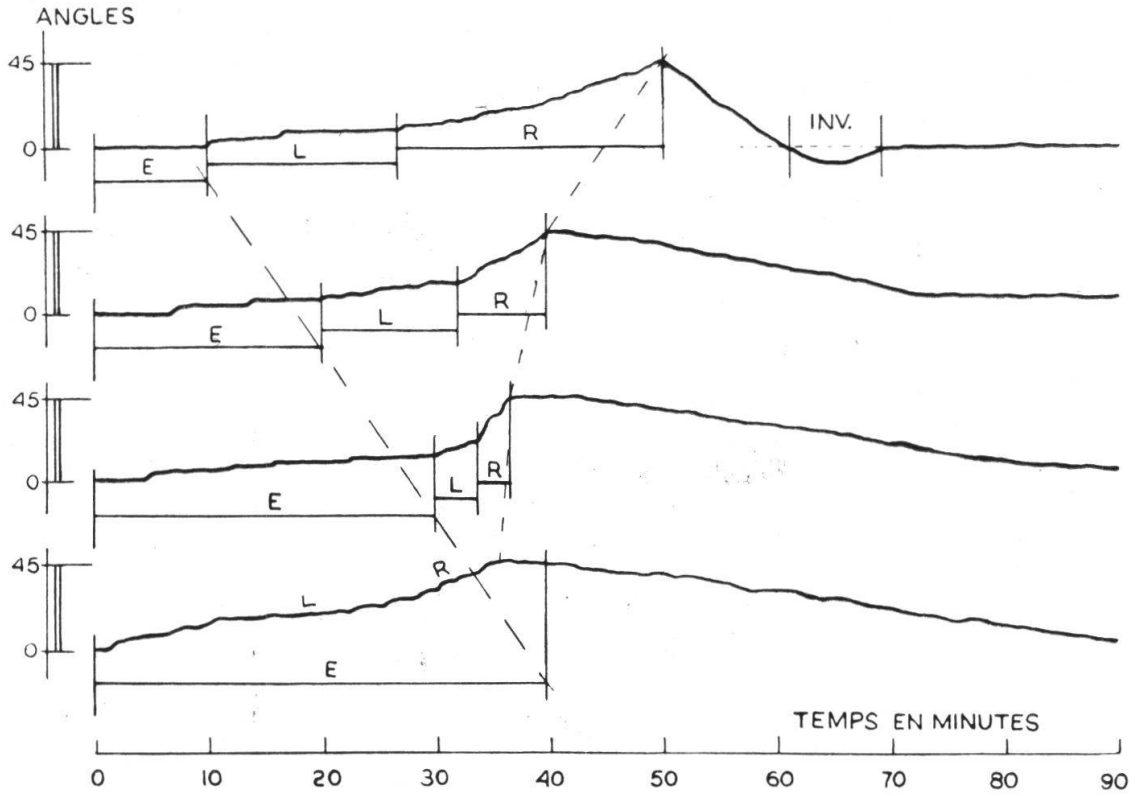

FIG. 2. — Variation de l'angle de courbure des racines en fonction du temps. Les racines mesurent 16 mm et sont placées à 30 cm d'une source UV (Eclairement : 10^3 Lux). Temp. : 18° ± 1. Humd. : 75 % ± 5. Durée de l'éclairement : 20 minutes et observations au bout de 40 minutes. — E. Période d'excitation. — L. Latence. — R. Réaction. — INV. Zone d'inversion.

A la suite de ces expériences, nous choisirons pour les essais ultérieurs une période d'éclairement de 20 minutes et les mesures seront faites 20 minutes après l'extinction de la source ou, en d'autres termes, 40 minutes après le début de l'expérience.

[1] Ces remarques accompagnées d'autres observations feront l'objet d'une étude ultérieure, dans laquelle j'aurai l'occasion de présenter une loi nouvelle sur le phototropisme.

C. Action des radiations ultra-violettes.

L'étude de ces réactions sera entreprise en faisant varier successivement :

a) la longueur des racines;
b) l'éclairement de la source lumineuse;
c) la durée d'exposition aux radiations ultra-violettes.

L'interprétation de ces essais sera donnée plus loin.

a) Longueur des racines.

L'éclairement étant fixé à 10^3 Lux et les conditions idenques à celles exposées en 2 A, nous voyons que (v. fig. 3) :

1. les jeunes racines présentent un phototropisme +, tandis que les racines plus âgées (plus longues) sont phototropiquement — [1];

