

**Zeitschrift:** Saussurea : journal de la Société botanique de Genève  
**Herausgeber:** Société botanique de Genève  
**Band:** 14 (1983)

**Artikel:** Mouvement de la feuille du haricot : emploi de la démodulation complexe  
**Autor:** Degli Agosti, Robert / Bonzon, Marc / Greppin, Hubert  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1099240>

### **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:** 16.04.2026

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

# Mouvement de la feuille du haricot: emploi de la démodulation complexe

ROBERT DEGLI AGOSTI

MARC BONZON

&

HUBERT GREPPIN

## RÉSUMÉ

DEGLI AGOSTI, R., M. BONZON & H. GREPPIN (1983). Mouvement de la feuille du haricot: emploi de la démodulation complexe. *Saussurea* 14: 87-97. En français, résumé anglais.

L'article discute de quelques aspects de la démodulation complexe, technique de traitement des données de phénomènes rythmiques qui permet de suivre l'évolution de la période et de l'amplitude au cours du temps. Des données expérimentales, obtenues à partir du mouvement de la feuille du haricot, sont utilisées à cet effet. Les résultats montrent comment les paramètres rythmiques évoluent dans le temps lors d'un transfert de conditions synchronisantes (lumière: obscurité 12 h/12 h) à la lumière ou à l'obscurité continue (libre cours).

## ABSTRACT

DEGLI AGOSTI, R., M. BONZON & H. GREPPIN (1983). Movement of bean leaf: employ of complex demodulation. *Saussurea* 14: 87-97. In French, English abstract.

Some aspects of complex demodulation are discussed. This mathematical method allows the continuous evaluation of amplitude and period from data of periodic phenomena. The technique was used to analyze data from continuous measurements of the bean leaf movement. The results show how the rhythmic parameters change in time during a transfer from synchronizing conditions to free run, either in continuous light, or in continuous darkness.

Lors de l'analyse des données de phénomènes rythmiques on caractérise une oscillation au moyen de quatre paramètres principaux: l'amplitude ( $A$ ) égale à la moitié de la valeur entre un minimum et un maximum du cycle considéré, la période ( $T$ ) qui définit la répétitivité, la phase ( $\text{PHI}_0$ ) qui donne le retard ou l'avance du signal par rapport au cosinus au temps zéro et, enfin, un terme constant ( $C$ ) donnant le décalage en ordonnée (DEGLI AGOSTI & al., 1981).

En biologie, lorsqu'on examine quelques biorythmes, il apparaît clairement que l'amplitude et la période ne peuvent être considérées comme constantes. De plus, c'est très logiquement à partir d'investigations sur les phases de transition, qui font suite à des traitements divers, que l'on recueille les informations les plus utiles. L'intérêt pour des techniques de traitement de signaux périodiques qui s'insèrent dans une perspective dynamique, donc plus vaste, se justifie pleinement.

Le but de cet article est de présenter et de discuter quelques aspects de la démodulation complexe, méthode qui permet d'évaluer, puis de représenter les amplitudes et les périodes instantanées en fonction du temps (BLOOMFIELD, 1976; DE PRINS & CORNELISSEN, 1978; GRANGER, 1964).

Les données issues du mouvement de la feuille du haricot, seront utilisées, car il s'agit d'un rythme biologique bien étudié et facile à mesurer (BUNNING, 1973). En conditions constantes (22.5°C, 4500 lux), la périodicité de ce mouvement est de 26.4 heures (DEGLI AGOSTI & al., 1981).

