



Integration de concepts éco-physiologiques dans les modèles de croissance et de qualité des bois

Christine Deleuze

► To cite this version:

Christine Deleuze. Integration de concepts éco-physiologiques dans les modèles de croissance et de qualité des bois. *Revue forestière française*, 1995, 67 (S), pp.149-155. <10.4267/2042/26707>. <hal-03444277>

HAL Id: hal-03444277

<https://hal.science/hal-03444277v1>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



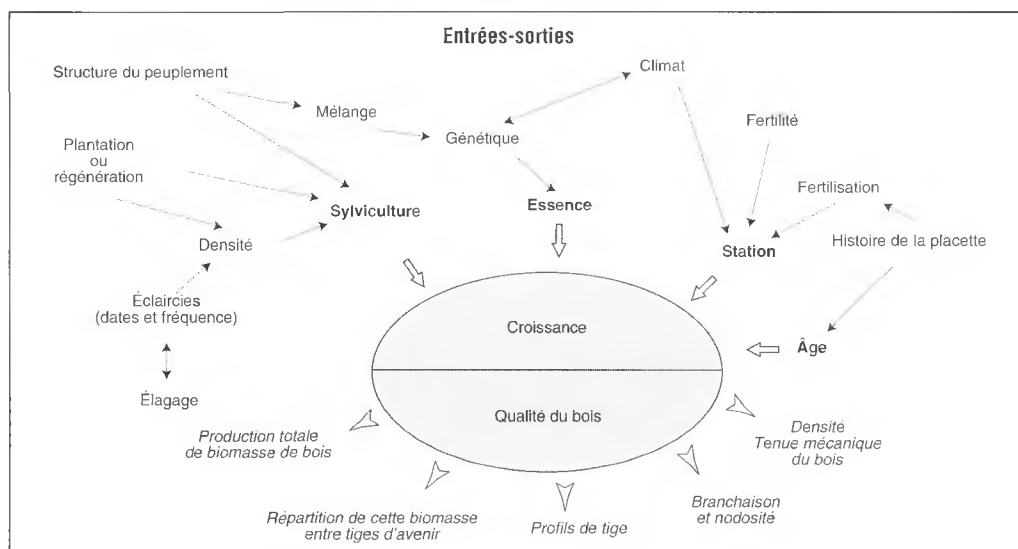
HAL Authorization

INTÉGRATION DE CONCEPTS ÉCO-PHYSIOLOGIQUES DANS LES MODÈLES DE CROISSANCE ET DE QUALITÉ DES BOIS

Christine DELEUZE

La démarche classique de construction de modèles de croissance, dits **dendrométriques**, s'appuie sur l'ajustement, à un ensemble de données, d'un modèle empirique, représenté par un système d'équations. Ce système, allant d'une simple relation linéaire à une combinaison d'équations plus sophistiquées, reste cependant une boîte noire (Bossel, 1987), **assujettie aux données** et donc aux conditions environnementales dans lesquelles ont été recueillies ces données. Typiquement, pour adapter le modèle à de nouvelles stations, essences ou pratiques sylvicoles, il est nécessaire de reprendre toute la démarche, en particulier le recueil de données à long terme. Le schéma courant (figure 1, ci-dessous) des différents éléments influençant la croissance montre bien le nombre important de combinaisons à tester.

Figure 1
SCHÉMA CLASSIQUE DES DIFFÉRENTES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES
qui peuvent influencer la croissance et la qualité du bois,
ainsi que quelques exemples de sorties des modèles



C'est pourquoi les modèles de croissance et de qualité du bois s'orientent de plus en plus vers une meilleure prise en compte de la **physiologie** de l'arbre, afin de construire des modèles plus structurés, robustes et souples : on parle de **modèles à base éco-physiologique** ou "process models". L'objectif n'est pas de construire des **modèles physiologiques** comme outils de **compréhension** des processus de croissance mais de garder les objectifs de **description** des modèles dendrométriques classiques, en reliant **structurellement** les sorties du modèle à des paramètres environnementaux.