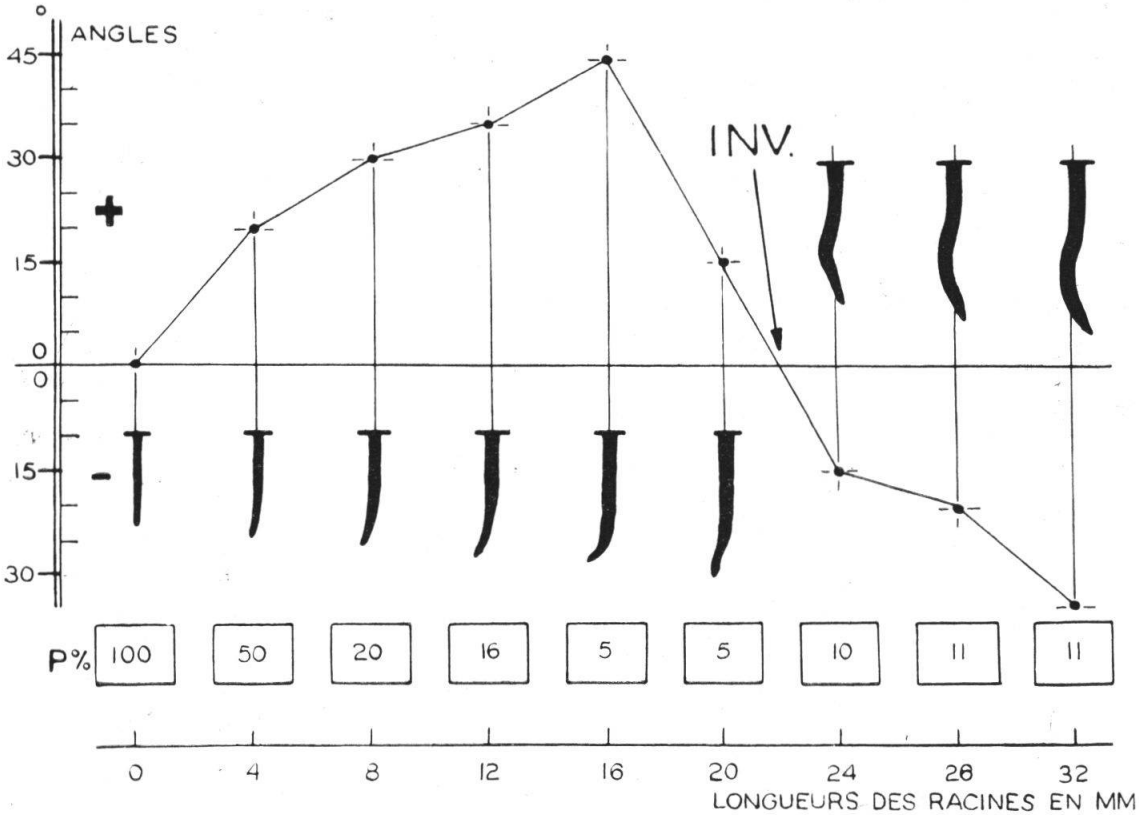

FIG. 3. — Variation de l'angle de courbure avec la longueur des racines. Mêmes conditions que celles de la fig. 2. P % = Nombre de racines (sur 100) présentant un phototropisme nul. INV, Zone d'inversion.

Pour chaque point $\mu = \sqrt{\frac{\Sigma \lambda i^2}{n-1}}$; $n = 50$; $\mu = 0{,}7$; $\delta = \pm 3^o$.

[1] Il faut noter cependant que ces remarques ne sont valables que pour des racines non encore munies de radicelles.

2. le % des racines ne présentant pas de phototropisme est minimum pour les racines dont la réaction est la plus forte.

b) Eclairement de la source lumineuse.

Les racines mesurant 16 mm sont placées dans les mêmes conditions que précédemment, mais elles sont soumises à des radiations dont l'éclairement varie. Les résultats (v. fig. 4) montrent qu'un faible éclairement entraîne une réaction peu prononcée de la part des racines tandis qu'un éclairement moyen provoque une forte courbure phototropique qui va diminuer d'ailleurs si l'éclairement continue à augmenter.