Supposons qu'un échantillon de données puisse être décrit par une somme de  $m$ -composantes périodiques plus un terme tenant compte de l'erreur ( $E_t$ ):

$$y(t) = C + \sum_{j=1}^m A_{t,j} \cos(\omega_j t + \psi_{t,j}) + E_t \quad (1)$$

$$(t = 0 \dots N-1, \quad j = 1 \dots p \dots m)$$

où  $\omega_j = 2\pi/T_j$  et  $A_{t,j}$  et  $\psi_{t,j}$  représentent respectivement l'amplitude et la phase de la  $j$ -ième composante ( $\omega_j$ ) au temps  $t$ . Le principe de la méthode est le suivant: on opère tout d'abord une déconvolution du signal par la fréquence de la composante qui est à étudier, soit  $\omega_p$  définie par:

$$x(t) = y(t) \cdot e^{-i\omega_p t} \quad \text{où} \quad i = \sqrt{-1} \quad (2)$$

Comme

$$\cos(\omega_j t + \psi_{t,j}) = \frac{1}{2} \left\{ e^{i(\omega_j t + \psi_{t,j})} + e^{-i(\omega_j t + \psi_{t,j})} \right\} \quad (3)$$

On obtient:

$$x(t) = \frac{1}{2} A_{t,p} e^{i\psi_{t,p}} + T = R + T \quad (4)$$

où  $T$  représente une somme de termes (voir DE PRINS, 1978).

En pratique la déconvolution revient à décaler dans le domaine spectral toutes les fréquences de  $-\omega_p$ . De cette manière le terme  $R$  devient centré autour de la fréquence nulle pour autant que  $A_{t,p}$  et  $\psi_{t,p}$  soient des fonctions qui varient lentement. Cette dernière condition constitue la limitation principale de cette technique.

Le problème crucial consiste à éliminer dans l'équation (4) le terme  $T$  sans affecter  $R$ . Comme ce dernier se trouve près de la fréquence nulle, on peut utiliser dans ce but un filtre passe-bas.

Le terme  $R$  peut alors être correctement extrait, pour autant que l'on choisisse une largeur de bande du filtre suffisamment étroite pour éliminer tous les termes contenus dans  $T$ , mais assez large pour permettre de conserver tout le contenu spectral de  $R$ . Malheureusement il n'existe pas de filtre idéal. GRANGER (1964) suggère d'utiliser deux lissages successifs (moyennes mobiles) sur, respectivement  $k$  et 1 points, avec  $k \geq 1$  et  $k \geq n$  où  $n$  est le nombre de points par période. Un rapport  $k/1$  optimum de 1.38 a été calculé par DE PRINS & CORNELISSEN (1978).

Par application de ce filtre dans ces conditions on obtient:

$$z(t) = F[x(t)] \cong \frac{1}{2} A_{t,p} e^{i\psi_{t,p}} \quad (5)$$

Si l'on désigne par  $z'(t)$  et  $z''(t)$ , les parties complexes et réelles de  $z(t)$ , il vient

$$\hat{A}_{t,p} = 2 \| z(t) \| = 2 \sqrt{z'(t)^2 + z''(t)^2} \quad (6)$$

$$\hat{\psi}_{t,p} = \arctg z'(t)/z''(t) \quad (7)$$

On peut donc représenter l'évolution de l'amplitude et de la phase dans le temps.

Dans la plupart des situations le paramètre le plus important est la période (ou la fréquence  $f = 1/T$ ) que l'on peut obtenir à partir de la phase. En effet une variation de phase ne peut être distinguée d'une variation en fréquence, de sorte que pour chaque  $t$  il est possible de calculer un  $\omega_{t,p}$  de telle façon à ce que l'égalité suivante soit toujours vraie:

$$\omega_p \cdot t + \psi_{t,p} = \omega_{t,p} + \psi_o \quad (8)$$

Or, sachant que

$$\omega_{t,p} = 2\pi \int_0^t f_{t',p} dt' \quad (9)$$

où  $f_{t',p}$  est la fréquence au temps  $t'$  de la composante  $p$  (DE PRINS, 1978).

Si l'on dérive (9), on obtient:

$$f_{t,p} = \frac{d \omega_{t,p}}{2\pi dt} \quad (10)$$

En dérivant (9) et en y substituant (10), on aboutit à

$$f_{t,p} = \frac{1}{T_p} + \frac{d\psi_{t,p}}{2\pi dt} \quad (11)$$

Grâce à cette dernière équation il est possible de calculer des fréquences ou des périodes instantanées directement dérivées de l'estimation des phases.