MODÈLE À BILAN DE CARBONE

Un schéma courant de ces modèles est un bilan de **carbone** au niveau de l'**arbre**, en termes de **sources** et **puits** (figure 2, ci-dessous). L'**arbre** est une échelle d'étude assez naturelle, à la fois parce qu'il est souvent plus facile d'introduire des processus physiologiques à ce niveau, et parce qu'elle fournit des sorties directement utilisables en foresterie. D'autre part, le **carbone** est l'élément sur lequel se focalisent souvent ces process-modèles, tandis que les autres éléments interviennent en régulateurs de certains processus. La **source** principale de carbone est la production photosynthétique du houppier, plus ou moins régulée par les conditions hydriques et la fertilité. Cette production brute est ensuite répartie entre les différents compartiments de l'arbre (houppier, tige et racines) :

c'est l'étape d'**allocation**. Enfin, au niveau de chaque compartiment, un **bilan de carbone** est fait entre les pertes de respiration et de sénescence, la mise en réserve et enfin la croissance nette. Évidemment la croissance de la tige reste *in fine* la variable qui nous intéresse.

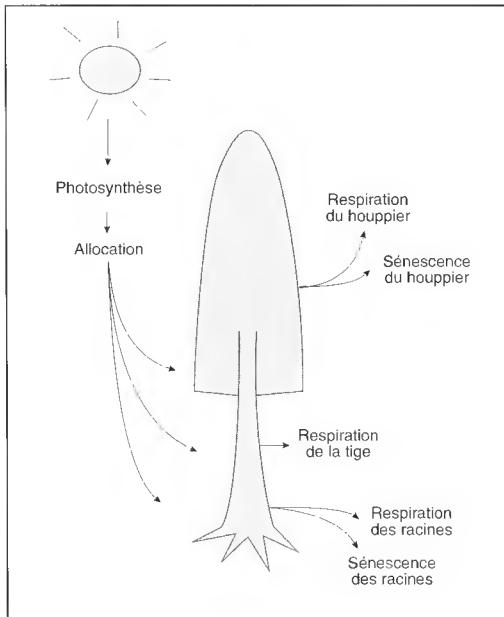


Figure 2
MODÈLE D'ARBRE BASÉ SUR UN BILAN DE CARBONE

Ce schéma explique en partie la grande sensibilité de ces modèles à la description du houppier et de ses interactions avec les houppiers voisins (contacts directs et atténuation de la lumière). Une première étape est donc la meilleure description, dans les modèles de croissance, de la morphologie des arbres, à l'aide de paramètres relativement simples comme la croissance en hauteur, la dynamique de remontée du houppier, l'atténuation de la lumière. Nous ne détaillerons pas cette approche, initiée par Kenneth Mitchell (1975) et reprise par exemple par Jean-Marc Ottorini pour le Douglas (cf. article p. 97), ou affinée à l'aide de modèles architecturaux style AMAP (cf. article p. 71).

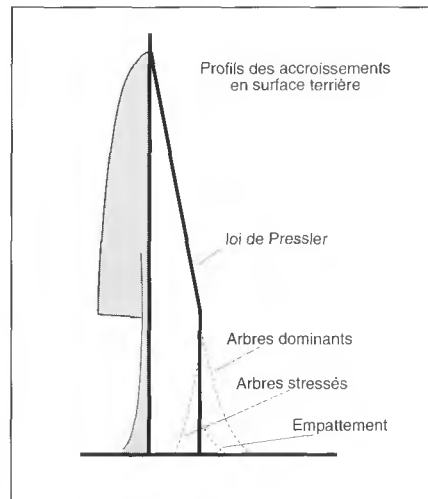
ALLOCATION ET RÉPARTITION

La deuxième étape est alors l'allocation de carbone entre les **différents compartiments** de l'arbre, et au sein de la tige, entre les **différentes hauteurs**, correspondant à la **répartition de l'accroissement ligneux**. Allocation et répartition sont souvent traitées séparément dans les process-models.

● **L'allocation** est la résultante de processus physiologiques complexes et non encore complètement quantifiés. Actuellement cette allocation est en général constante, bien que sa description soit déterminante pour la souplesse du modèle, face à des variations des conditions de croissance. Par exemple, une culture bénéficiant d'une fertilisation diminuera son allocation de carbone aux racines, et donc augmentera celle au feuillage.

