

Zeitschrift: Saussurea : journal de la Société botanique de Genève
Herausgeber: Société botanique de Genève
Band: 12 (1981)

Artikel: Analyse des données de phénomènes rythmiques : le mouvement foliaire du haricot
Autor: Degli Agosti, Robert / Prins, Jean de / Bonzon, Marc
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1099243>

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: 17.04.2026

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

Analyse des données de phénomènes rythmiques: le mouvement foliaire du haricot

ROBERT DEGLI AGOSTI, JEAN DE PRINS
MARC BONZON & HUBERT GREPPIN

RÉSUMÉ

DEGLI AGOSTI, R., J. de PRINS, M. BONZON & H. GREPPIN (1981). Analyse des données de phénomènes rythmiques: le mouvement foliaire du haricot. *Saussurea* 12: 1-14. En français, résumé anglais.

Un ensemble de programmes numériques, permettant le traitement de données issues de phénomènes périodiques est proposé. Les techniques utilisées sont les suivantes: analyse de tendance polynômiale, périodiogramme, spectre de variance, spectre de puissance, régression cosinusoidale à m-composantes, le cosinor et enfin la démodulation complexe. Ces dernières sont appliquées à des données issues d'expériences sur le rythme circadien du mouvement foliaire du haricot. La rotation de la feuille est mesurée au moyen d'un levier dont la force de rappel est négligeable. Le dispositif mis au point permet d'évaluer des variations absolues d'angles de l'ordre de 0.5° ; de plus, le rythme peut être enregistré de façon continue dans n'importe quel régime photo- ou thermopériodique. En conditions constantes ($22,5^\circ\text{C}$, 4500 lux), la périodicité du mouvement est de 26,4 heures.

ABSTRACT

DEGLI AGOSTI, R., J. de PRINS, M. BONZON & H. GREPPIN (1981). Analyze data from periodical signals: the movement of the beans leaf. *Saussurea* 12: 1-14. In French, English abstract.

A set bean's of numerical programs to analyze data from periodical signals is proposed. The methods used are: polynomial trend analysis, periodogram, variance spectrum, power spectrum, cosinusoidal regression with m-components, cosinor and complex demodulation. They are illustrated using data collected from experiments proceeded from the circadian movement of the beans leaf. The rotation of the leaf is measured with a lever. The installation allows to estimate angles with an absolute precision value of 0.5° ; moreover, the rhythm could be monitored continuously in any kind of photo- or thermoperiodic treatment. In constant conditions (22.5° , 4500 lux) the periodicity of the movement is 26.4 hours.

Introduction

L'universalité et l'importance des processus périodiques dans la nature ne fait plus aucun doute. On peut en effet les observer dans des domaines aussi variés que la biologie, la médecine, l'astronomie, la géologie, la géophysique et l'économie par exemple. Sans compter le nombre impressionnant de publications qui en font l'objet dans la littérature générale, on en voudra que pour preuve l'existence de trois revues internationales qui leur sont exclusivement consacrées: "Journal of Interdisciplinary Cycle Research", "International Journal of Chronobiology" et "Chronobiologia".

En biologie, l'emploi des mathématiques dans ce domaine présente deux aspects: le premier s'intéresse à la discussion mathématique théorique des rythmes biologiques (PAVLIDIS, 1973), quant au second, il s'agit d'outils mis à disposition de l'expérimentateur et qui doivent lui permettre de détecter puis, s'il y a lieu, de caractériser les paramètres périodiques dans une série de données expérimentales. C'est dans ce second aspect que le présent travail se situe. S'il est simple de calculer une droite de régression à partir de points expérimentaux, le même problème transposé aux phénomènes périodiques se révèle être très complexe. Dans ce cas, les paramètres à évaluer ont été définis par rapport à l'équation la plus simple d'un processus oscillant, à savoir, la fonction trigonométrique cosinus. La principale difficulté vient de ce qu'un rythme biologique, tout en étant de nature répétitive, est rarement une fonction simple.

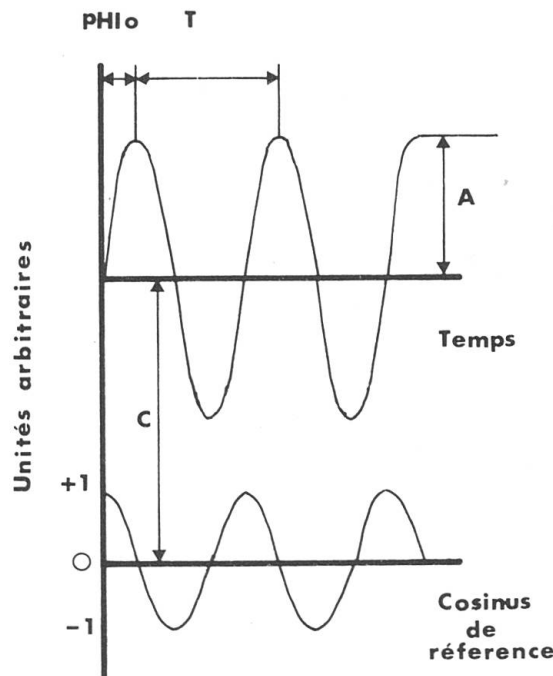


Fig. 1. — Paramètres d'un phénomène oscillant simple: période (T), amplitude (A), phase au temps zéro (PHI_0) et terme constant (C): niveau.

Les paramètres à évaluer sont la période (T), qui définit la répétitivité du phénomène, l'amplitude (A), qui est égale à la moitié de la valeur entre un minimum et un maximum de l'oscillation considérée, la phase (PHI_0), qui exprime le retard ou l'avance que possède le signal par rapport au cosinus au temps zéro et, enfin, un terme constant (C), qui donne le décalage que possède le processus en ordonnée par rapport au cosinus de référence (centré sur zéro) (cf. fig. 1).

Le présent travail illustre et compare différentes techniques mathématiques sur des données provenant d'un cas réel: le mouvement de la feuille du haricot. Ce rythme a été choisi, car la nature endogène de l'oscillation est bien établie, d'une part, et, d'autre part, parce qu'il est relativement aisé à mesurer (BÜNNING, 1973).

Un article récent (SATTER & GALSTON, 1981) résume les connaissances actuelles sur les mécanismes de ces mouvements nyctinastiques.

