

Étude du rythme circadien de croissance de la tige de soja : relations entre feuille, tige et racine

Autor(en): **Ogier, Guillaume / Bonnet, Bernard / Tamini Zoumbiessé**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société**

Band (Jahr): **40 (1987)**

Heft 3: **Archives des Sciences**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-740322>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Arch. Sc. Genève	Vol. 40	Fasc. 3	pp. 307-318	1987
------------------	---------	---------	-------------	------

ETUDE DU RYTHME CIRCADIEEN DE CROISSANCE DE LA TIGE DE SOJA. RELATIONS ENTRE FEUILLE, TIGE ET RACINE

PAR

Guillaume OGIER ¹, Bernard BONNET ² et Zoumbiéssé TAMINI ²

RÉSUMÉ

Le rythme de croissance du premier entre-nœud de la tige de Soja a été étudié soit sous régime photothermopériodique (A), soit en conditions uniformes (B), soit après transfert de A vers B. Ce rythme est circadien et possède des propriétés des rythmes endogènes. La teneur en eau relative des feuilles, le flux et la quantité de potassium de la sève brute sortant de la racine ont été suivis pendant quarante-huit heures sous régime photothermopériodique. Nous avons mis en évidence une relation temporelle entre le maximum de la vitesse de croissance de la tige et les maxima du flux et de la teneur en potassium de la sève brute.

Mots clefs: tige, rythme circadien, croissance, teneur en eau relative, sève brute, potassium, *Glycine max.*

ABSTRACT

Study of the circadian growth rhythm of the soybean stem, relationships between leaf, stem and root.

The growth rhythm of the soybean stem first internode has been studied under either photothermoperiodical (A) or constant (B) conditions or after transfer from A to B. This rhythm is circadian and exhibits some properties of the endogenous rhythms. The leaf relative water content, the flow and potassium content of the xylem sap coming out from the root have been measured during forty-eight hours under photo-thermoperiodical conditions. We have shown a temporal relationship between the maximum stem growth velocity and the flux and potassium content maxima of the xylem sap.

Key words: stem, circadian rhythm, growth, relative water content, xylem sap, potassium, *Glycine max.*

INTRODUCTION

L'existence de variations quotidiennes dans l'allongement des plantes cultivées en conditions d'alternance jour-nuit, naturelles ou contrôlées, est connue depuis longtemps; Pfeffer (1912) rapporte dans son ouvrage de Physiologie végétale les observa-

¹ Laboratoire de Physiologie végétale, 3, place de l'Université, CH-1211 Genève 4.

² Laboratoire de Botanique, Faculté des Sciences, place Leclerc, F-25030 Besançon Cedex.

tions faites à ce sujet il y a plus d'un siècle par un certain nombre de chercheurs, Baranetzki et Sachs principalement. Par la suite, divers ouvrages généraux (par exemple: Lubimenko, 1927; Guilliermond et Mangenot, 1937; Bünning, 1956a; Champagnat, 1969; Roland, 1982) ainsi que des publications consacrées aux phénomènes rythmiques chez les végétaux (Bünning, 1956b, 1964; Baillaud, 1958; Cumming et Wagner, 1968; Sweeney, 1969) font état de la notion de périodicité journalière de croissance.

Les fluctuations quotidiennes de la croissance ont donc souvent été notées chez les plantes supérieures, mais l'étude des mécanismes concernant cet aspect de leur développement n'a intéressé jusqu'ici que peu de chercheurs (Millet, 1970; Assaad, 1985) et beaucoup de questions se posent encore. Celle qui nous préoccupe actuellement est de savoir si l'origine du rythme circadien de croissance observé au niveau de la tige se situe dans la tige elle-même ou dans un autre compartiment.

Pour apporter un élément de réponse nous avons d'abord caractérisé les variations périodiques de l'allongement de la tige du Soja, puis nous avons essayé de mettre en évidence une éventuelle relation entre ces variations et celles de trois paramètres susceptibles d'avoir une influence sur la croissance: la teneur en eau relative des feuilles, le débit de la sève brute et sa teneur en potassium au sortir du système racinaire.

La mesure de la teneur en eau relative permet de quantifier le degré d'hydratation d'un organe et donne une indication sur son potentiel hydrique (Baker, 1984).

La sève brute peut agir par son flux et par son contenu en ions en assurant l'apport d'eau et d'éléments nutritifs ainsi qu'en établissant un gradient osmotique au niveau des zones en croissance.