Cette technique permet donc d'analyser des séries temporelles non stationnaires dont, cependant, la période et l'amplitude ne varient pas trop brusquement. L'application de cette méthode permet de décrire isolément le comportement dans le temps de chaque paramètre qui nous intéresse, soit: l'amplitude, la phase et la période. La phase est estimée par rapport à une période donnée ( $\omega_p$ ; période "exploratrice"). Lorsque la périodicité effective est plus petite que l'oscillation "exploratrice", alors la phase entre les deux signaux s'accroît, sa pente est positive. Inversement lorsque la pente de la phase est négative, alors le rythme expérimental est plus lent.

## 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 1<sup>0</sup>/<sub>00</sub>). Par la suite l'apport de nourriture est maintenu de façon continue.

### *Conditions de culture*

En premier lieu la plante est maintenue dans des cycles de 12 heures de lumière et de 12 heures d'obscurité (L:D 12:12), dans la seconde et troisième expérience, après 28 jours de L:D 12:12, on donne respectivement de la lumière continue (L:D 12:12 LC) ou de l'obscurité continue (L:D 12:12 D). 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) est de  $4500 \pm 500$  lux au niveau de la feuille. L'humidité relative est de  $55 \pm 5\%$ .

### *Technique de mesure du mouvement de la feuille*

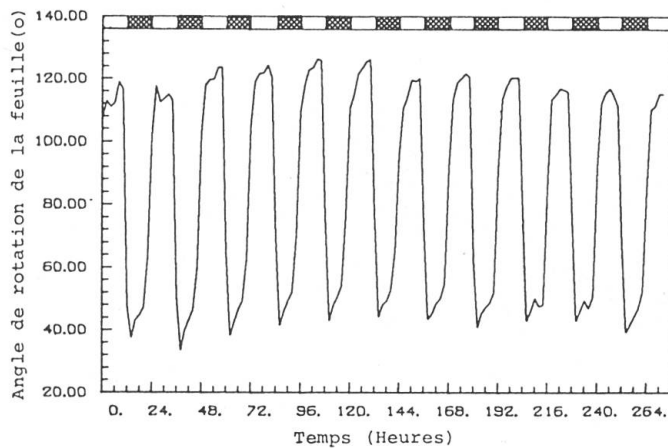
Le dispositif et le protocole de mesure employés ont déjà été décrits. Le mouvement foliaire défini comme étant l'évolution de l'angle formé entre le pétiole et la nervure principale de la feuille est enregistré au moyen d'un levier très sensible à partir du 24<sup>me</sup> jour (DEGLI AGOSTI & al., 1981).

### *Traitement des données*

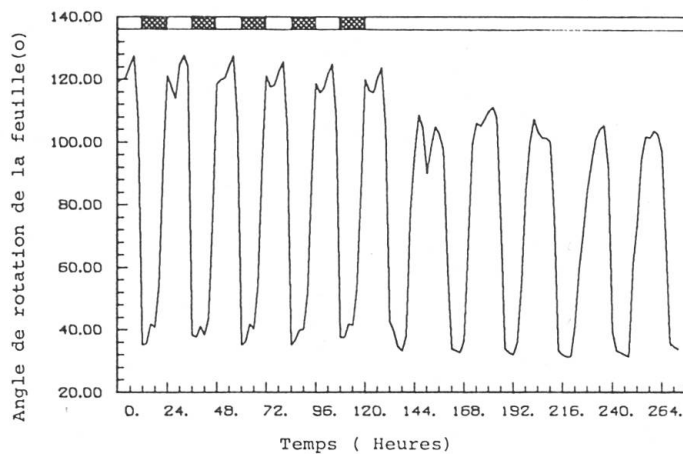
Le tracé continu du mouvement de la feuille sur l'enregistreur est échantillonné, les valeurs converties en angles. Ce sont ces données qui seront utilisées par la démodulation complexe, mise au point sur l'ordinateur du Centre de calcul de l'Université de Genève (Univac 1108). Le "listing", le mode d'utilisation, ainsi que les tests du programme sont décrits ailleurs (DEGLI AGOSTI, 1979).