Matériel et méthodes

Matériel

Les haricots (*Phaseolus vulgaris*) utilisés sont de la variété Ideal Empro (ROSSIER & PELET, 1970). Une graine est semée par pot (10 × 10 cm) contenant de la vermiculite et arrosée trois fois par semaine pendant vingt jours avec une solution nutritive (Sinesol 237 1⁰/₀₀).

Conditions de culture

Dans un premier cas, la plante est maintenue jusqu'au 20^{me} jour en cycles de 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité (L:D 12:12), l'enclenchement de la lumière s'effectuant à 8 heures locales. Puis, au début du 21^{me} jour, la lumière est donnée de façon continue (LC). Dans une seconde expérience, la plante est maintenue en alternance L:D 12:12 uniquement.

En phase obscure la température est de $19 \pm 0,5^\circ\text{C}$, et en lumière de $22,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$. L'éclairement lumineux provenant de deux tubes fluorescents de 40 W (Sylvania Daylight) vaut au niveau de la feuille: 4500 ± 500 lux. L'humidité relative est de $55 \pm 5\%$.

Technique de mesure du mouvement foliaire

Dans les deux cas, au début du 21^{me} jour, lorsque les feuilles primaires sont bien développées, le dispositif de mesure du mouvement foliaire est installé. Ce n'est qu'au début du 24^{me} jour que la rotation est enregistrée (temps zéro pour l'expérience), dès lors, tout accès à la plante est évité. Le mouvement

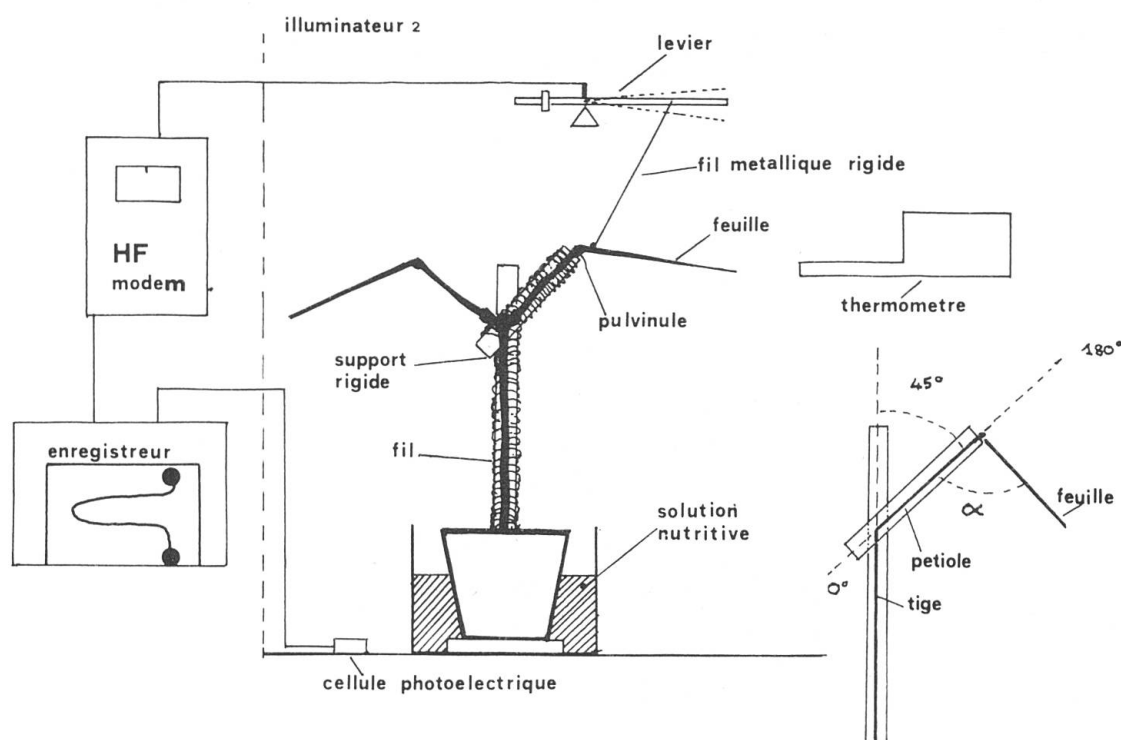


Fig. 2. — Dispositif expérimental utilisé pour la mesure du mouvement de la feuille du haricot. La rotation provoque un déplacement au niveau du levier grâce à un fil métallique fin attaché sur la nervure principale de la feuille. Les déplacements du levier sont convertis en tension électrique par le "Isotonische messeinrichtung, levier et HF-Modem" (HUGO SACHS ELEKTRONIK KG.), et enregistrés sur papier (linear recorder, ISMATEC S.A.). La cellule photoélectrique permet d'enregistrer les traitements photopériodiques. La solution nutritive se compose de Sinesol 237 et d'eau dans une proportion (v/v) de $10/100$. On mesure l'évolution de l'angle α , formé entre le pétiole et la nervure principale, durant le temps. L'angle entre le pétiole et la tige est maintenu à 135° .

foliaire, défini comme étant l'évolution de l'angle formé entre le pétiole et la nervure principale de la feuille, est enregistré au moyen d'un levier très sensible. La mesure est isotonique, car la force de rappel est très faible ($\leq 20\text{mg} \times \text{m} \times \text{sec}^{-2}$) (cf. fig. 2). En insérant des angles en carton entre le pétiole et la nervure principale, il est possible de calibrer le dispositif de mesure.

Techniques mathématiques de traitements des données

Le tracé continu du mouvement de la feuille sur l'enregistreur est échantillonné, les valeurs sont converties en angles. Ce sont ces données qui feront l'objet des analyses mathématiques. Les techniques employées et mises au point sur ordinateur (UNIVAC 1108, Centre de calcul de l'Université de Genève), sont les suivantes.

- Une analyse de tendance polynômiale (degré maximum du polynôme: 9) par la technique des moindres carrés.
- Le périodogramme (JENKINS & WATTS, 1968).
- Le spectre de variance (HOSHIZAKI & HAMNERS, 1969; HALBERG & PANOF-SKI, 1961; PANOF-SKI & HALBERG, 1961).
- Le spectre de puissance (BLACKMAN & TUKEY, 1958; GRENANDER & ROSEN-BLATT, 1957; HANNAN, 1960; MERCER, 1960).
- La régression à m-composantes cosinusoïdales (BLOOMFIELD, 1976).
- Le cosinor (HALBERG & al., 1967; VAN CAUTER, 1974).
- La démodulation complexe (GRANGER, 1964; BLOOMFIELD, 1976; DE PRINS, 1980).