Ces deux paramètres ont pour point commun l'eau présente dans la plante dont l'importance dans les phénomènes de croissance n'est plus à démontrer (Kramer, 1983). Si, à notre connaissance, les variations de la teneur en eau relative au cours d'un nyctémère n'ont pas été étudiées, les fluctuations circadiennes du débit d'exsudation ont été décrites chez de nombreuses espèces (voir Monard, 1985).

Quant au choix du potassium il se justifie par le fait que cet ion joue un rôle primordial dans le développement de la plante. Sa fonction d'ensemble est d'intensifier le taux des réactions anaboliques (Beringer, 1978); il agit comme cofacteur ou activateur de nombreuses enzymes, en particulier de celles qui interviennent dans les synthèses de protéines ou de polysides.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La plante et les conditions de culture

Le matériel expérimental utilisé est le Soja *Glycine max* (L. Merrill) cv. Mapple-arrow, cultivar très précoce (catégorie 00), fourni par Rustica (Toulouse).

La germination a lieu à la température ambiante (env. 20°C) et à l'obscurité dans de la vermiculite humide. Après trente heures d'imbibition les individus dont

la racine mesure entre 5 et 10 mm sont repiqués dans des pots de 200 ml remplis de vermiculite, répartis dans des bacs contenant en permanence une solution nutritive (Yih et Clark, 1965).

Les plantes sont cultivées en salle climatisée, soit sous un régime photothermopériodique: quatorze heures de lumière, 25°C avec 60 à 70% d'humidité relative et dix heures d'obscurité, 19°C avec 70 à 75% d'humidité relative, soit en conditions uniformes: lumière continue, 25°C avec 60 à 65% d'humidité relative. Dans les deux cas l'éclairage, fourni par des tubes fluorescents (Sylvania «Gro-Lux WS» de 215 W), est de 23 W.m⁻² au niveau des plantes.

Acquisition et traitement des données relatives à la croissance

Les plantes utilisées sont âgées de 7 à 8 jours et choisies parmi celles dont le premier entre-nœud mesure environ 10 mm.

L'allongement de la tige est suivi pendant plusieurs jours, au niveau du premier entre-nœud, à l'aide d'un système de mesure automatisé (réalisé par ELPRA) qui comprend des capteurs de déplacement linéaire (transducteurs linéaires TNC, «L50» et «L100», générateur de modulateur TNC «GDL»), un convertisseur analogique-numérique et un micro-ordinateur (Epson, «HX-20»). Toutes les trente minutes, pendant six jours, le micro-ordinateur procède à la collecte des données. Celles-ci sont ensuite transférées sur un autre micro-ordinateur en vue du traitement mathématique qui est effectué suivant les modalités établies par Assaad (1985).

Dans un premier temps la tendance ou ligne de base du signal initial, traduisant la croissance globale de l'entre-nœud, est soustraite d'une sigmoïde calculée par la méthode des moindres carrés. Cette opération, tout en permettant de travailler sur un signal stationnaire, a pour effet de supprimer les oscillations de basses fréquences (liées à la tendance générale) qui pourraient masquer les variations de fréquences plus élevées que l'on cherche à caractériser.

Ce signal stationnaire est traité par deux méthodes de l'analyse spectrale l'une, classique, est l'analyse de Fourier, l'autre, dite «moderne», est l'analyse au sens du maximum d'entropie.

La première donne un spectre de fréquences discontinu, donc une valeur approchée de la fréquence dominante, mais permet de connaître les autres paramètres (amplitude et phase) de la fonction périodique correspondante. La seconde, considérée comme moins stricte quant à ses conditions d'application, a l'avantage de permettre l'établissement d'un spectre continu et par conséquent de déterminer la fréquence avec une meilleure précision, mais elle ne fournit aucun renseignement sur la phase.

Mesure de la teneur en eau relative

La teneur en eau relative est déterminée sur des plantes âgées de 20 jours préalablement sélectionnées puis réparties au hasard en 13 lots de 4 individus chacun. Les prélèvements successifs ont lieu toutes les quatre heures pendant quarante-huit heures.

La teneur en eau relative est «le rapport entre le poids d'eau contenu dans l'échantillon à un instant donné au poids d'eau qu'il peut contenir à pleine turgescence» (Cruziat, 1985). La technique de mesure employée est celle des disques foliaires, adaptée de Slavik (1974).

Les deux premières feuilles épicotylées d'une plante fournissent chacune deux disques de 15 mm de diamètre, découpés avec un emporte-pièce: le témoin qui est mis à sécher dans une étuve à 80°C, et le matériel expérimental qui est pesé puis placé dans une boîte de Petri contenant deux éponges végétales imbibées d'eau distillée. L'éponge supérieure possède 4 ouvertures circulaires; chacune d'elles est destinée à recevoir un disque foliaire.