## Résultats et discussion

Les cycles L:D 12:12 imposent au mouvement de la feuille du haricot une périodicité de 24 heures, comme on peut l'observer sur la figure 1.



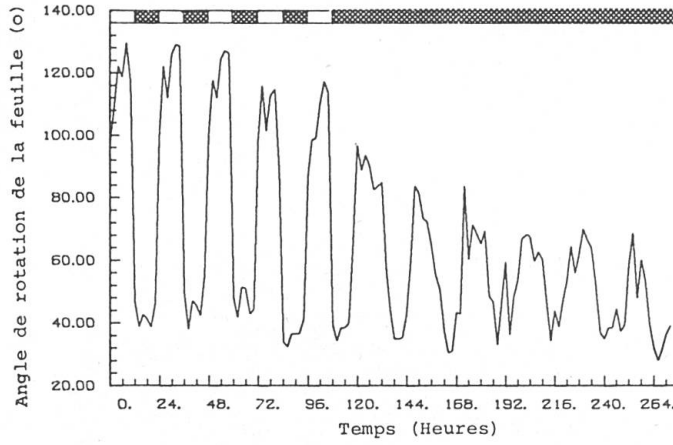
1



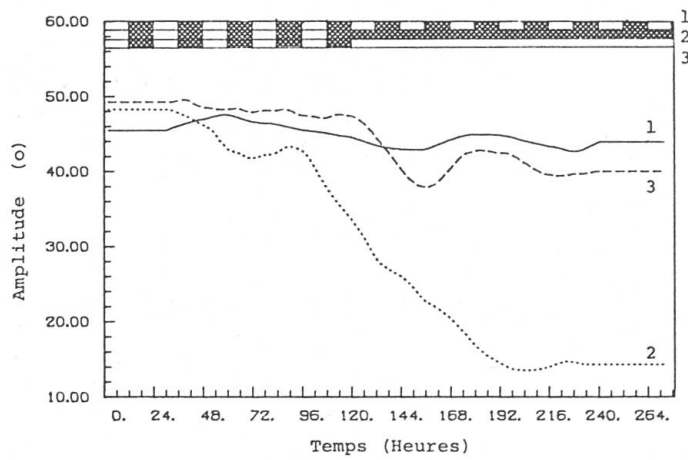
2

Fig. 1. - Synchronisation du rythme du mouvement de la feuille du haricot par une alternance lumière:obscurité 12 heures:12 heures. Au maximum, la feuille se trouve en position dite de "jour" (presque horizontale) et au minimum, en position dite de "nuit". L'intervalle de temps entre deux points est de 2 heures (137 points).

Fig. 2. - Mouvement de la feuille du haricot transféré en lumière continue.