● **La répartition** est soit ignorée (modèle de production volumique) ou se fait suivant la loi empirique de Pressler, de répartition uniforme de l'accroissement ligneux en fonction de la biomasse foliaire (figure 3, ci-contre). Cependant cette description est mise en défaut dans le cas d'arbres stressés, pour lesquels le profil est plus effilé ou pour des arbres dominants dans des conditions très favorables, dont le profil est plus empâté (Farrar, 1961). Cette répartition est déterminante du point de vue de la qualité du bois produit, puisque la largeur de cerne est l'une des variables explicative essentielle de la densité du bois (cf. article Nepveu, p. 35).

Figure 3
**RÉPARTITION DES ACCROISSEMENTS LIGNEUX
 LE LONG DE LA TIGE EN FONCTION DE LA BIOMASSE
 FOLIAIRE :**
 en gras loi de Pressler ;
 en tiretés, variations autour de cette loi
 selon Farrar (1961)



Les modèles à base éco-physiologique sont actuellement beaucoup plus avancés pour les plantes et notamment les cultures annuelles, pour lesquelles on trouve des modèles plus réalistes de l'allocation. L'allocation, telle qu'elle a été définie par Warren-Wilson (Wyse, 1986), est une **distribution équitable** entre les besoins des différents compartiments (c'est-à-dire leur activité et leur biomasse totale). Thornley (1972) propose un **mécanisme de diffusion**, entre feuillage et racines, qui décrit de manière efficace cette distribution équitable, puisqu'elle diminue les différences de concentration de carbone. Nous proposons en fait une adaptation "**en continu**", le long de la tige, de ce modèle de diffusion, qui permet de décrire de manière réaliste, à la fois l'allocation et la répartition. D'autre part, une diffusion en continu rend compte du fait que la translocation des photosynthétats va dans un sens contraire au gradient de concentration (Robert et Catesson, 1990).

Le modèle décrit le passage par diffusion de carbone entre un compartiment de feuillage W_f , et un compartiment de racines W_r , séparés par un **compartiment de "phloème"** où a lieu le transport de sève élaborée (figure 4, p. 152). Ce compartiment est supposé de **hauteur H** (la hauteur de la base de houppier) et de surface de **section constante S** répartie autour d'un **anneau de cellules cambiales** de rayon de plus en plus important en descendant dans la tige (qui évolue quasiment comme le rayon de la tige).

Pour chaque compartiment, un bilan de carbone est fait (cf. section précédente ou Deleuze et Houllier, 1995), et dans le phloème on suppose que la croissance cambiale est une fonction linéaire de la circonférence de l'anneau cambial et de la concentration locale en carbone.

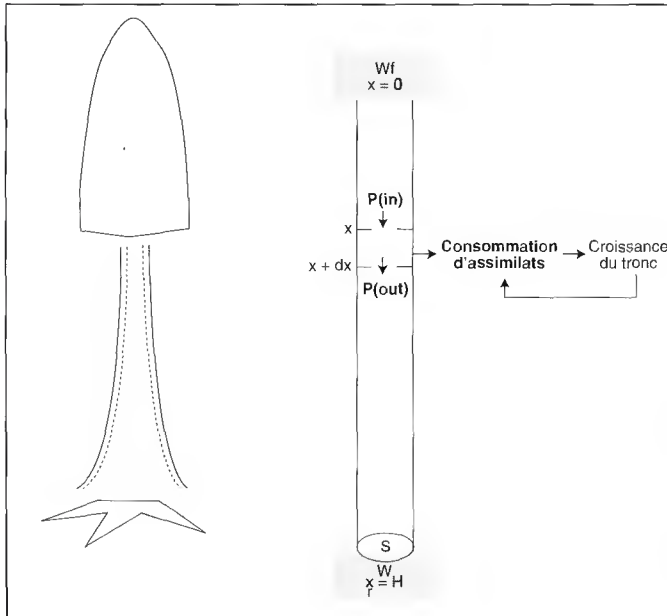


Figure 4

À GAUCHE, MODÈLE D'ARBRE
en introduisant (en pointillé)
le phloème dans la tige

À DROITE, SCHÉMA DU MODÈLE
DE RÉACTION-DIFFUSION
pour décrire l'allocation
de carbone dans le modèle
d'arbre précédent

Des simulations montrent (figure 5, ci-dessous) l'évolution le long de la tige de la concentration en carbone, des rayons, des largeurs de cernes et des accroissements ligneux le long de la tige, pour une **tige conique au départ**. La concentration de carbone diminue de la source de carbone : la base du houppier, vers le dernier puits : les racines. Ce profil effilé est compensé par le profil conique de la tige, si bien que les accroissements ligneux d'arbres en conditions normales de croissance (pointillés sur les schémas) correspondent à la loi de Pressler.