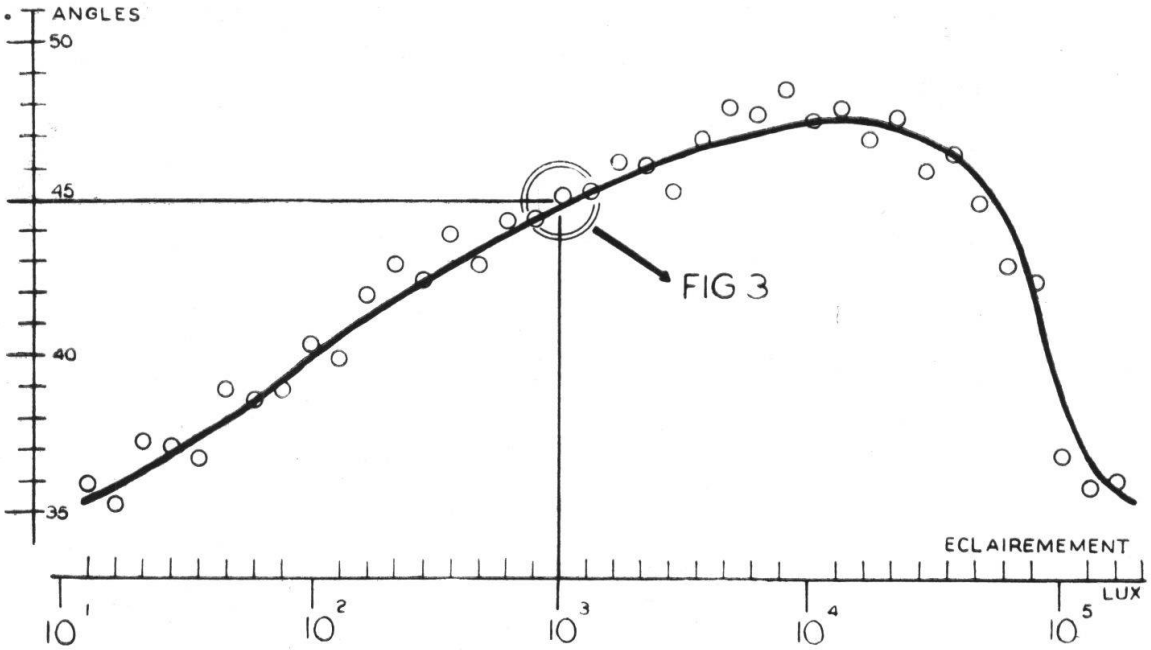

FIG. 4. — Variation de l'angle de courbure en fonction de l'éclairement. Mêmes conditions que celles de la fig. 2.
Pour chaque point $\mu = 0{,}67$; $n = 75$; $\sigma = \pm 2^o$.

c) La durée d'exposition aux radiations ultraviolettes.

Il va sans dire que si la durée d'exposition des racines à la source lumineuse change, la réaction phototropique sera différente. Les résultats présentés dans la fig. 2 sont caractéristiques à ce point de vue. On voit en effet que si la période d'éclairement augmente, la racine se courbe plus rapidement, mais il semble qu'elle ne peut dépasser un angle limite (ici de $45^o \pm 10$).

D. Action d'autres radiations.

Des racines sont placées dans les mêmes conditions que précédemment devant des sources différentes :

Lampe de Wood (conditions indiquées plus haut);

Lampe bleue (λ : 4600 Å $\pm$ 100, 40 w.);

Lampe blanche (25 Dlm, 40 w.);

Lampe rouge (λ : 670 Å $\pm$ 100, 40 w.). (V. à ce propos le rôle de ces radiations sur le développement des racines de *Lens,* 38, 39).

L'intensité de ces sources est constante (éclairement : 10^3 Lux), l'exposition dure 20 minutes et les observations sont faites 40 minutes après le début de l'expérience. Les résultats résumés dans la fig. 5 montrent que le comportement des racines vis-à-vis d'autres radiations que la lumière ultra-violette (sauf la lumière bleue) reste peu net [1].

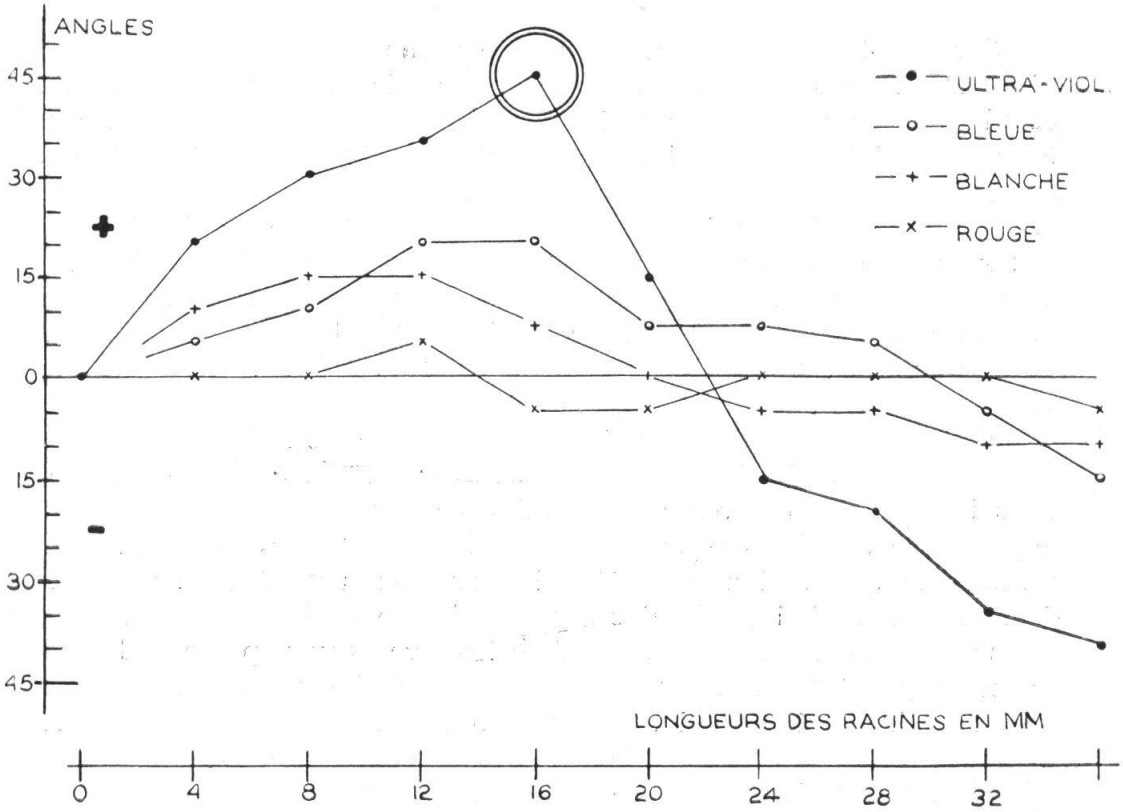

FIG. 5. — Variation de l'angle de courbure suivant les radiations lumineuses utilisées. Mêmes conditions que celles de la fig. 2. Ici la longueur des racines varie (v. fig. 3).