Le dispositif est placé dans une enceinte climatisée à 22°C ± 1°C sous un éclairage de 1000 lux (environ 1 W.m⁻²), valeur estimée du point de compensation (Heller, 1977). Il y séjourne quatre heures, temps nécessaire pour que les tissus atteignent la pleine turgescence (Ogier, 1986), puis les disques sont pesés et mis à sécher. Après déshydratation complète, ils sont de nouveau pesés.

La teneur en eau (t.e.r.) relative de chaque feuille est calculée à partir de la formule donnée par Barrs et Weatherley (1962): celle-ci minimise les erreurs liées à des variations du poids des disques foliaires qui ne seraient pas dues à l'absorption d'eau.

$$\text{t.e.r.} = \frac{\text{PF} - \text{PS}'}{\text{PT} - \text{PS}} \times 100$$

où PF est le poids frais du disque au moment du prélèvement, PT le poids du disque à pleine turgescence, PS son poids sec et PS' le poids sec du disque témoin.

Mesure du débit de sève brute et de sa teneur en potassium

Les plantes utilisées sont âgées de 20 jours, ce qui permet de récolter, aux heures de faible débit, un volume d'exsudat suffisant pour être quantifié. Les plantes sont sélectionnées et réparties au hasard en 13 lots, puis, toutes les quatre heures pendant huit heures, 3 plantes sont sectionnées à 2 cm sous le nœud cotylédonaire. La sève est recueillie pendant quatre heures dans un embout conique de micropipette, amputé de son extrémité, et ajusté sur l'hypocotyle. Un dépôt de lanoline assure l'étanchéité et une feuille d'aluminium fermant l'ouverture, limite les pertes par évaporation.

Les échantillons de sève sont pesés puis conservés au froid (-28°C) en vue du dosage du potassium.

Le potassium est dosé au moyen d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Techtron, «AA-100»), chaque mesure est répétée au moins deux fois pour chaque échantillon.

RÉSULTATS

Croissance du premier entre-nœud

L'allongement du premier entre-nœud a été suivi sur trois lots de plantes: celles des deux premiers lots ont été maintenues avant et pendant l'enregistrement, dans les mêmes conditions d'éclairement et de température, alternées pour le premier, constantes pour le second; celles du troisième lot, cultivées depuis le semis en conditions alternées sont transférées en conditions constantes pour la durée de l'enregistrement. Les résultats de l'analyse spectrale sont réunis dans le tableau 1.

TABLEAU 1.

Rythmes de croissance obtenus par deux méthodes d'analyse spectrale: l'analyse de Fourier et l'analyse au sens du maximum d'entropie. Les prétraitements et les traitements correspondent aux conditions de culture avant et pendant l'enregistrement. L/O représente le régime photo-thermopériodique (quatorze heures de lumière, 25°C avec 60 à 70% d'humidité relative et dix heures d'obscurité, 19°C avec 70 à 75% d'humidité relative) et L/L représente les conditions uniformes (lumière continue, 25°C avec 60 à 65% d'humidité relative).

Rythmes de croissance				
Prétraitement	Traitement	Transformée de Fourier		Maximum d'entropie
		période (heures)	amplitude (mm)	période (heures)
L/O	L/O	24,3	0,90	22,1
		23,0	0,70	22,6
		24,0	0,61	22,2
		26,1	0,76	23,1
L/O	L/L	24,0	0,13	16,6
		21,6	0,15	18,8
		24,0	0,16	30,1
		23,0	0,16	20,5
L/L	L/L	36,0	0,17	48,0
		38,6	0,16	35,9
		28,1	0,10	28,4
		30,0	0,13	32,6

Les plantes qui se sont développées en conditions photothermopériodiques présentent des oscillations de croissance régulières et bien marquées, comme le montre l'exemple de la figure 1. Les valeurs de la période, calculées par l'une ou l'autre des deux méthodes, sont proches de vingt-quatre heures donc situées dans le domaine circadien. Les valeurs de l'amplitude, données par la méthode de Fourier, sont comprises entre 0,6 et 0,9 mm.