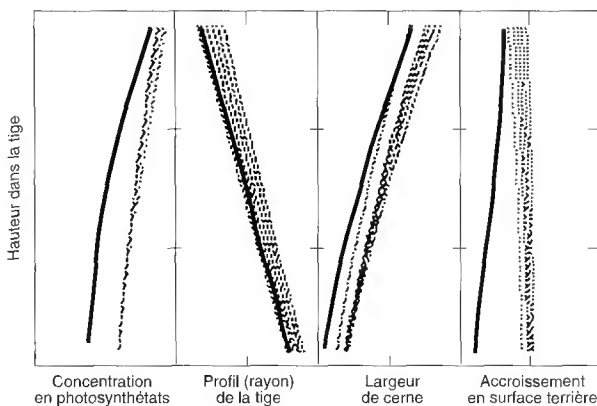


Figure 5

SORTIES DE SIMULATION DU MODÈLE
D'ARBRE avec en ordonnées la hauteur
dans la tige (en haut base du houppier,
en bas racines), et en abscisses
successivement les concentrations en
photosynthétats, le profil (rayon) de la
tige, les largeurs de cernes et les
accroissements en surface des mêmes
cernes

En pointillés, simulation sur 5 périodes
pour un arbre dans des conditions
normales de croissance et, en gras,
simulation sur une période d'un stress
hydrique c'est-à-dire d'une augmentation
de la résistance aux flux

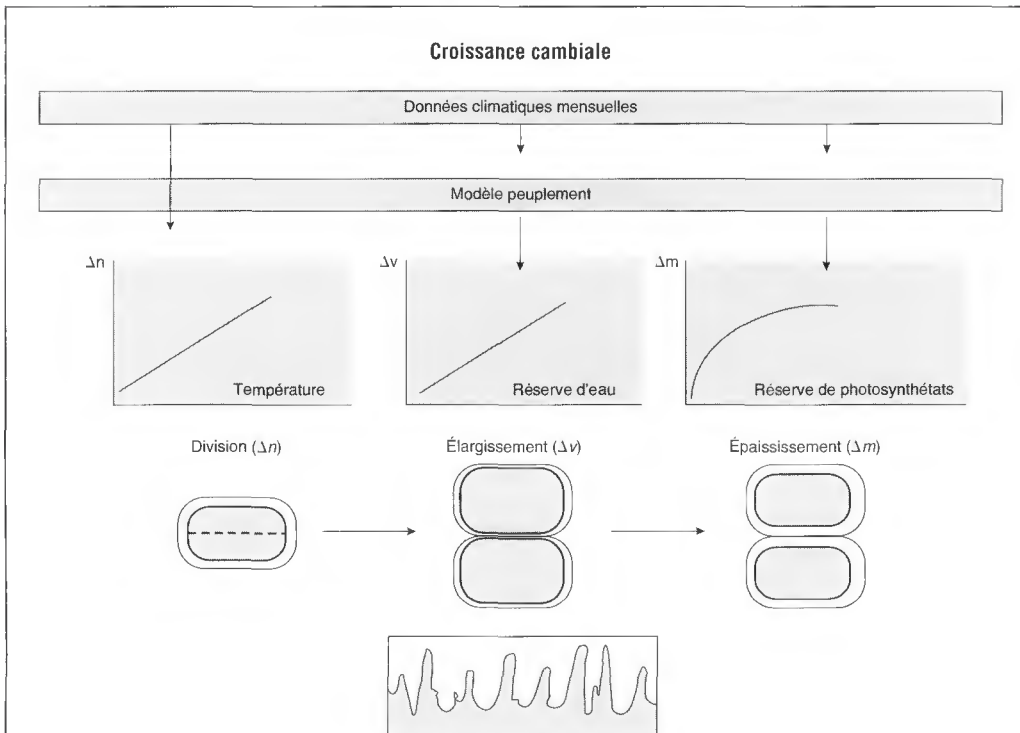
Ce modèle permet de retrouver finalement une loi dendrométrique classique et les **variations autour de cette loi**, connaissant les variations des paramètres. Typiquement, la vitesse de croissance de la tige dépend de la fertilité, tandis que la résistance aux flux dépend des conditions hydriques (par exemple, en gras sur la figure 5, la simulation d'une augmentation de la résistance à la diffusion donne un profil beaucoup plus effilé pour les concentrations et une diminution des accroissements ligneux en bas de la tige).