Pour chaque point $\mu = 0{,}8$; $n = 40$; $\sigma = \pm 3^o$.

3. Conclusions.

L'étude expérimentale du phénomène montre que les racines de *Lens* sont sensibles aux radiations lumineuses (ultra-violettes et bleues surtout) et qu'elles réagissent en se dirigeant vers la

[1] On comprend pourquoi les anciens travaux sur l'héliotropisme et le phototropisme des racines manquent de précision.

source (si elles sont jeunes) ou à l'opposé (si elles sont âgées). De plus, la réaction phototropique n'est pas immédiate (la période de latence qui précède la période de réaction, est d'autant plus élevée que la durée de l'excitation est plus courte). Enfin les racines se montrent très sensibles à des variations d'éclairement de la source excitante, elles se courbent ainsi davantage si l'éclairement augmente (à condition que sa valeur ne dépasse pas 10^4 Lux).

III. INTERPRETATION

1. Historique.

Small (48) expose une théorie électronique du phototropisme digne d'être conservée : la lumière augmente le taux de la respiration cellulaire et comme dans la racine il y aurait accumulation d'hydrions, la face éclairée devient plus turgescente; la tige, au contraire, plus alcaline, aurait une face éclairée moins turgescente. Brauner (6) pense que les radiations bleues, entraînant une diminution de la turgescence cellulaire, provoqueraient des courbures plus faibles (?). Van Overbeek (28), à propos de *Rhaphanus*, prouve que les substances de croissance sont déviées par la lumière, d'où la première tentative d'explication du phototropisme. Boysen-Jensen (5) attribue cette déviation à un trouble de la cyclose. Bottelier (4) montre que les radiations bleues sont très actives sur la circulation du cytoplasme; pour une source de 4360 Angs. et 200 ergs/cm^2, la cyclose est nulle, mais la courbure phototropique maxima (?). Pour Gessner (14) tout le problème du phototropisme est en relation avec l'extensibilitité des membranes qui diminue avec l'éclairement. Schrank (46) insiste sur l'action des radiations lumineuses sur la polarité cellulaire [1]. Van Overbeek (29) montre que la lumière inactive beaucoup moins l'hétéroauxine que l'auxine a. Laibach (18) attribue le phototropisme non seulement à une inactivation des hormones, mais à leur déviation et leur distribution inégale sur les faces d'un organe dissymétriquement éclairé. Pilet (32, 35, 36) confirme ces conclusions et montre que l'inversion géotropique n'a pas d'autres causes que l'inactivation et la déviation des auxines par la lumière changeant d'intensité. L'inactivation est d'ailleurs étudiée systématiquement par Koningsberger et Verkaaik (17), Oppenoorth (26), Stewart et Went (49), Schuringa (47) et d'autres... Il semblerait, à la suite de ces travaux, que l'énergie lumineuse assurerait la transformation de l'auxine a en lumi-auxine inactive. Une telle transformation se ferait en présence de photo-récepteurs déjà signalés par Atkins (2) qui songe à la chlorophylle, à des tétrapyrrols, aux carotènes et à la riboflavine. Kögl et

[1] Cette question sera reprise dans une prochaine étude en collaboration avec Mlle S. Meylan sur la polarité des racines et les problèmes auxiniques.

SCHURINGA (16) montrent que l'auxine-a-lactone n'est inactivée par les radiations ultraviolettes qu'en présence de caroténoïdes. Une telle réaction serait pour KÖGL, ERXLEBEN et KÖNINGSBERGER (15) une réaction en chaîne. MANTEN (22) prouve que le b. carotène est le plus important des photorécepteurs. GALSTON (10, 11) et GALSTON et HAND (12) confirment les travaux précédents. PILET observe que la circulation latérale des hormones est profondément troublée par un éclairement dissymétrique; il en va de même pour la concentration de ces substances. Ce phénomène est étudié pour des racines (31, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 42) des étamines (32, 35, 36) et des rhizomes (41, 43). Mais ce changement de concentration totale n'est pas admis par WENT (55) qui pense que la lumière n'agirait pas sur la quantité globale des hormones, mais bien sur la valeur relative de celles-ci pour les faces éclairée et dans l'ombre.

2. OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

Je reprendrai ici quelques-unes des conclusions présentées dans d'autres travaux qui permettront de comprendre le phototropisme des racines.

a) La teneur en auxine change avec l'âge des racines : une jeune racine possède moins d'hormones qu'une racine âgée qui en a trop (dose susoptimale), (31, 33, 34, 37, 38, 39, 42).

b) Or, pour la racine de *Lens*, la dose susoptimale commence à se former lorsqu'elle mesure environ 16 mm (38, 39, 40). C'est précisément le moment où le phototropisme atteint sa plus grande valeur (+), après quoi l'angle de courbure s'inverse rapidement.

c) Sous l'action de la lumière, les auxines subissent deux phénomènes importants :

1. destruction (ou inactivation), (36, 37, 38, 39);
2. déviation (36, 38, 40).

d) Des racines éclairées possèdent donc moins d'auxines que des racines placées à l'obscurité, et les régions dans l'ombre possèdent plus d'hormones que celles exposées à la lumière (38, 39, 40, 41).