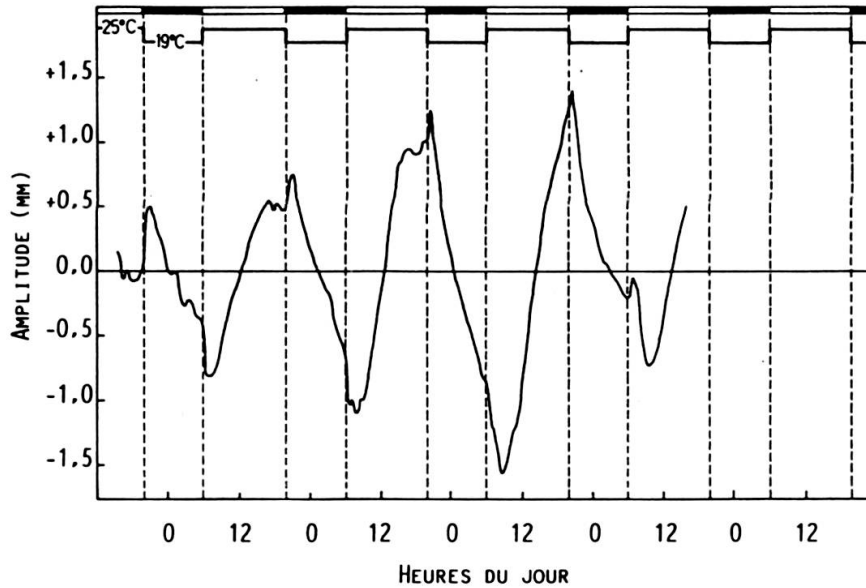


FIGURE 1.

Croissance relative, discriminée de l'allongement global, du premier entre-nœud d'une plante cultivée sous un régime photo-thermopériodique (photophase (□): quatorze heures de lumière, 25°C, 60 à 70% d'humidité relative; scotophase (■): dix heures d'obscurité, 19°C, 70 à 75% d'humidité relative).

L'examen de la croissance relative, discriminée de l'allongement global (fig. 1) montre que la croissance la plus active a lieu durant la phase d'éclairage. On remarque également sur ce graphique la présence de brusques «irrégularités» qui coïncident avec les passages jour-nuit et nuit-jour et qui semblent traduire des variations importantes mais momentanées de la vitesse de croissance dans le sens d'une accélération au début de la phase obscure et d'un ralentissement au début de la phase éclairée.

Les plantes transférées en conditions constantes après avoir été cultivées en conditions alternées présentent des oscillations bien visibles sur le tracé de la croissance relative (fig. 2A) mais de faible amplitude (0,13-0,16 mm). La période calculée par la méthode de Fourier est voisine de vingt-quatre heures (23.15 h en moyenne), mais les valeurs de la période fournies par l'analyse au sens du maximum d'entropie sont largement dispersées: trois sont à la limite inférieure ou en deçà du domaine circadien et la quatrième est située au-delà.