Les théories mathématiques, le "listing", le mode d'utilisation, ainsi que les tests des programmes sont décrits ailleurs (DEGLI AGOSTI, 1979).

Les graphes sont tracés à partir des programmes, sur le terminal graphique du Centre de calcul (plotter BENSON-FRANCE 121).

Résultats et discussion

La figure 3 montre l'évolution du mouvement de la feuille du haricot en lumière continue. L'amplitude de l'oscillation est considérable, on peut en effet observer entre une position maximale, dite de "jour", et une position minimale, dite de "nuit", des rotations de l'ordre de 60° . La période peut être estimée directement à partir de la figure, car le rythme met 211 ± 1 heure pour accomplir 8 cycles soit, $26,4 \pm 0,1$ heure par cycle. En alternance lumière-obscureté L:D 12:12 (fig. 4), l'amplitude est plus élevée (40°); de plus, le rythme étant synchronisé par des cycles de lumière (Zeitgeber) de 24 heures, la période vaut dans ce cas $24,09 \pm 0,1$ heure.

Le périodogramme

Cette technique permet de représenter dans un domaine fréquentiel n'importe quel signal temporel. De manière simplifiée, ce dernier peut être décomposé en une somme de fonctions trigonométriques élémentaires. A chacune de ces fonctions est associée une amplitude, une fréquence (la fréquence est l'inverse de la période: $f = 1/T$) et une phase. En choisissant des fréquences qui sont toutes des multiples entiers (harmoniques) d'une fréquence fondamentale (correspondant à l'inverse de la durée de la série temporelle), il est alors possible de calculer pour chaque fonction trigonométrique élémentaire, l'amplitude et la phase associée. La représentation d'un paramè-

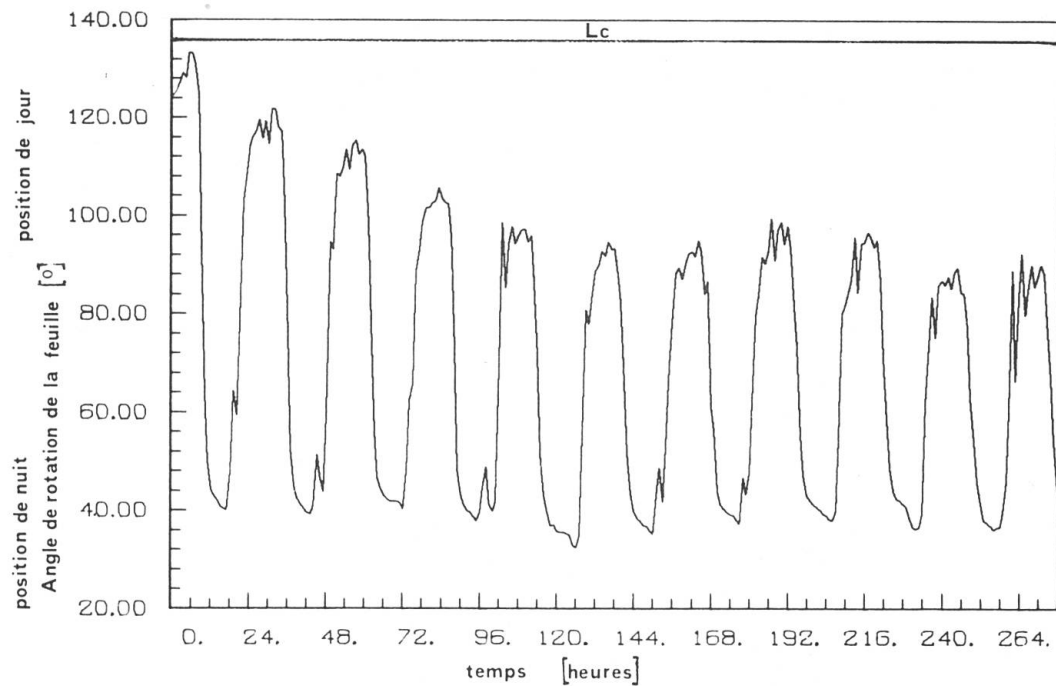


Fig. 3. — Mouvement angulaire de la feuille de *Phaseolus vulgaris* en lumière continue (4500 lux, 22,5°C). Au temps zéro la plante est âgée de 23 jours. L'intervalle de temps entre deux points successifs est de 1 heure et leur nombre total de 277.

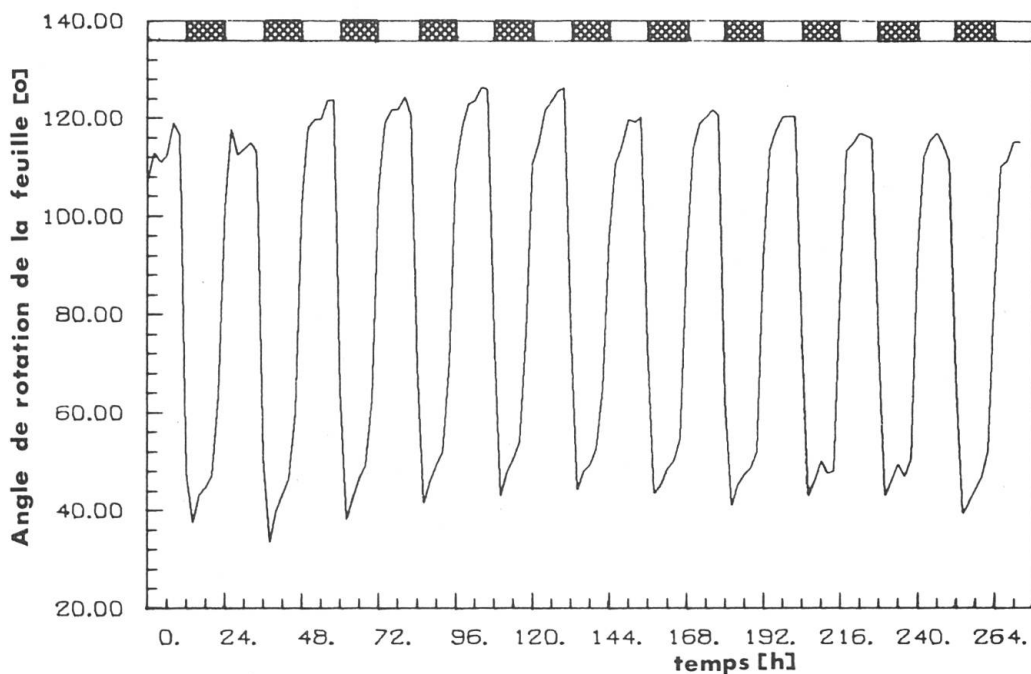


Fig. 4. — Mouvement angulaire de la feuille du haricot synchronisé par une alternance lumière-obscurité de L:D 12:12 heures. Intervalle de temps entre deux données: 2 heures et nombre total 137.