3. HYPOTHÈSE.

Il est possible alors d'établir l'hypothèse suivante (en tout point semblable à celle que j'ai présentée pour l'inversion géotropique des étamines) (35, 36).

Les jeunes racines, pauvres en auxines, sont phototropiquement + (elles se comportent comme des tiges), parce que leur face dans l'ombre, possédant plus d'hormones que leur face éclairée, va grandir davantage. Les vieilles racines, trop riches en auxines (dose susoptimale), vont présenter un phototro-

pisme —, car elles possèdent trop d'auxines sur la face dans l'ombre (inhibition) et suffisamment sur leur face éclairée (pour un temps cependant) qui grandira beaucoup plus [1].

4. Vérification.

Il était possible de vérifier l'hypothèse précédente, en plongeant des racines jeunes (de 16 mm par exemple : donc phototropiquement positives) dans des solutions auxiniques (on augmente ainsi leur taux en hormones) et d'étudier leurs réactions phototropiques pour des concentrations variables de substances de croissance. La technique est identique à celle utilisée précédemment, mais on ajoute au milieu nutritif un sel de l'hétéroauxine, le b. indolylacétate de K, dont les concentrations sont exprimées en Mol. Abia (36, 38). Les résultats de ces essais (v. fig. 6) permettent de confirmer l'hypothèse précédente. En effet, si la dose en auxines apportées à la racine augmente,

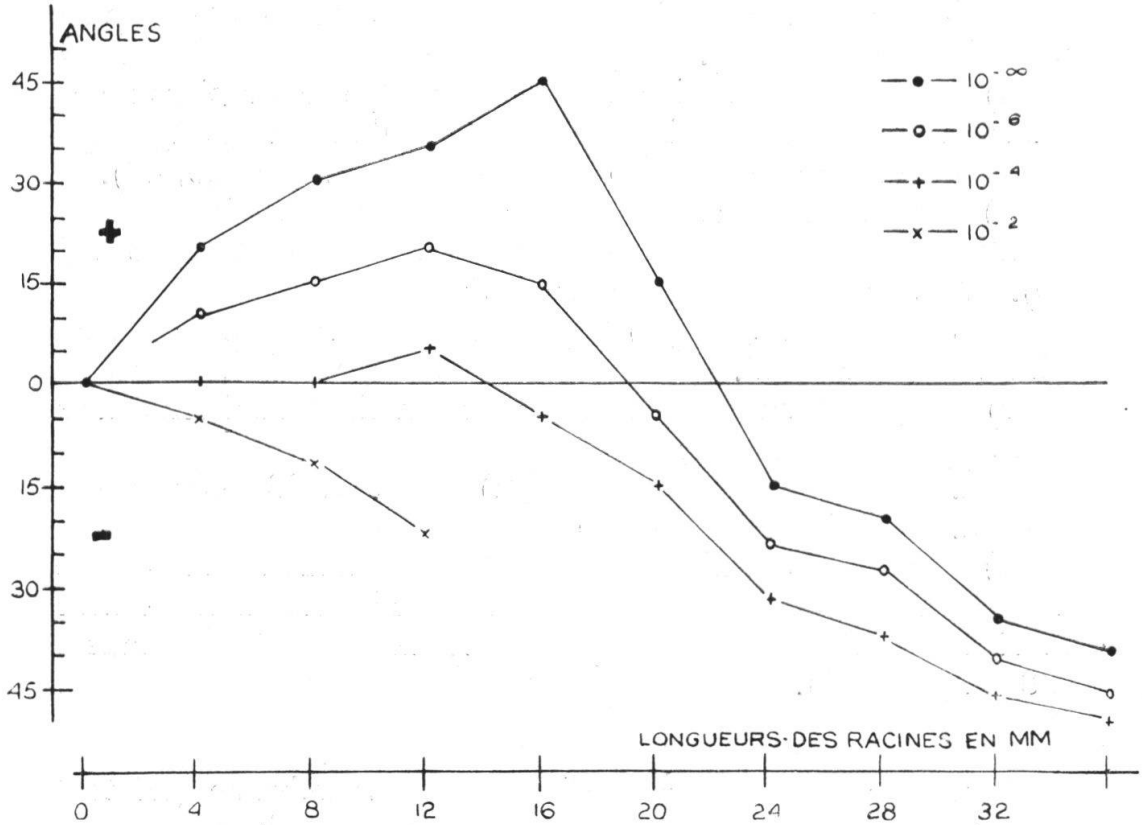

Fig. 6. — Variation de l'angle de courbure suivant la concentration en auxines du milieu.

Pour chaque point $\mu = 0{,}71$; $n = 50$; $\sigma = \pm 2^{\circ}$.