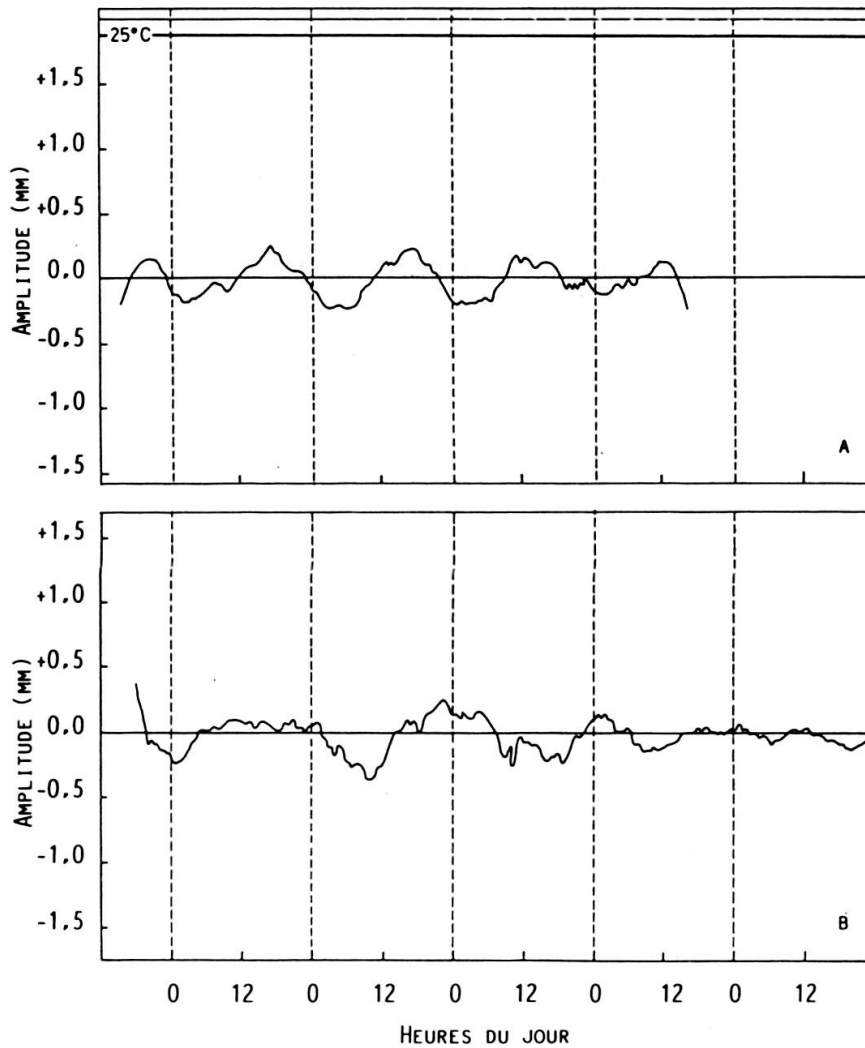


FIGURE 2.

- Croissance relative, discriminée de l'allongement global, du premier entre-nœud:
 (A) d'une plante cultivée sous régime photothermopériodique et enregistrée en conditions uniformes (lumière continue, 25°C avec 60 à 65% d'humidité relative);
 (B) d'une plante cultivée et enregistrée en conditions uniformes.

Les plantes cultivées en conditions uniformes de lumière et de température ne manifestent pas de manière facilement décelable de rythmicité circadienne de croissance (fig. 2B); on remarque sur le tracé de la croissance relative des fluctuations assez irrégulières et peu apparentes. L'analyse spectrale permet cependant de déceler dans ce type de signal une composante périodique, plus ou moins nettement affirmée suivant les individus, dont les valeurs vont de vingt-huit à trente-huit (voire quarante-huit) heures; elles sont donc situées à la limite ou au-delà du domaine circadien. L'amplitude de ces oscillations est réduite: les valeurs obtenues se situent entre 0,1 et 0,16 mm selon les plantes (valeurs semblables à celles des plantes transférées en conditions constantes).

Teneur en eau relative, débit de la sève brute et teneur en potassium

Ces trois paramètres ont été mesurés pendant deux nycthémères consécutifs sur des plantes cultivées en régime photothermopériodique.

Les valeurs de la teneur en eau relative (fig. 3), comprises entre 87,5% et 96%, sont du même ordre de grandeur que celles généralement trouvées pour un matériel végétal cultivé sans contrainte quant à son alimentation hydrique (Barrs et Weatherley, 1962).

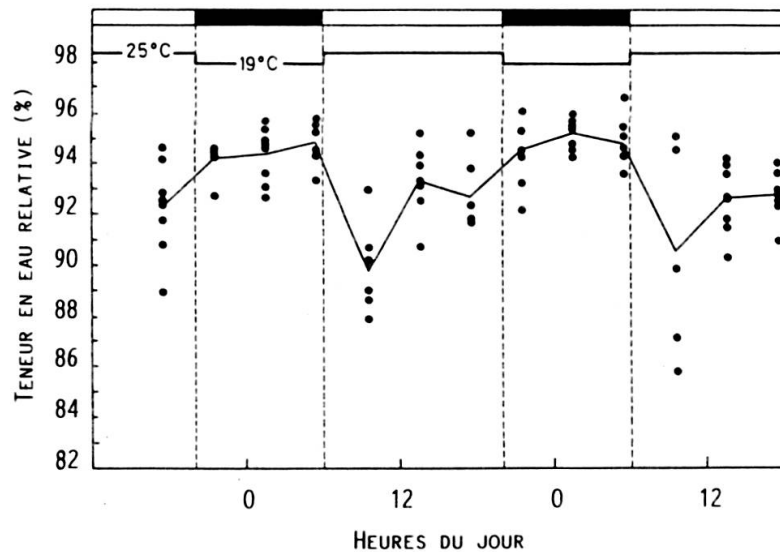


FIGURE 3.

Variations au cours de quarante-huit heures de la teneur en eau relative des premières feuilles épicotylées de plantes cultivées sous régime photothermopériodique. Chaque point représente la t.e.r. d'une feuille.

La comparaison des moyennes à l'aide du test de Student montre que seule la moyenne du cinquième prélèvement est significativement différente des autres (au seuil de 95%). L'écart entre la valeur moyenne la plus faible et la valeur moyenne la plus élevée représente une différence de 1,9 mg pour un disque foliaire pesant environ 35 mg (soit 5,4% de sa masse). La technique utilisée n'offre probablement pas une précision suffisante pour évaluer des variations de cet ordre.

Néanmoins, malgré la dispersion souvent importante des mesures on peut noter que les valeurs moyennes les plus basses correspondent aux deux prélèvements effectués 3,5 heures après le début de la photophase. Cette diminution de la teneur en eau relative qui se produit chaque fois pendant le premier quart de la phase lumineuse semble bien traduire la présence d'un rythme circadien pour ce paramètre.