tre directement dérivé de l'amplitude: la puissance (CMS), en ordonnée, versus les fréquences en abscisse est appelée périodogramme. Si une oscillation est présente dans les données, on observera alors, au niveau du périodogramme, un pic localisé autour de la fréquence de cette oscillation. Les rythmes biologiques étant rarement parfaitement sinusoïdaux, il est possible d'observer plusieurs pics localisés à des multiples entiers pairs (2, 4, 6...) ou, le plus souvent, à des multiples entiers impairs (3, 5, 7...), suivant la forme du signal. La hauteur de ces pics décroît toujours considérablement lorsque le multiple (harmonique) augmente. Par contre si l'on constate la présence de plusieurs pics dont les fréquences ne sont pas des multiples entiers, alors il s'agit d'un sérieux indice permettant de penser que l'on est en présence d'un phénomène comportant plusieurs oscillations.

La figure 5 représente le périodogramme des données issues de l'expérience sur le haricot en lumière continue.

On peut constater que pratiquement toute la puissance est centrée entre les périodes de 27,7 et 25,2 heures. De ce même graphique, et à partir du pic principal, une amplitude de $26,8^\circ$ peut être calculée. La représentation logarithmique du même périodogramme (fig. 6) permet une analyse plus fine. On peut observer la présence d'harmoniques impaires dues à la nature "carrée" du signal. FISCHER (1929) a proposé un test statistique pour le plus grand pic (tab. 1). Le test de Kolmogorov-Smirnov (DURBIN, 1969; FULLER, 1976), permet d'examiner si l'hypothèse que la série temporelle est du bruit blanc normal peut être acceptée ou refusée (fig. 7).

Spectre de puissance

L'erreur commise sur l'estimation de la période par le périodogramme est de 5%. Bien que ce pourcentage puisse paraître faible, il n'en est rien. En effet, sur 8 cycles cette erreur représente un décalage de 10,4 heures. En réalité cette erreur apparente provient de la distribution discrète des fréquences en abscisse du périodogramme, cet inconvénient peut être résolu en utilisant des spectres continus. Le spectre de puissance des données du rythme en lumière continue est représenté à la figure 8. La période vaut: $1/0,038 = 26,32$ heures. La statistique représentée sur la figure par les limites supérieures (95%) et inférieures (5%) de confiance, confirme la présence du rythme principal et de ses trois premières harmoniques impaires (tab. 2). L'erreur sur la période est de 0,3%.

La régression à m-composantes

Cette technique se base sur un algorithme itératif (variables: période, amplitude et phase) minimisant l'écart entre les valeurs expérimentales et un modèle à m-composantes cosinusoïdales par la méthode des moindres carrés. Lorsqu'on applique cette technique avec $m = 3$ on obtient pour l'expérience en lumière continue une périodicité principale de 26,6 heures avec une

H_0 : le plus grand pic ne se distingue pas du reste

- puissance du pic principal: 359,3 (1)
- puissance totale: 843,0 (2)
- rapport (1)/(2): $0,4262 = \xi/m$
- ϵ/m pour $m = 138$ raies spectrales: 0,056 (risque 5%)

Tableau 1. — Test de Fischer du plus grand pic du périodogramme. Comme ξ/m est plus grand que ϵ/m , alors H_0 est refusée. ϵ est donné dans des tables (FULLER, 1976).

<i>N. du pic</i>	<i>Période (heures)</i>	<i>Rapport T_1/T_i</i>
1	26,315	1
2	8,772	3
3	5,319	5
4	3,759	7

Tableau 2. — Distribution des pics secondaires du spectre de puissance par rapport au pic principal.

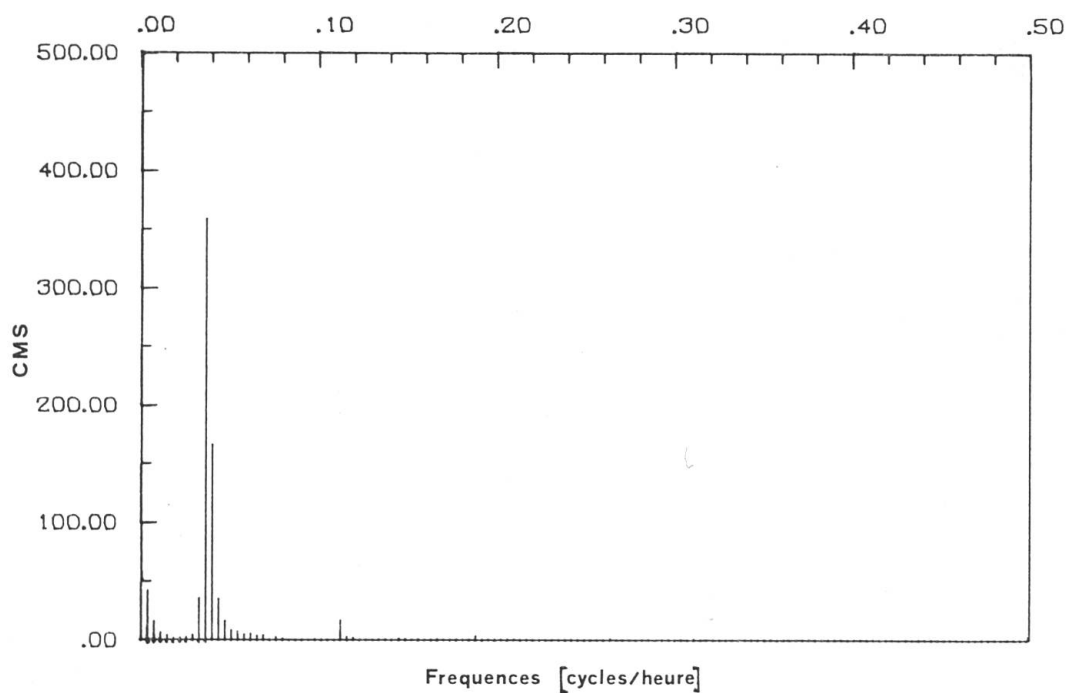


Fig. 5. — Périodogramme des données de la figure 3. Le pic principal est localisé à une fréquence de $0,0361 \text{ heure}^{-1}$. CMS: contribution à la moyenne des carrés.