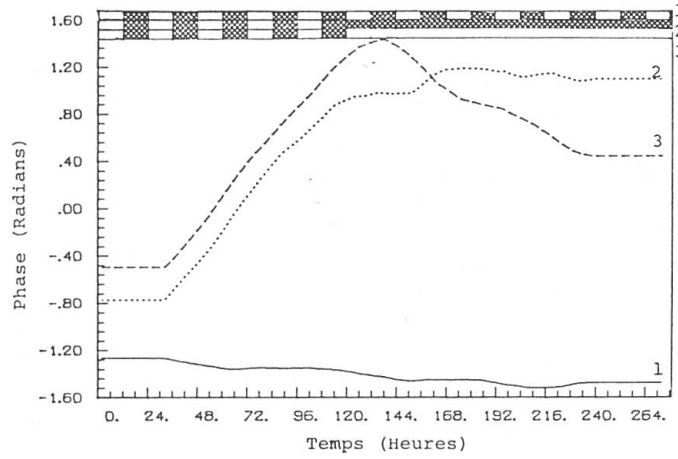
3



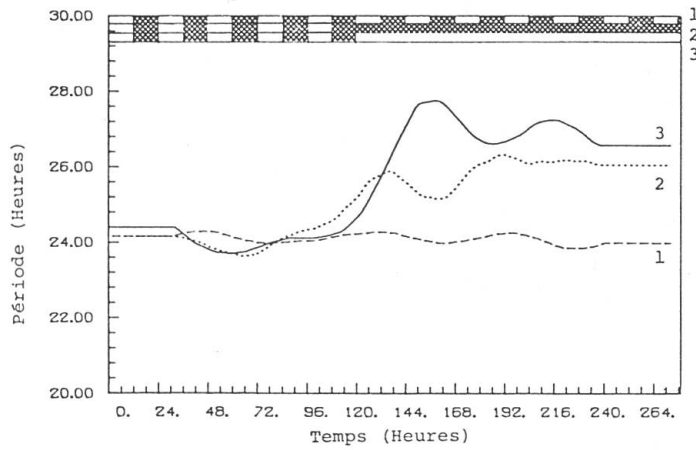
4

Fig. 3. - Mouvement de la feuille du haricot transféré à l'obscurité continue.

Fig. 4. - Profils des variations d'amplitudes de rotation de la feuille du haricot lors des différents traitements lumineux. Les caractéristiques de démodulation sont pour (1) Période "exploratrice" P=24, filtrage (F) sur 24, puis 34 points. (2) P=26, F=26, 36 (3) P=26, F=26, 36.



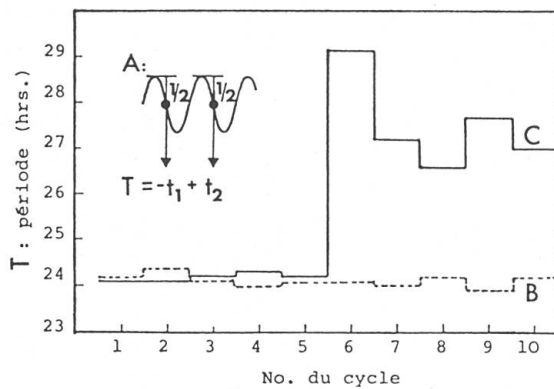
5



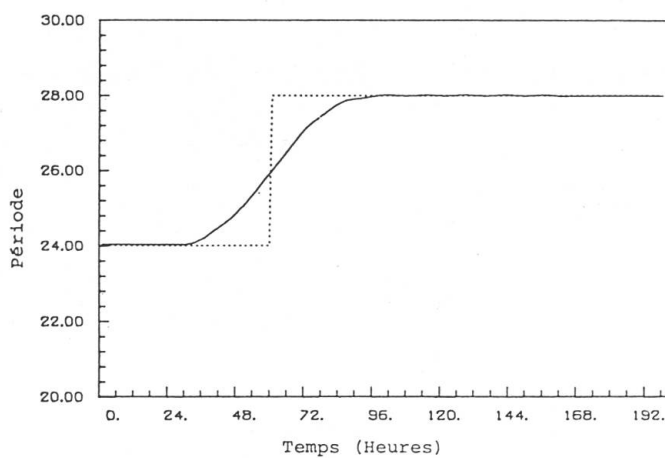
6

Fig. 5. – Phases de la démodulation des expériences des figures 1, 2 et 3. Mêmes conditions que la figure 4.

Fig. 6. – Périodes estimées par démodulation des données des figures 1, 2 et 3. Mêmes conditions que la figure 4.



7



8

Fig. 7. - A, méthode d'évaluation directe de la période. B, périodes évaluées des données de la figure 1. C, de même pour la figure 2.

Fig. 8. - Effet de la démodulation sur l'estimation des périodes pour une série de données artificielles où la période varie de 24 à 28 heures. En pointillé variation de la période, en trait continu estimation par la démodulation.

L'amplitude est maintenue de manière remarquablement stable durant toute la durée de la mesure. La figure 2 représente l'enregistrement du transfert en lumière continue (L:D 12:12 LC). On observe une augmentation de la durée des cycles associée à une faible diminution de l'amplitude. A l'obscurité (cf. fig. 3), l'amplitude diminue très nettement, de plus, le rythme semble se désagréger peu à peu. Un tel "morcellement" a déjà été mis en évidence par BUNNING (1935) qui attribuait ce phénomène à une désynchronisation de plusieurs rythmes élémentaires circadiens. Les observations concernant l'amplitude se confirment très bien au moyen de la démodulation complexe (fig. 4). L'évolution des phases peut être appréciée à la figure 5 et l'évolution des périodes à la figure 6.