En ce qui concerne la mesure du débit de la sève brute, il apparaît que les variations se répètent de façon semblable au cours des deux cycles journaliers (fig. 4). Le maximum est situé au milieu de la photophase, le minimum au milieu de la scotophase et la valeur du maximum représente trois à quatre fois celle du minimum. Ces différences sont suffisamment importantes pour que l'on puisse admettre l'existence d'une rythmicité circadienne dans l'exsudation de la sève brute chez le Soja.

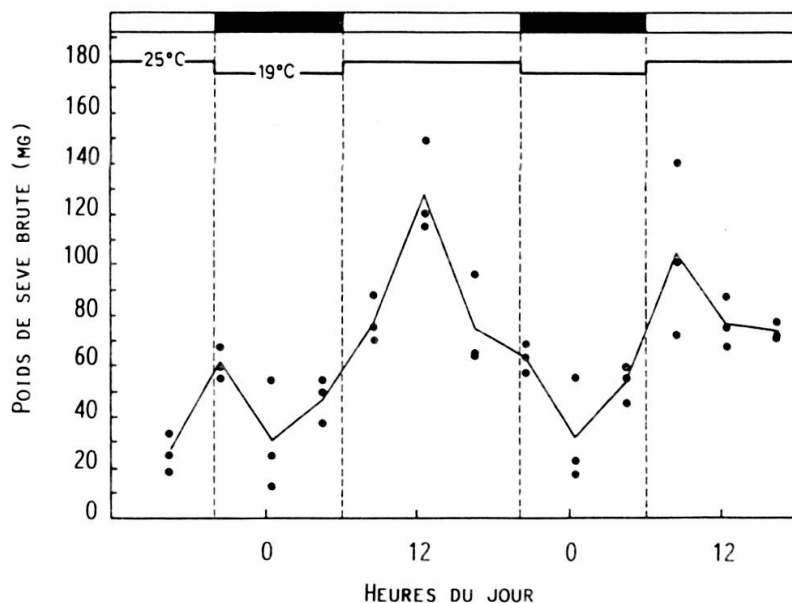


FIGURE 4.

Variations au cours de quarante-huit heures du débit de sève brute de plantes cultivées sous régime photothermopériodique. Chaque point représente la quantité de sève (en mg) récoltée au niveau du nœud cotylédonaire pendant quatre heures pour un individu.

La concentration en potassium ne montre pas de différences significatives durant les deux jours de l'expérience (fig. 5A). Cependant si l'on observe les variations du contenu en potassium de chaque prélèvement, qui correspond à la quantité émise pendant un intervalle de quatre heures, on s'aperçoit que les valeurs de ce paramètre fluctuent selon une périodicité circadienne et en phase avec les variations du débit de sève (fig. 5B).

Les résultats concernant l'exsudation et la teneur en potassium permettent de penser que le compartiment racinaire du Soja manifeste un fonctionnement rythmé, au moins en conditions d'entraînement. D'autre part, la concentration en potassium restant à peu près constante, le potentiel osmotique des cellules n'est pas modifié par la plus ou moins grande abondance de cet ion au cours d'un cycle journalier.