[1] Cette hypothèse qui se base sur mes observations s'oppose aux conclusions de Segelitz (44), cet auteur admettant en effet que la lumière augmente la concentration des auxines radiculaires tout en détruisant celles de la tige (?).

on constate que l'angle de courbure + est de plus en plus faible et finit par devenir — (inversion). Une racine jeune ayant absorbé des hormones se comporte exactement comme une vieille racine [1]. Il est en outre facile de comprendre, à la suite de ces essais, pourquoi il existe des racines qui sont immédiatement phototropiquement —, il suffit d'admettre (et nous le démontrerons ailleurs) que dès le début elles contiennent une

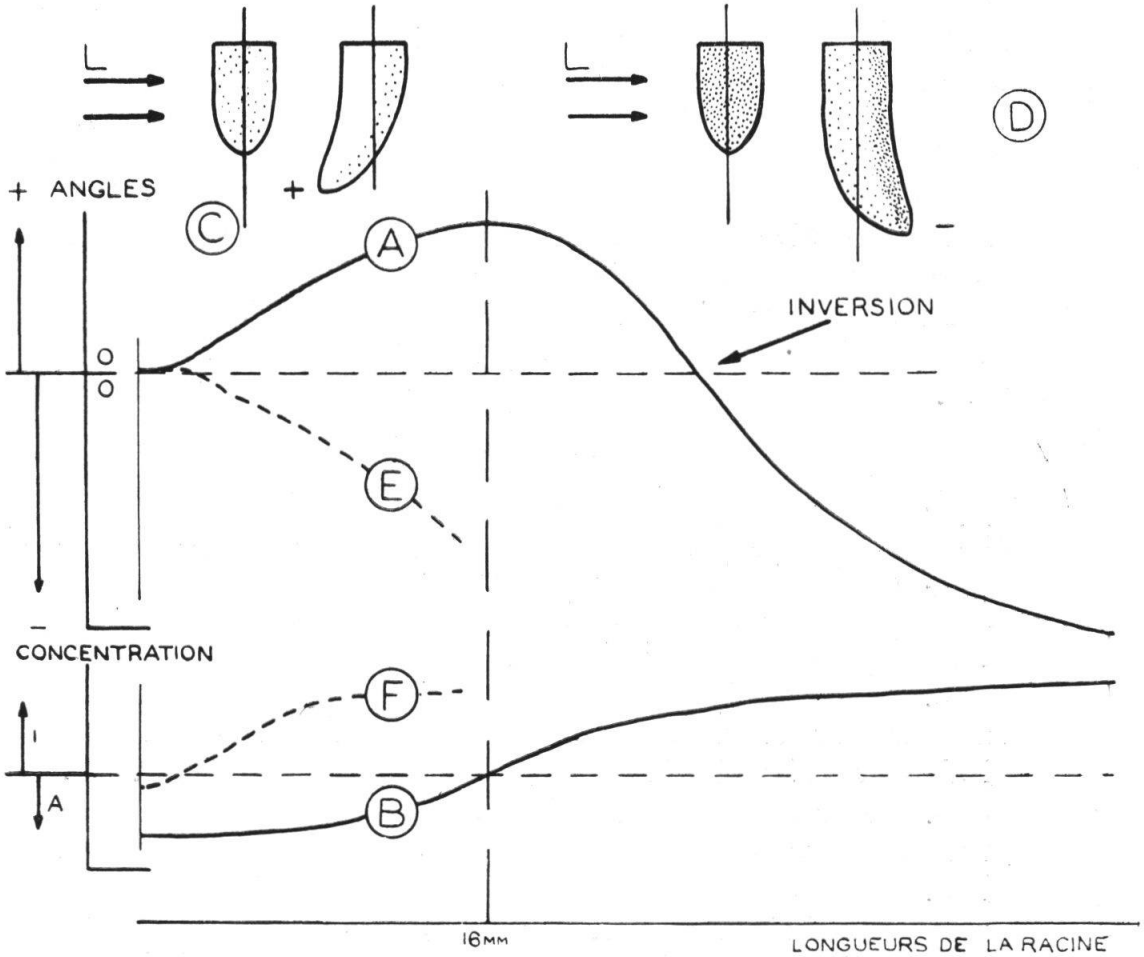

FIG. 7. — A. Courbe exprimant la variation de l'angle de courbure pour des racines de longueur variable. — B. Courbe donnant la teneur en hormones de racine d'âge variable; I. Zone d'inhibition; A. Zone d'accélération. — C. Schéma d'une jeune racine éclairée et distribution de ses auxines. — D. Idem, mais pour une vieille racine. — E. Même courbe que A, mais pour des racines directement phototropiques —. — F. Distribution des auxines pour les racines type E.

[1] Des expériences semblables ont été réalisées par GEIGER-HUBER et HUBER (13) à propos du géotropisme. Des tiges traitées par des substances de croissance subissent l'inversion géotropique (de —, elles deviennent +). La tige pauvre en auxines en reçoit et se comporte alors comme une racine.

dose susoptimale d'hormones de croissance (bien que jeunes, ces racines se comporteraient donc comme des racines âgées). Il faut ajouter cependant que leur croissance est plus faible et qu'elles portent dès le début des radicelles.

5. Conclusion.

Une jeune racine éclairée présente un phototropisme +, tandis que plus âgée, elle devient phototropiquement —. Cette inversion peut s'expliquer par la différence de concentration en hormones (concentration faible pour des racines de moins de 16 mm et trop forte pour des racines plus grandes). Une partie des auxines étant inactivée sur la face éclairée et l'autre chassée vers la face dans l'ombre. Cette différence de concentration au niveau d'une même racine permet d'expliquer la courbure : pour des racines de moins de 16 mm c'est la face obscure qui grandit davantage; pour des racines de plus de 16 mm, c'est la face éclairée qui, au contraire se développe le plus.

