

# Revue des méthodes proposées pour la prospective et la planification à long terme en matière forestière

Autor(en): **Bartet, J.H. / Pleines, W.E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal  
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **123 (1972)**

Heft 9

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-765072>

## **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.

# Revue des méthodes proposées pour la prospective et la planification à long terme en matière forestière

Par J. H. Bartet et W. E. Pleines, Lausanne

Oxf.: 624:903

## 1. Avant-propos

Le présent rapport essaie de faire le point sur l'avancement des travaux en méthodologie de la prospective et de la planification à long terme des ressources forestières.

Cette étude a été faite dans une optique bien précise. Il s'agissait de développer un modèle pratique, utilisable pour la planification de la *production ligneuse*.

Pour cette raison, les méthodes économiques classiques de prospective ne seront pas évoquées ici (cf. par exemple: *Gregory, 1971*).

A cause du volume de la littérature en la matière, des difficultés à obtenir beaucoup des travaux et du flot presque quotidien de nouvelles publications, l'énumération des études entreprises est nécessairement incomplète (cf. *Schöpfer, Höffle, 1970*), notamment celle des travaux japonais et scandinaves. L'analyse des articles cités est aussi subjective puisqu'elle repose en premier lieu sur l'opinion des auteurs et sur la nature du problème posé.

L'étude des travaux discutés ci-dessous a énormément enrichi les auteurs et leur a évité bien des déboires dans leur propre travail. Puisse-t-il en être de même pour les lecteurs intéressés et inciter les chercheurs à mieux coordonner leurs travaux dans ce domaine?

Cette revue devait servir d'introduction à un article présentant une réalisation sur ce sujet (*Bartet, Pleines, 1972*). Devant son ampleur, il a été décidé de la publier séparément.

## 2. Introduction

La croissance lente des forêts impose à celui qui les gère de prévoir à long (et même très long) terme, car ses décisions influenceront leur développement pendant des générations. Mais la complexité des facteurs affectant ce développement et les risques d'accidents pouvant bouleverser leur croissance rendent très difficile cette prévision de l'évolution future à long terme des peuplements forestiers.

Dans un «monde en constant changement»<sup>1</sup>, et où les conflits d'utilisation des ressources deviennent de plus en plus aigus, il n'est plus possible de se fier uniquement à l'intuition, à la tradition et à l'expérience empirique pour décider, puis entreprendre une politique à long terme de gestion forestière.

Ce besoin de mieux prévoir l'évolution probable de la forêt, le désir d'évaluer quantitativement les effets à longue échéance de différentes politiques possibles, la recherche de solutions acceptables non seulement à court terme mais aussi à long terme, incitent un peu partout les forestiers à élaborer des systèmes quantitatifs de prévision du développement des forêts.

En Suisse notamment, sous l'impulsion de *René Badan*, le Service Cantonal des forêts du canton de Vaud a développé un nouveau système d'aménagement (*Robert*, 1969). Pour la planification à long terme, domaine débordant l'intérêt régional, la collaboration du Prof. *A. Kurt* a permis de mettre sur pied la présente équipe.

### 3. De la planification en matière forestière

#### 3.1 Le problème et ses différents niveaux

Le problème de la planification à long terme travaille les milieux forestiers depuis quelques années, singulièrement chez les Anglo-Saxons. En effet, les délais de production sont tels que nos décisions sont une orientation à long terme. C'est pourquoi l'aménagement, c'est-à-dire la planification de la gestion (*Webster, Marty*, 1966) est une démarche essentielle de tout service forestier. Cette planification doit comporter plusieurs niveaux, selon le terme et la responsabilité (*Robertson*, 1967).

On en retient souvent trois:

1. Détermination des objectifs, à long terme et sur un plan régional (responsabilité centrale);
2. Détermination des politiques, à moyen terme et sur le plan d'une unité forestière. C'est l'aménagement traditionnel;
3. Etablissement de programmes à court terme, très localisés (responsabilité locale d'exécution).

Avec, en plus, un système de contrôle qui permette une adaptation continue de la planification aux trois niveaux, en fonction des changements imprévus (*Goetschin*, 1968).

Cette planification forestière fait appel à une grande quantité de phénomènes. Elle est donc extrêmement compliquée et fait aujourd'hui appel aux techniques de la recherche opérationnelle (*Johnston*, 1966) et de l'analyse des systèmes.

Mais avant de discuter les caractéristiques des modèles actuels de planification, il faut souligner que dans le domaine forestier il y a déjà fort long-

<sup>1</sup> cf. tous les bons auteurs!

temps que l'on utilisait de ces «modèles», représentations simplifiées des phénomènes complexes à imiter. Longtemps, ils ont été tirés de la notion de forêt idéale (norme de futaie jardinée, état d'équilibre, rendement soutenu, etc...). On utilisait le modèle pour savoir de quelle ampleur et de quelle forme était l'écart avec l'état idéal. Mais on ne savait rien de plus sur la meilleure façon de réduire cet écart. Or, on constate que — bien souvent — les forêts sont non seulement éloignées de l'état idéal, mais surtout que l'objectif qui nous importe n'est pas la recherche de l'état idéal.