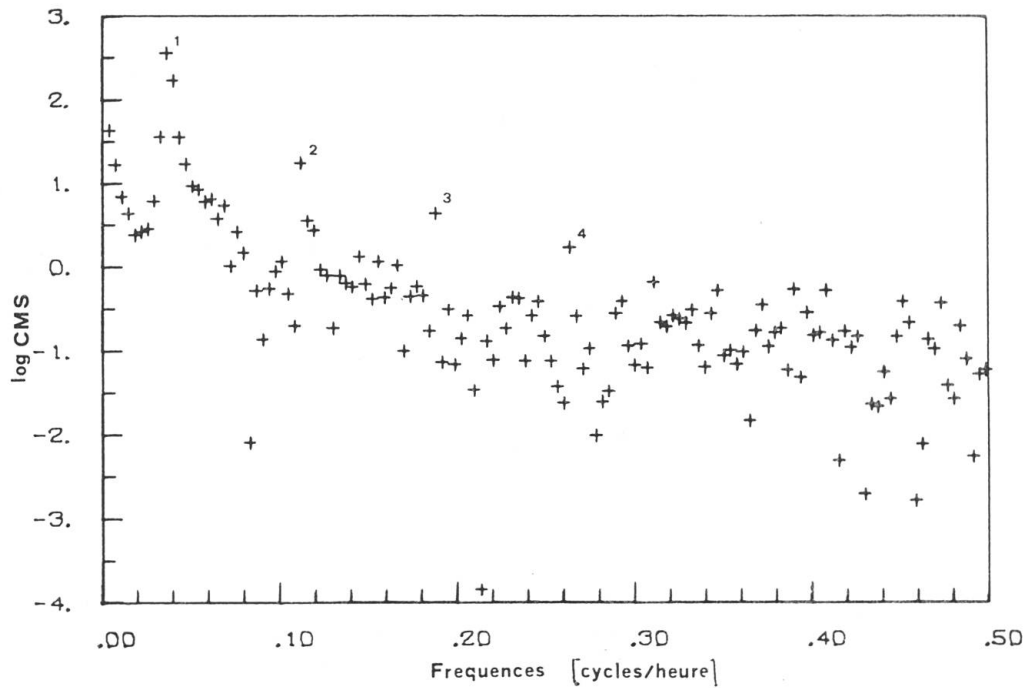


Fig. 6. — Représentation logarithmique du périodogramme de la figure 5. On observe des pics secondaires (2), (3) et (4) localisés aux fréquences de 0,11189, 0,18765 et 0,2635 heure⁻¹.

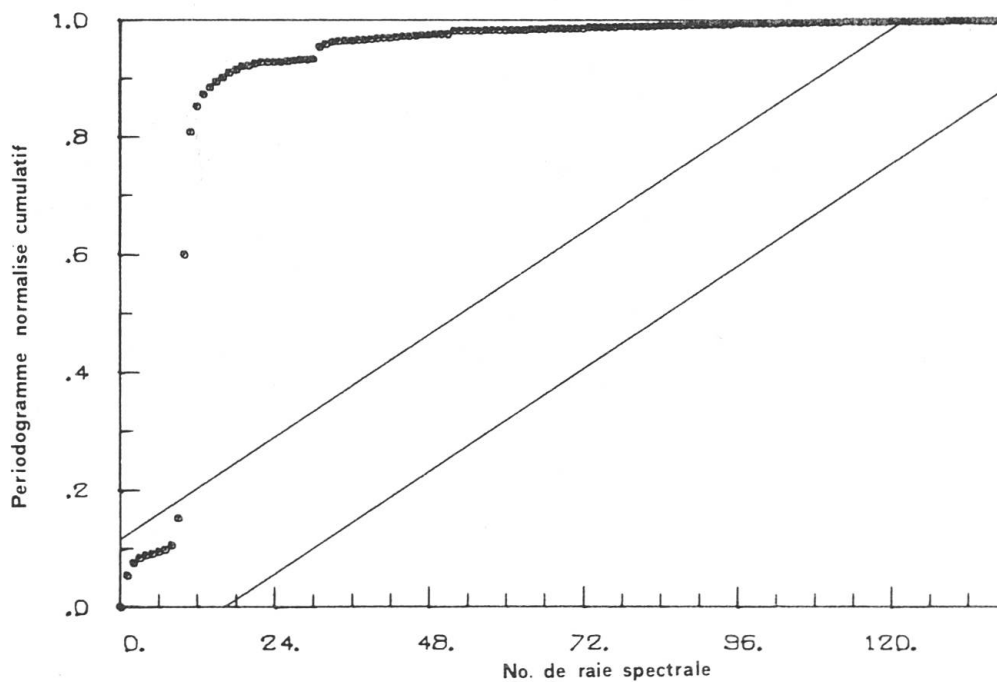


Fig. 7. — Test de Kolmogorov-Smirnov pour la distribution statistique des raies du périodogramme de la figure 5. Les droites représentent les limites supérieures et inférieures que les ordonnées ne doivent pas franchir pour que l'hypothèse d'une série temporelle aléatoire puisse être acceptée.