IV. RESUME

1. Des jeunes racines présentent un phototropisme +; plus vieilles, elles deviennent phototropiquement — (v. fig. 7 A).

2. A l'excitation lumineuse succède une phase de latence et une phase de réaction. Si la durée d'excitation augmente, les périodes précédentes diminuent.

3. Un éclairement peu prononcé, pour de jeunes racines, entraîne une réponse faible qui croît avec cet éclairement et diminue ensuite si l'éclairement continue d'augmenter.

4. Les radiations ultra-violettes et bleues sont particulièrement capables de provoquer un phototropisme radiculaire.

5. Comme de jeunes racines possèdent moins d'auxines que des racines âgées (v. fig. 7 B) et que le passage d'une concentration activatrice à une concentration inhibitrice a lieu précisément au point où la courbure phototropique + est maxima, la thèse des auxines permet d'expliquer ce phénomène.

6. Sachant que les auxines sont inactivées et déviées par les radiations lumineuses et que les jeunes racines contiennent peu d'auxines, on peut dire que leur face éclairée se développe moins que la face dans l'ombre (v. fig. 7 C), tandis que de vieilles racines présentent le phénomène inverse (v. fig. 7 D).

7. On peut provoquer artificiellement l'inversion phototropique en augmentant le taux en hormones de jeunes racines (elles se comportent alors comme des racines âgées, ce qui confirme mon hypothèse).

8. Enfin, comme il existe des racines qui ne passent pas par le stade du phototropisme + et fuient, dès le début de leur développement, la source lumineuse (v. fig. 7 E), on en peut déduire que très tôt, ces organes contiennent une dose susoptimale d'hormones de croissance (v. fig. 7 F).

BIBLIOGRAPHIE

1. ARISZ, W.-H. — Untersuchungen ueber den Phototropismus. *Rec. Trav. Bot. Néerl.*, 12, 1945.
2. ATKINS, G.-A. — The effect of pigment on phototropic response : A comparative study of reactions to monochromatic light. *Amer. J. Bot. 50*, 197, 1936.
3. BOSE, J.-C. — Growth and tropic movements of plants. London, 1929.
4. BOTTELIER, H.-P. — Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Protoplasmaströmung von *Avena. Proc. Kon. Akad. Amsterdam 36*, 790, 1933.
5. BOYSEN-JENSEN, P. — Ueber die durch einseitige Lichtwirkung hervorgerufene transversale Leitung des Wuchsstoffes in der *Avena*-Koleoptile. *Planta, 19*, 335, 1933.
6. BRAUNER, L. — Untersuchungen ueber die phototropische Induktion in der Spitze der *Avena*-Koleoptile, *Planta, 5*, 464, 1928.
7. CLARK, O.-L. — Ueber negativen Phototropismus bei *Avena sativa. Zeitschr. Bot.*, *5*, 737, 1913.
8. DASSEK, M. — Der Phototropismus der Lebermoosrhizoiden. *Beitr. z. Biol. d. Pflanzen, 26*, 125, 1939.
9. DEVAUX, M. — De l'action de la lumière sur les racines croissant dans l'eau. *Bull. Soc. Bot. France, 35*, 305, 1888.
10. GALSTON, A.-W. — Riboflavin-sensitized photoöxidation of indoleacetic acid and related compounds. *Proc. Nat. Acad. Sci. 35*, 10, 1949.
11. — Phototropism. II. *The bot. Rev. 16*, 361, 1950.
12. GALSTON, A.-W., HAND, M.-E. — Studies on the physiology of light action I. Auxin and the light inhibition of growth. *Amer. J. Bot.*, *36*, 85, 1949.
13. GEIGER-HUBER, M., HUBER, H. — Ueber die Ursache des gegensätzlichen geotropischen Verhaltens von Spross und Wurzel. *Experientia 1*, 26, 1945.
14. GESSNER, F. — Phototropismus und Wanddehnbarkeit. *Jahrb. Wiss. Bot. 82*, 796, 1936.

15. Kögl, F., Erxleben, H., Köningsberger, V.-J. — Ueber die Lichtempfindlichkeit von Auxin-a-lacton. *Zeitschr. Physiol. Chemie, 280*, 135, 1944.

16. Kögl, F., Schuringa, C.-J. — Ueber die Inaktivierung von Auxin-a-lacton bei verschiedenen Wellenlängen und den Einfluss von Carotinoiden auf die Lichtreaktion, *Ibid.* 148, 1944.

17. Köningsberger, V.-J., Verkaaik, B. — On phototropic curvatures in *Avena* caused by photochemical inactivation of auxin via its lactone. *Rec. Trav. Bot. Neerl., 35*, 1, 1938.

18. Laibach, F. — Zur Frage der Inaktivierung des Wuchsstoffes durch Licht. *Ber. d. deutsch. bot. Ges. 56*, 298, 1938.

19. Linsbauer, K., Vouk, V. — Zur Kenntnis des Heliotropismus der Wurzeln. *Ibid., 27*, 151, 1909.

20. Maillefer, A. — Nouvelle étude expérimentale sur le géotropisme et essai d'une théorie mathématique de ce phénomène. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 48*, 411, 1912.