MODÈLE PLUS FIN DE CROISSANCE CAMBIALE

Parallèlement à cette approche de plus en plus fine dans l'espace (peuplement → arbre → tige), une meilleure prise en compte des variations environnementales à court terme vise à relier la **croissance cambiale** aux données climatiques moyennes. En se restreignant au cas des conifères, on s'intéresse à la production de trachéides au cours du temps. À partir de données climatiques moyennes, des bilans de peuplement pour la réserve hydrique et les réserves en assimilats sont faits. On en déduit le nombre de **divisions cambiales** limitées par la **température**, le **volume** occupé par les cellules filles, en fonction de la **réserve hydrique** et enfin l' limitée par la **réserve en assimilats**. Ces trois étapes permettent de décrire l'évolution du volume occupé par les cellules (donc l'évolution du rayon de la tige) et la densité locale, soit l'**évolution des profils microdensitométriques le long du rayon**.

Figure 6

SCHÉMA DU MODÈLE DE CROISSANCE CAMBIALE POUR DÉCRIRE L'ÉVOLUTION DE PROFILS MICRODENSITOMÉTRIQUES À PARTIR DE BILAN CLIMATIQUE

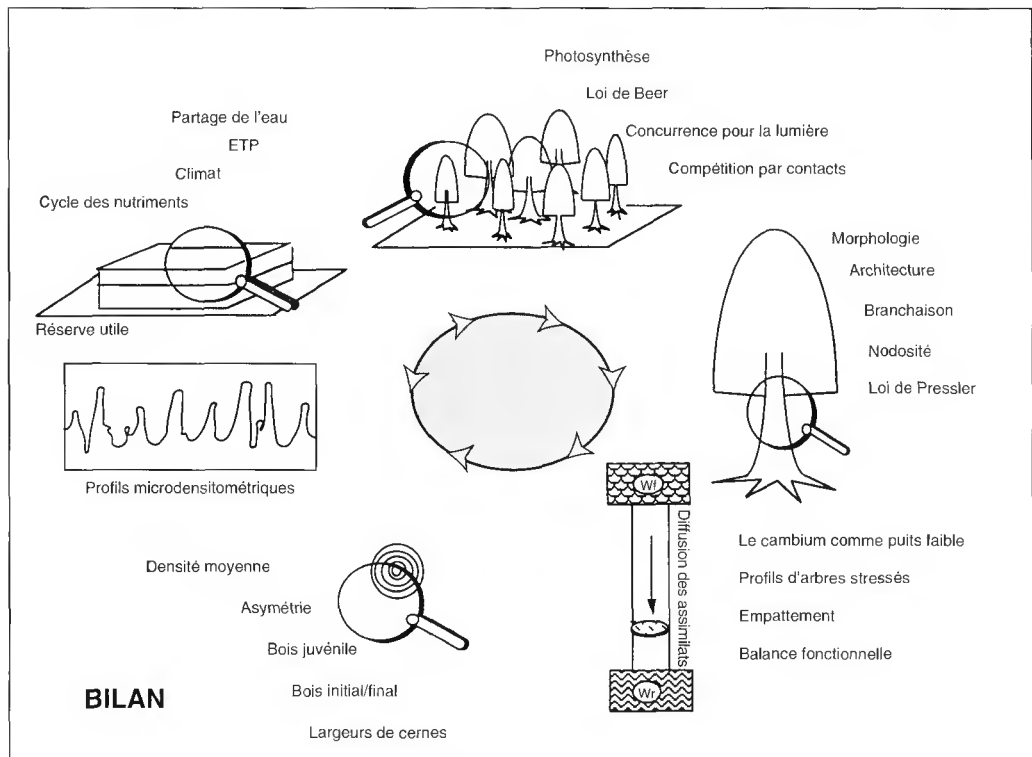


Les premiers essais de simulation, avec ce modèle mécaniste simple, retracent les principales variations de profils microdensitométriques de pins sylvestres, dans la région de Charmes, près de Nancy (données fournies par Françoise Huber, INRA-Champenoux). On retrouve le léger décalage de la densité minimale par rapport au début du cerne ainsi que des années caractéristiques (densité maximale forte, largeur de cerne...). Un tel modèle pourrait permettre donc une description de caractéristiques moyennes des densités et donc des propriétés mécaniques.