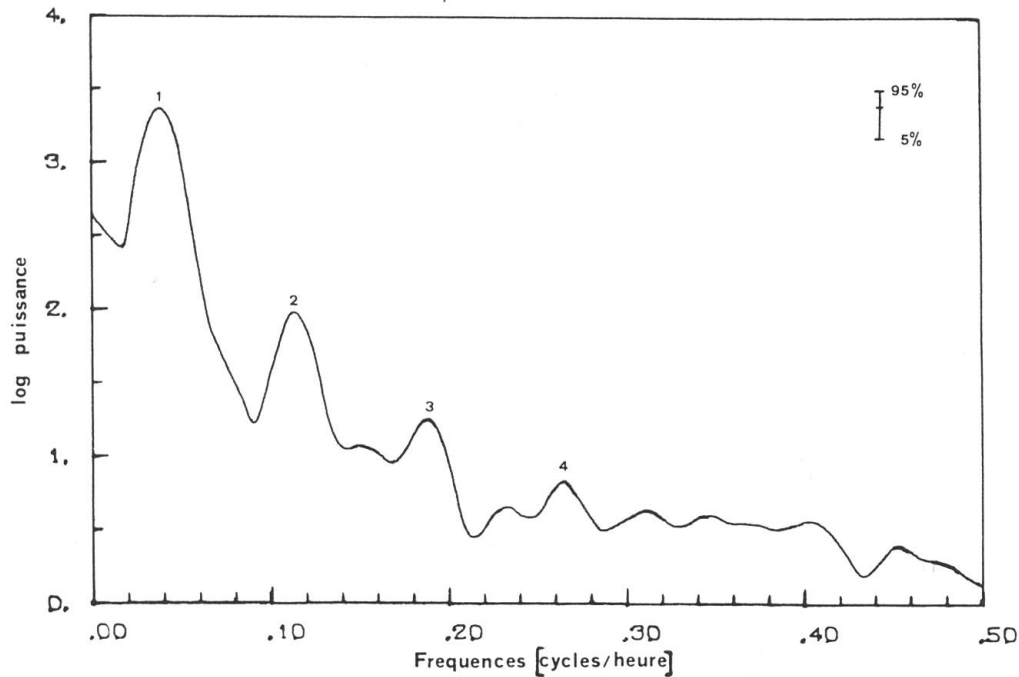


Fig. 8. — Spectre de puissance des données de la figure 3, les pics sont localisés aux fréquences (1):0,038, (2):0,114, (3):0,188, (4):0,266 cycle/heure. Le nombre d'estimations spectrales est de 60. La puissance est proportionnelle à $(^\circ)^2$. Les limites de confiance de 5% et de 95% signifient qu'il y a 5% de chances que la vraie valeur spectrale soit inférieure à la valeur définie par la limite de 5%. De même qu'il y a 5% de chances que l'expérience donne une estimation spectrale aussi grande ou plus grande que la limite de 95%.

amplitude de $36,1^\circ$. Puis, pour la deuxième composante: $T = 8,86$ heures et $A = 7^\circ$. Enfin, pour la troisième: $T = 5,3$ heures et $A = 2,8^\circ$. Le rapport de la variance dûe à la périodicité avec trois composantes sur la variance totale par rapport au terme constant est de 85%. Si l'on augmente le nombre de composantes à quatre, la variance n'est pas affectée de façon significative. Ce fait indique que le modèle employé, avec les paramètres estimés permet de décrire le comportement des données au mieux à 85%. Le reste, classiquement attribué au bruit, provient dans ce cas en grande partie du fait que l'amplitude n'est pas constante.

La démodulation complexe

Le plus souvent, en biologie, tant la période que l'amplitude ne sont pas constantes, la démodulation complexe permet d'analyser des séries temporelles où ces paramètres ne sont pas stationnaires. Avec la limitation que les variations ne soient pas trop brusques. La figure 9 montre l'estimation de l'évolution de l'amplitude dans le temps de la composante circadienne du mouvement de la feuille du haricot en lumière continue. On peut constater

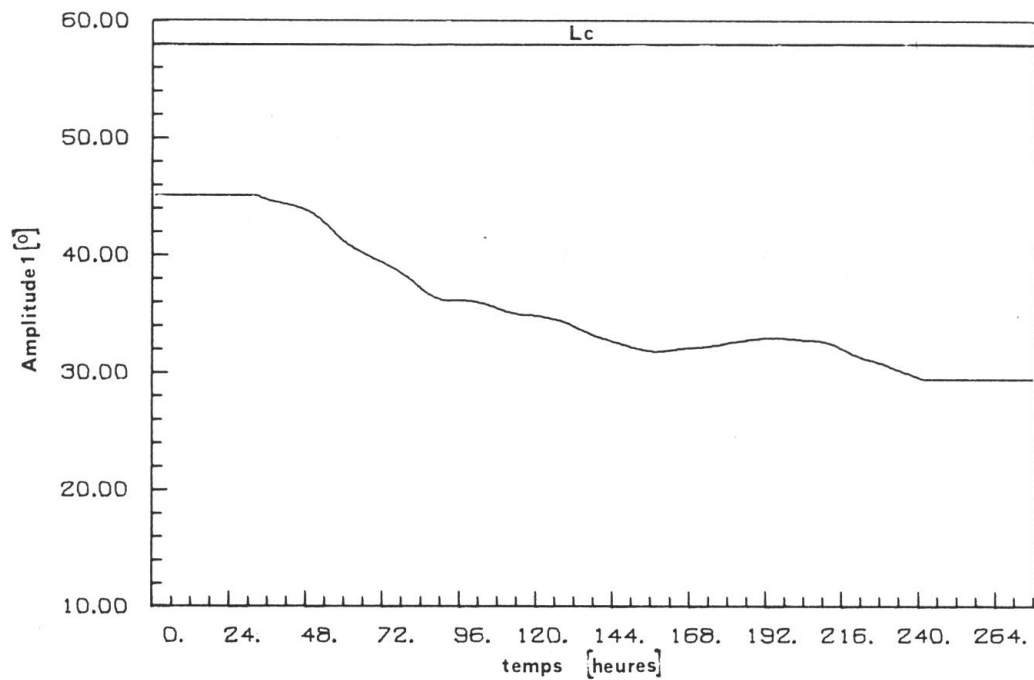


Fig. 9. — Amplitudes obtenues par la méthode de la démodulation complexe du mouvement de la feuille du haricot en lumière continue. Les zones horizontales en début et fin de graphique indiquent les régions où le paramètre considéré ne peut être correctement estimé.