Comme il était prévisible, la période du rythme synchronisé (L:D 12:12) reste constante, contrairement aux expériences de transfert où elle augmente pour atteindre dans les deux cas une valeur située autour de 26.5 heures après 4-5 jours, rejoignant ainsi la périodicité du rythme en conditions constantes (26.4 heures). Compte tenu du décalage obligatoire de 12 heures entre le début effectif de l'obscurité et de la lumière continue, on observe une similitude entre l'aspect dynamique de l'évolution de ces deux courbes (fig. 6). La différence peut être presque entièrement attribuée à l'allongement beaucoup plus considérable du premier cycle après le transfert en lumière continue.

Grâce à la nature très propre du signal, il est possible d'évaluer directement les périodes à partir des figures 1 et 2 (fig. 7). On observe que les courbes des figures 6 et 7 ne sont pas identiques en ce qui concerne l'expérience de transfert en lumière continue. Dans la figure 7 l'augmentation de la période après transfert est non seulement beaucoup plus élevée (jusqu'à une périodicité de 29 heures pour le premier cycle), mais aussi plus rapide.

La démodulation semble déformer l'information contenue dans le signal. Il est nécessaire de se rappeler que la limitation technique principale de cette méthode est qu'elle ne peut analyser des phénomènes où l'amplitude et/ou la période varient trop brusquement. Ce qui est manifestement le cas ici.

Une modification brusque de ces paramètres se traduit par une localisation dans le domaine spectral qui n'est plus proche de la fréquence nulle, par application du filtre utilisé, cette information est dès lors plus ou moins détruite. On explique ainsi la déformation du signal produit par la démodulation. Cet effet peut être particulièrement bien illustré si l'on utilise des données d'une série artificielle où la période varie très brusquement de 24 à 28 heures (fig. 8).

Si l'on tient compte de cette "déformation" inévitable, cette méthode, même utilisée en dehors de son domaine d'application, donne des informations tout à fait cohérentes avec la réalité. Il faut souligner que, si cette comparaison a pu être faite pour le transfert en lumière continue, la nature plus complexe du signal à l'obscurité (fig. 3) empêche l'évaluation

directe de la période, mettant ainsi clairement en évidence l'utilité de cette technique.

Lorsqu'on dispose d'une série temporelle de nature périodique avec suffisamment de données, la démodulation complexe est un outil de premier choix. Pour autant que les résultats soient interprétés avec toute la prudence et le soin nécessaire, elle permet de bien caractériser le rythme et offre une vision synthétique de son évolution.

#### REMERCIEMENTS

Le professeur J. De Prins de l'Université Libre de Bruxelles est vivement remercié pour avoir fourni si aimablement le programme de la démodulation complexe et pour l'aide qu'il a apporté à sa mise au point sur l'ordinateur du Centre de calcul de l'Université de Genève.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLOOMFIELD, P. (1976). *Fourier analysis of Time Series*. Wiley.
- BUNNING, E. (1935). *Jahrb. Wiss. Bot.* 81: 411-418.
- (1973). *The Physiological Clock*. Springer Verlag, N.Y.
- DEGLI AGOSTI, R. (1979). *Analyses mathématiques de phénomènes rythmiques chez les plantes*. Trav. de diplôme, Univ. Genève.
- J. DE PRINS, M. BONZON & H. GREPPIN (1981). *Saussurea* 12: 1-14.
- DE PRINS, J. & G. CORNELISSEN (1979). *Bull. Classe Sci. Acad. Roy. Belgique, Sér. 5*, 65: 445-455.
- GRANGER, C. W. J. in association with HATANAKA, M. (1964). *Spectral analysis of economic time series*. Princetown Univ. Press.
- ROSSIER, A. & F. PELET (1970). *Rev. Hort. Suisse* 43: 274.