21. — Critique des expériences de R. Noack, sur l'héliotropisme. *Arch. Sc. Phys. et nat., 37*, 1914.

22. Manten, A. — Phototaxis, phototropism and photosynthesis in purple bacteria and blue-green algae. Dissert, Utrecht, 1948.

23. Meylan, S. — Effet phototropique et distribution dans le temps de la quantité de lumière. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 57, 223*, 89, 1929.

24. Naundorf, F.-G. — Untersuchungen ueber den Phototropismus der Keimwurzel von *Helianthus annuus. Planta, 30*, 639, 1940.

25. Noack, K. — Die Bedentung der schiefen Lichtrichtung für die Perzeption parallelotroper Organe. *Zeitschr. f. Bot. 6*, 1, 1914.

26. Oppenoorth, W.-F.-F. — Photo-inactivation of auxin in the coleoptile of *Avena* and its bearing on phototropism. *Proc. Kond. Akad. Wetensch. Amsterdam, 42*, 902, 1939.

27. — On the role of auxin in phototropism and light growth reactions of *Avena* coleoptiles. *Rec. Trav. Bot. Néerl., 38*, 287, 1941.

28. Overbeek, J., van. — Wuchsstoff, Lichtwachstumsreaktion und Phototropismus bei *Raphanus. Ibid. 30*, 537, 1933.

29. — Growth-substance curvature of *Avena* in Light and dark. *Journ. gen. Physiol. 20*, 283, 1936.

30. Payer, J. — Mémoire sur la tendance des racines à fuir la lumière. *C. R. Acad. Sc. 27*, 1843.

31. Pilet, P.-E. — Essais de bouturage de *Cereus* spec. et *Phyllocactus* spec. *Rev. hort. suisse,* 278, 1948.

32. — Contribution à l'étude du géotropisme des étamines d'*Hosta caerulea. Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 64*, 185, 1949.

33. — Etude de l'action de l'a-naphtacétylglycinate de K sur le développement de *Salvinia natans. Experientia*, 5, 119, 1949.

34. — Rhizogenèse chez *Thuja occidentalis. Rev. hort. suisse,* 330, 1949.

35. — Le géotropisme des étamines. *Act. Soc. helv. Sc. nat.*, Lausanne, 155, 1949.

36. — Nouvelle contribution à l'étude du géotropisme des étamines d'*Hosta caerulea*. *Bull. Soc. bot. suisse, 60*, 5, 1950.

37. — Enracinement des feuilles du *Ramonda myconi* à l'aide d'un sel de l'hétéroauxine, *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, *64*, 433, 1950.

38. — Contribution à l'étude des hormones de croissance dans les racines de *Lens culinaris*. *Mém. Soc. vaud. Sc. nat.*, *10*, 137, 1951.

39. — Répartition et variation des auxines dans la racine de *Lens culinaris*, *Experientia. VII/7*, 262, 1951.

40. — Etude de la circulation des auxines dans la racine de *Lens culinaris*. *Bull. Soc. bot. suisse, 61*, 410, 1951.

41. — Distribution auxinique dans les rhizomes et les racines d'*Iris pseudacorus*. *Ibid, 61*, 471, 1951.

42. PILET, P.-E., MICHEL, H. — Application des hormones et substances de croissance dans le bouturage. *Rev. hort. suisse, 10*, 307, 1950.

43. PILET, P.-E., PFISTER, C. — Action des auxines sur le développement et la structure des racines d'*Iris Pseudacorus*. *Bull. Soc. bot. suisse, 61*, 461, 1951.

44. SEGELITZ, G. — Der Einfluss von Licht und Dunkelheit auf Wurzelbildung und Wurzelwachstum. *Planta, 28*, 617, 1938.

45. SCHAEFER, R. — Heliotropismus der Wurzeln. Dissert; Charlottenburg, 1911.

46. SCHRANK, A.-R. — Experimental control of phototropic bending in the *Avena* coleoptile by application of direct current. *Jour. Cell. a. Comp. Physiol. 32*, 143, 1948.

47. SCHURINGA, C.-J. — De foto-inactivering van auxin-a-lacton. Dissert., Utrecht, 1941.

48. SMALL, J. — Preliminary note on a hydrion differenciation theory of heliotropism. *The New. Phytol.* 9-10, 1920.

49. STEWART, W.-S., WENT, F.-W. — Light stability of auxin in *Avena* coleoptiles. *Bot. Gaz. 101*, 706, 1940.

50. TOLLENAAR, D. — Dark-Growth-Response. *Proc. Kon. Akad. Amsterdam, 17*, 1923.

51. ZIEGLER, H. — Inversion phototropischer Reaktionen. *Planta, 39*, 474, 1950.

52 WIESNER, J. — Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. I, *Denkschr. Akad. Wien. Math.-Naturw. 39*, 1879.

53. — *Id.* II, *Ibid. 43*, 1882.

54. — Ueber die photometrische Bestimmung heliotropischer Constanten. *Biol. Centralbl.*, *69*, 306, 1897.

55. WENT, F.-W. — Growth, auxin and tropism in decapited *Avena* coleoptiles. *Pl. Physiol. 17*, 236, 1942.