CONCLUSIONS

Finalement, ce rapide aperçu montre différentes tendances pour l'introduction de principes physiologiques dans les modèles de croissance (figure 7, ci-dessous). Il est clair que **plusieurs échelles d'étude** sont possibles pour chacun des processus introduits. Le choix de ces processus et de la finesse de leur description dépend avant tout des **objectifs choisis** au départ pour le modèle. Il est essentiel à ce niveau de garder un **équilibre** permanent entre les processus décrits : typiquement, il est disproportionné de décrire très finement le processus de photosynthèse avec une allocation simple constante, si l'on cherche à modéliser la production de bois (choix qui serait en revanche justifié pour étudier les variations de production photosynthétique de différentes provenances). Cet équilibre est d'autant plus essentiel qu'il existe un **déséquilibre** évident entre les processus **connus** et surtout **quantifiés** (typiquement la photosynthèse et l'allocation !).

Figure 7 **DIFFÉRENTES ÉCHELLES POUR INTRODUIRE UNE STRUCTURE PLUS FONCTIONNELLE DANS LES MODÈLES DE CROISSANCE : LIENS ENTRE CES DIFFÉRENTES ÉCHELLES ET RELATIONS AVEC LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES**



Perspectives

Finalement, cette nouvelle approche, encore au stade théorique dans la plupart des cas, peut déjà permettre de construire un **squelette** plus structuré pour lequel il sera plus facile d'introduire des connaissances éco-physiologiques qu'avec les boîtes noires traditionnelles.

Enfin, il faut souligner que cette approche nécessite l'introduction de **nouvelles données** dendrométriques (hauteurs de houppier, analyses de tige, mesures intra-annuelles de la croissance du tronc, profils microdensitométriques...) afin de calibrer *in fine* ces modèles. Grâce à la lignification, certaines de ces données sont intégrées dans l'arbre et peuvent être récupérées par des mesures destructives. D'autres en revanche nécessitent des mesures *in vivo* et à **long terme** (croissance intra-annuelle, remontée de la base de houppier...).

Christine DELEUZE

Laboratoire de Biométrie

URA 2055 CNRS

UNIVERSITÉ CLAUDE-BERNARD - LYON I

43, boulevard du 11 novembre

F-69622 VILLEURBANNE CEDEX

BIBLIOGRAPHIE

- BOSSEL (H.). — Dynamic models of forest ecosystem components. In : *Man and Biosphere "Ecologic socioeconomic system analysis and simulation"*/E.F. Bruenig, H. Bossel Eds. — Hambourg : Institute of World Forestry and Ecology, 1987. — pp. 133-169 (Mitteilungen 24).
- DELEUZE (C.), HOULLIER (F.). — Prediction of stem profile of *Picea abies* using a process-based tree growth model. — *Tree Physiology*, vol. 15, 1994, pp. 113-120.
- FARRAR (J.L.). — Longitudinal variation in the thickness of the annual ring. — *Forestry Chronicle*, vol. 37, n° 4, 1961, pp. 323-330.
- MITCHELL (K.J.). — Dynamics and Simulated Yield of Douglas fir. — *Forest Science Monograph*, vol. 17, 1975, pp. 1-39.
- ROBERT (D.), CATESSON (A.M.). — Organisation végétative. In : *Biologie végétale*. — Tome 2. — Paris : Doin, 1990. — 256 p.
- THORNLEY (J.H.M.). — A model to describe the partitioning of photosynthates during vegetative plant growth. — *Annals of Botany*, vol. 36, 1972, pp. 431-441.
- WYSE (R.E.). — Sinks as determinants of assimilate partitioning possible sites for regulation. In : *Phloem transport*, Colloque, août 1985, Asilomar, Californie. Plant Biology IV/J. Cronshaw, W.J. Lucas, R.T. Giaquinta Eds. — New-York, 1986. — pp. 197-209.