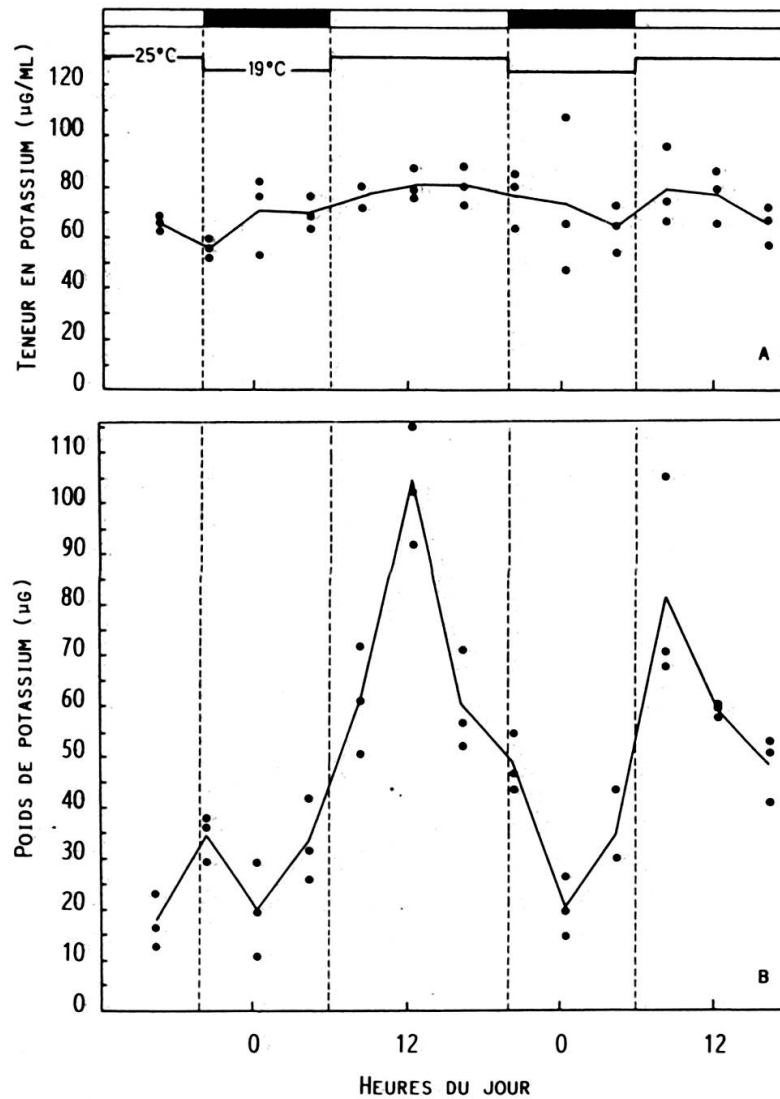


FIGURE 5.

Variations au cours de quarante-huit heures du potassium de la sève brute de plantes cultivées sous régime photothermopériodique:

- (A) concentration du potassium en μ g/ml
 (B) teneur en potassium en μ g.

DISCUSSION

Nous avons mis en évidence au cours de ce travail un rythme endogène de croissance du premier entre-nœud de la tige de Soja. En effet, en conditions uniformes ce rythme persiste et sa période est différente de vingt-quatre heures. D'autre part, en régime photothermopériodique la rythmicité de croissance est nettement circadienne et elle se maintient quand les plantes sont transférées en conditions constantes. Pour être certain qu'il s'agit d'un rythme circadien endogène il faudrait établir,

comme le suggère Wilkins (1969), une courbe de réponses de phase et vérifier si ce rythme est, ou n'est pas, compensé par rapport à la température.

Dans le but de cerner l'origine de ce rythme circadien de croissance, nous devons chercher si celle-ci se situe dans la tige elle-même ou dans un des compartiments étudiés. A partir des informations obtenues nous pouvons décrire une séquence d'événements se déroulant pendant un nyctémère et débutant par le brusque changement des conditions du milieu. La lumière, associée à la variation de température, induit au niveau des feuilles l'ouverture des stomates (Ting, 1982) qui permet la reprise de la transpiration (Montermoso et Davis, 1942). Cette perte de vapeur d'eau entraîne dans les limbes foliaires une chute du degré d'hydratation des tissus qui se traduit par la baisse de la teneur en eau relative. La t.e.r. augmente ensuite progressivement à mesure que le flux de sève et la quantité de potassium mesurés au niveau du nœud cotylédonaire s'acheminent vers leur maximum, qu'ils atteignent en milieu de phase lumineuse. De même la croissance qui était faible en fin de scotophase s'intensifie pour être la plus importante au milieu de la photophase (fig. 1). En fin de période de lumière la croissance et le débit de sève brute ralentissent et la quantité de potassium diminue. Pendant la phase obscure, après l'arrêt de la transpiration, la t.e.r. rejoint sa valeur maximale tandis qu'au même moment et conjointement les trois autres paramètres se rapprochent de leurs valeurs minimales. Cette séquence révèle la concomitance de trois événements se déroulant dans deux organes différents: les maxima du débit de sève brute et de la quantité de potassium qu'elle véhicule, représentant la sortie du compartiment racinaire, et de celui de la vitesse de croissance enregistrée dans la tige.

L'originalité de ce travail réside donc dans la mise en évidence de cette relation temporelle. Les variations de l'allongement de l'entre-nœud évoluant en synchronisme avec le flux de sève et avec son contenu global en potassium, ceci nous amène à penser que la rythmicité circadienne de croissance de la tige serait peut-être imposée par le système racinaire. C'est en suivant la croissance d'entre-nœuds isolés, cultivés *in vitro*, que nous pourrions confirmer ou infirmer cette hypothèse.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer ici tous nos remerciements au D^r M. Montavon et à M. J. Mercier pour l'aide précieuse qu'ils nous ont apportée.