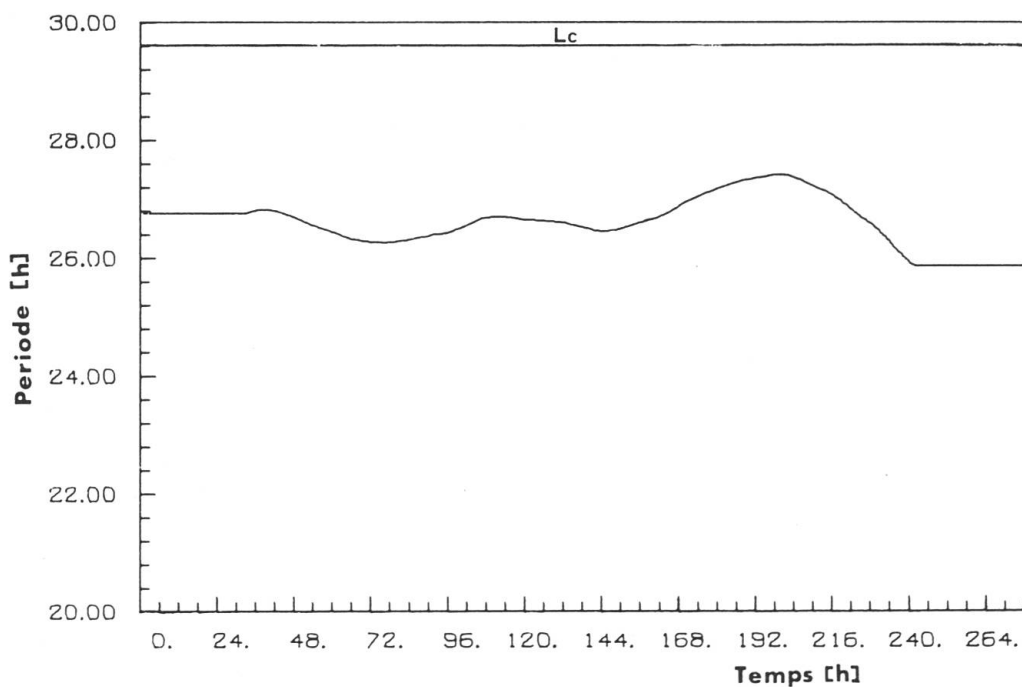


Fig. 10. — Profil de la périodicité estimée par la démodulation complexe.

que l'amplitude décroît de 45° à 30° , dans le domaine de validité de la méthode. Ce profil correspond bien à ce qu'il est possible de voir directement à partir de la figure 3. La figure 10 représente les variations de la périodicité dans le temps. Le rythme possède une fréquence qui, bien que relativement très stable (la plus grande déviation par rapport à la moyenne étant de 4%), ne semble pas parfaitement constante. Le programme utilisé incorpore la technique de la double démodulation, qui permet d'améliorer les estimations de l'amplitude et un test sur la phase à partir duquel il est possible d'évaluer si la méthode s'applique bien (DE PRINS, 1980).

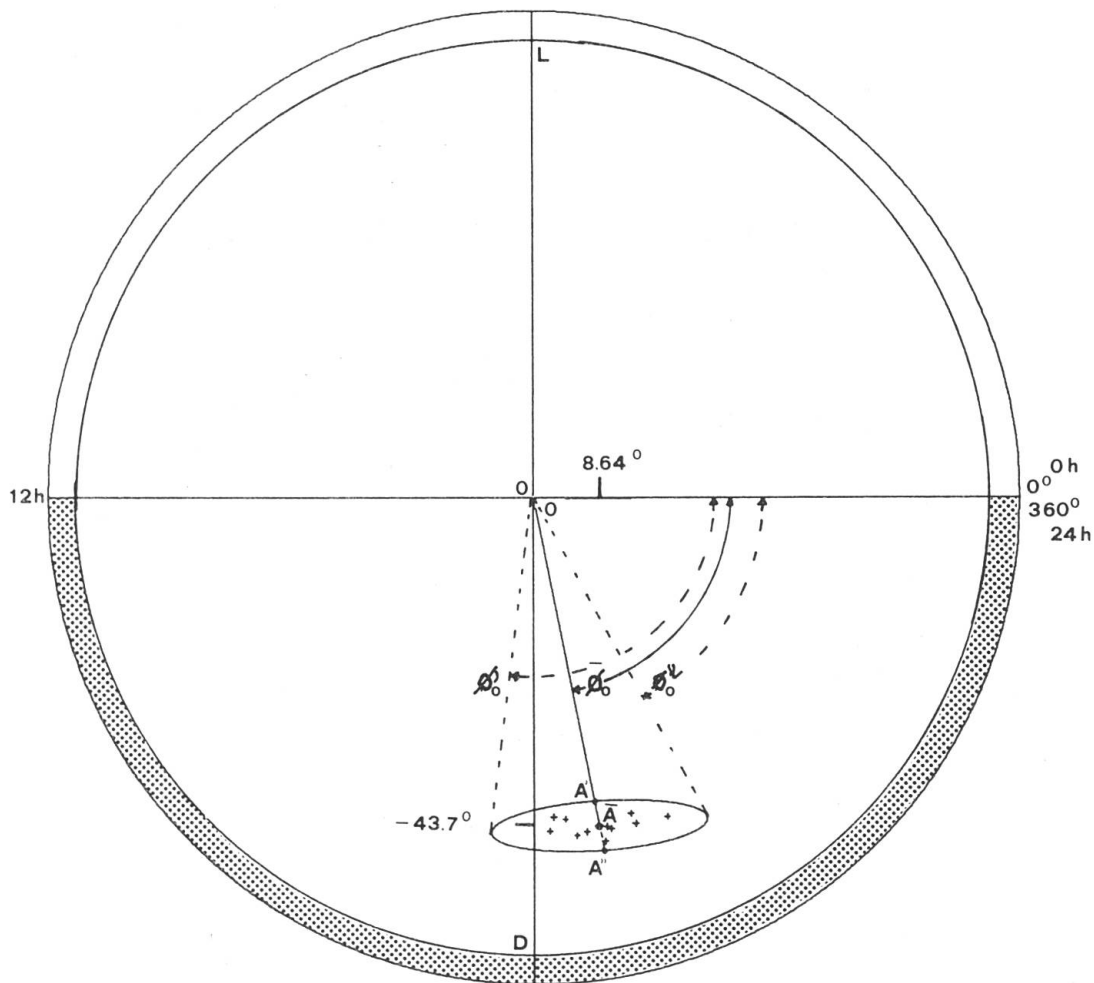


Fig. 11. — Diagramme du cosinor pour les données provenant de la figure 4. Les points (+) représentent les résultats de la régression pour chaque "échantillon" (voir texte). Comme le centre des coordonnées polaires (0,0), n'est pas compris dans l'ellipse de confiance (95%), alors l'ensemble des points n'est pas distribué de façon aléatoire. Le centre de l'ellipse a pour coordonnées polaires la moyenne des amplitudes A et la moyenne des phases PHI_0 . Les limites de confiance pour A et pour PHI_0 soit, respectivement, (A' , A'') et (PHI_0' , PHI_0''), peuvent se déduire directement d'après ce diagramme.

Le cosinor

Les séries temporelles où le phénomène oscillant peut être observé sur plus de 5 à 6 cycles avec au moins 10 points par cycle, sont un cas privilégié en biologie. Il n'est en effet pas rare que l'on ne dispose de mesures que sur une à deux oscillations. Dans cette situation l'analyse harmonique (spectres et périodogramme) de même que la démodulation complexe ne peuvent plus être utilisées telles qu'elles sont employées ici. La méthode la plus populaire dans cette situation est un cas simple de la régression à m -composantes où $m = 1$ et qui a fait l'objet d'un développement particulier connu sous l'appellation de cosinor. Il s'agit d'une analyse transversale bivariée classique. Son but est de permettre la comparaison entre différents échantillons et d'examiner leur cohérence du point de vue de l'amplitude et de la phase, la période étant donnée. Afin d'illustrer cette méthode, les données de l'expérience où le haricot est maintenu en alternances lumière-obscurité (L:D 12:12) ont été subdivisées en 11 échantillons contenant chacun 12 points. Ces 11 "échantillons" ont alors fait l'objet d'une analyse transversale avec une période donnée de 24 heures. Le diagramme du cosinor est représenté à la figure 11, le terme constant vaut $82,7^\circ$, l'amplitude $44,5 \pm 3,5^\circ$, la phase initiale $-79,1 \pm 18^\circ$. L'ellipse de confiance (95%) représente la cohérence transversale des 11 "échantillons", dans ce cas l'homogénéité est excellente.

Conclusion

Le but de ce travail est d'illustrer au moyen de données réelles, différentes méthodes d'analyses des données de phénomènes rythmiques. S'il est possible de se rendre compte que la technique du périodogramme peut être avantageusement remplacée par un spectre de puissance, on ne peut pas faire de comparaisons généralisées et de transpositions à propos des autres méthodes. Ceci, simplement, parce que chaque expérience constitue un cas particulier. Dans la situation présente, la méthode de la démodulation complexe se révèle être la technique la plus adéquate tant pour l'estimation de la période que pour celle de l'amplitude. Grâce à cette méthode, il est possible de suivre l'évolution dans le temps de ces deux paramètres, ceci, de plus, séparément.

Il est important aussi de souligner l'ampleur et la persistance remarquable de ce rythme biologique qu'est le mouvement de la feuille du haricot, dont l'appareillage mis au point a permis une mesure optimale.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLACKMANN, R. B. & J. W. TUKEY (1958). *The Measurement of Power Spectra*. Dover Publ.
 BLOOMFIELD, P. (1976). *Fourier Analysis of Time Series*. Wiley.

- BUNNING, E. (1973). *The Physiological Clock*. Springer Verlag, N.Y.
- DEGLI AGOSTI, R. (1979). *Analyses mathématiques de phénomènes rythmiques chez les plantes*. Travail de diplôme, Univ. Genève.
- DE PRINS, J. (1980). Communication personnelle.
- DURBIN, J. (1969). Tests for Serial Correlation in Regression Analysis Based on the Periodogram of Least-Squares Residuals. *Biometrika* 56: 1.
- FISCHER, R. A. (1929). Tests of Significance in Harmonic Analysis. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A*, 125: 54.
- FULLER, W. A. (1976). *Introduction to Statistical Time Series*. Princeton Univ. Press.
- GRENADIER, V. & M. ROSENBLATT (1957). *Statistical Analysis of Stationnary Time Series*. Wiley.
- HALBERG, F. & H. PANOFSKY (1961). I. Thermo-Variance Spectra; Method and Clinical Illustrations. *Exp. Med. Surg.* 79: 284.
- Y. L. TONG & E. A. JOHNSON (1967). Circadian System Phase — An Aspect of Temporal Morphology; Procedures and Illustrative Examples. In: *The Cellular Aspects of Biorythms*, Ed. H. von MAYERBACH. Springer-Verlag, N.Y.
- HANNAN, E. J. (1960). *Time Series Analysis*. Methuen, London.
- HOSHIZAKI, I. T. & K. C. HAMNER (1969). Computer Analysis of the Movements of Pinto Beans. *Pl. Physiol.* 44: 1045.
- JENKINS, G. M. & D. G. WATTS (1968). *Spectral Analysis and its Application*. Holden-Day.
- MERCER, O. H. A. (1960). Analytical Methods for the Study of Periodic Phenomena Obscured by Random Fluctuations. *Cold Spring Harbor Symp. on Quant. Biol.* 25: 73.
- PANOFSKY, H. & F. HALBERG (1961). II. Thermo-Variance Spectra; Computational Example and Other Methodology. *Exp. Med. Surg.* 19: 323.
- PAVLIDIS, T. (1979). *Biological Oscillators: their Mathematical Analysis*. Acad. Press.
- ROSSIER, A. & F. PELET (1970). Amélioration de la variété du Haricot nain "Ideal" par l'introduction de la résistance à la mosaïque commune. *Rev. Hort. Suisse* 43: 274.
- SATTER, R. L. & A. W. GALSTON (1981). Mechanisms of control of leaf movements. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 32: 83.
- VAN CAUTER, E. (1974). Methods for the Analysis of Multifrequential Biological Time Series. *J. Interdiscipl. Cycle Res.* 5: 131.

Adresses des auteurs: R. D. A., M. B., H. G.: Laboratoire de physiologie végétale, Université de Genève, 3, place de l'Université, CH-1211 Genève 4.
J. de P.: Université libre de Bruxelles, Stanley 7, 1980 Tervuren, Belgique.