BIBLIOGRAPHIE

ASSAAD, C. (1985). *Organisation temporelle de la Tomate (Lycopersicon esculentum Mill. cv. Ace) au cours de sa croissance et de son développement*. Thèse de Doctorat ès Sciences naturelles, Université de Franche-Comté, Besançon, 148 p.

- BAILLAUD, L. (1958). Rythmes endogènes et rythmes exogènes, notamment chez les végétaux. *Année biologique*, 34, 299-329.
- BAKER, D. A. (1984). Water relations. In: *Advanced Plant Physiology*, M. B. Wilkins ed, Pitman, London, 297-318.
- BARRS, H. D. et P. E. WEATHERLEY (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of biological Science*, 15, 413-428.
- BERINGER, H. (1978). Le potassium, ses fonctions dans le métabolisme de la plante et son action sur le rendement. *Au service de l'Agriculteur*, Dossier K₂O, n° 14, 3-10.
- BÜNNING, E. (1956a). Endogene Aktivitätsrhythmen. In: *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, II. *Allgemeine Physiologie der Pflanzenzelle*, W. Ruhland ed. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 878-907.
- (1956b). Endogenous rhythms in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 7, 71-90.
- (1964). *The physiological Clock*, Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 145 p.
- CHAMPAGNAT, P. (1969). Croissance, morphogenèse et développement. In: *Biologie végétale*, III, *Croissance, Morphogenèse, Reproduction*, Masson, Paris, 1-265.
- CRUIZIAT, P. (1987). Etats et flux hydriques chez les végétaux supérieurs. In: *le Développement des Végétaux. Aspects théoriques et synthétiques*, H. Le Guyader coordinateur, Collection Biologie théorique, 2, Masson, Paris, 153-171.
- CUMMING, B. G. et E. WAGNER (1968). Rhythmic processes in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 19, 381-416.
- GUILLIERMOND, A. et P. MANGENOT (1937). *Précis de Biologie végétale*. Masson, Paris, 1072 p.
- HELLER, R. (1977). *Abrégé de Physiologie végétale*, Tome 1. Masson, Paris, 244 p.
- KRAMER, P. J. (1983). Problems in water relations of plant and cells. *International Review of Cytology*, 85, 253-286.
- LUBIMENKO, V. N. (1927). *Traité de Botanique générale*. Volume I. Traduit du russe par A. Joukov, revu et annoté par F. Lot et J. Friedel. Gauthier-Villars, Paris, 516 p.
- MILLET, B. (1970). Analyse des rythmes de croissance de la Fève (*Vicia faba* L.). *Annales scientifiques de l'Université de Besançon*, 3^e série, *Botanique*, 8, 1-132.
- MONARD, J. F. (1985). *Rythmes de l'exsudation caulinaire chez le Lycopersicum pimpinellifolium (débit et flux de K, Ca, Mg). Influence de l'environnement aérien et racinaire*. Thèse de Doctorat ès Sciences naturelles, Université de Paris VII, 207 p.
- MONTERMOSO, J. C. et A. R. DAVIS (1942). Preliminary investigation of the rhythmic fluctuations in transpiration under constant environmental conditions. *Plant Physiology*, 17, 473-480.
- OGIER, G. (1986). *Rythmes de croissance du Soja (Glycine max (L.) Merrill). Mise en évidence et analyse expérimentale*. Rapport de stage, Diplôme d'Etudes approfondies de Biologie et Physiologie végétales, Université de Clermont-Ferrand II, 40 p.
- PFEFFER, W. (1912). *Physiologie végétale. Etude des échanges de substance et d'énergie dans la plante*. Tome II, *Echange d'énergie*. Traduction de l'allemand sur la 2^e édition. Steinheil, Paris, 900 p.
- ROLAND, J.-C. (1982). Croissance. In: *Physiologie végétale*, II, *Croissance et Développement*, P. Mazliak, directeur, Hermann, Paris, 227-342.
- SLAVIK, B. (1974). *Methods of studying plant water relations*. *Ecological Studies*, 9, 467 p.
- SWEENEY, B. M. (1969). *Rhythmic phenomena in plants*. Academic Press, London, New York, 147 p.
- TING, I. P. (1982). Gas exchange and stomatal physiology. In: *Plant Physiology*, I. P. Ting ed, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 642 p.
- WILKINS, M. B. (1969). Circadian rhythms in plants. In: *Physiology of plant growth and development*, M. B. Wilkins ed, Mc Graw-Hill, London, 645-671.
- YIH, R. Y. et E. H. CLARK (1965). Carbohydrate and protein content of boron deficient tomato root tips in relation to anatomy and growth. *Plant Physiology*, 40, 312-315.