Il nous faut donc construire de nouveaux modèles (*Thompson, 1966*). Ceux-ci doivent représenter (en les simplifiant) les phénomènes liés à la forêt pour nous permettre de raisonner et de prévoir les conséquences engendrées par une série de causes: L'étude de la réalité permet de construire un modèle; le fonctionnement de ce modèle donne des prévisions d'évolution de la réalité; la constatation de l'évolution réelle permet d'améliorer le modèle, etc... (*Wardle, 1965 B*).

Les résultats fournis par un modèle ne sont pas des décisions, *mais des informations élaborées qui guident la décision*. Ils représentent l'outil technique et économique au service d'une meilleure décision politique (*Heissler, 1965*).

### 3.2 *Quelques définitions et restrictions*

La «planification» comprend des phases d'analyse, de décision et le processus de révision des décisions. La «prospectivité», elle, s'applique à l'analyse des conséquences futures probables de décisions prises aujourd'hui. Pour alléger le texte, nous l'incluons dans la planification, sauf exception explicite.

Au chapitre précédent et à dessein, «l'échéance» des différents niveaux de la planification n'a pas été définie en chiffres. C'est qu'elle varie beaucoup d'un domaine et d'un pays à l'autre. Pour indiquer un ordre d'idées, on peut dire que la planification de la production ligneuse appartient au:

- «court terme», s'il s'agit d'un plan annuel (plan de coupe par exemple);
- «moyen terme», s'il s'agit d'un plan quinquennal ou décennal (plan d'exploitation ou de desserte, fixation de la possibilité d'une forêt, etc...);
- «Long terme», lorsque l'horizon du plan dépasse la décennie (plans régionaux de développement et d'aménagement);
- «très long terme» (on dit encore «élucubration» ou «prophétie») lorsque l'on plante un chêne en prévoyant qu'il sera récolté dans 200 ans. On sent bien qu'ici les outils traditionnels de l'économie ou de l'industrie perdent tout leur sens. Il nous faut élaborer des méthodes spécifiques.

Comme nous le verrons les méthodes de planification et de prospective forestière sont très variées. Pourtant, nous ne traiterons ici que de modèles plus ou moins sophistiqués, ce qui ne veut pas dire que les techniques plus simples, «guides-âne» ou «drillbook» des Britanniques (*Johnston, Grayson,*

*Bradley*, 1967), tables de décision ou «ready reckoners», doivent être oubliées, au contraire. Elles ont une place extrêmement importante dans la pratique, tout particulièrement à l'échelon local (Guide d'aménagement Vaudois 1969). Il est très regrettable qu'elles ne soient pas plus utilisées par les continentaux. Serait-ce parce qu'elles sont difficiles à établir et qu'elles donnent lieu à toute sorte de critiques (du reste, sans rapport avec le but recherché)?

#### 4. Méthodes de planification

##### 4.1 Remarque préliminaire

A la suite des progrès fulgurants de la recherche opérationnelle et de l'informatique ces 15 dernières années, toute une gamme de techniques éprouvées de planification à long terme est à disposition.

Selon l'approche et la technique choisie, mais surtout selon le but recherché, on peut distinguer deux grands groupes de méthodes:

- Celles d'optimisation (algorithmes de décision, technique de programmation linéaire et autres, graphes, etc...);
- celles d'études et d'information (méthodes de contrôle, systèmes intégrés de renseignements, simulation, etc...).

Ces groupements sont toujours un peu arbitraire, mais distinguent d'une part les modèles recherchant d'abord la (ou les) solution(s) optimale(s), et d'autre part ceux qui s'appliquent à donner en premier lieu une meilleure connaissance du système.

##### 4.2 L'optimisation

C'est un outil séduisant, mais souvent dangereux, car il semble fournir une décision: en fonction de l'objectif choisi, un modèle d'optimisation donne la meilleure répartition des moyens pour réaliser cet objectif. Les principaux modèles d'optimisation ont utilisé la programmation linéaire. Partis de l'industrie, ils se sont naturellement appliqués aux problèmes d'approvisionnement en bois des usines (*Wardle*, 1966 A) et aux problèmes de gestion des domaines forestiers de sociétés papetières (*Curtis*, 1961; *Coutu*, *Ellertsen*, 1960). Mais, ils s'appliquent également au calcul de la possibilité d'une forêt «de chez nous» (*Pleines*, 1967) où l'on peut se permettre de distinguer des types de peuplements différents avec différentes sylvicultures (*Loucks*, 1964). La quasi totalité des systèmes opérationnels de planification forestière utilisent la programmation linéaire comme modèle d'optimisation (*Navon*, 1971; *Dargavel*, *Bethune*, 1971). Un grand intérêt de la programmation linéaire est de permettre d'étudier la modification de l'optimum entraînée par une modification d'hypothèse (*Wardle*, 1965 A). Ces «analyses de sensibilité» (*Navon*, *McConnen*, 1967) peuvent conduire à une véritable simulation lorsque l'on pousse assez loin l'étude des paramètres.

Indépendamment des résultats obtenus dans chaque cas, on note deux convergences dans ces études. D'une part, la comparaison de différents

objectifs permet de chiffrer le coût non négligeable du «rendement soutenu»; d'autre part, le fonctionnement du modèle souligne notre insuffisance de données sur les paramètres forestiers et la nécessité d'en obtenir de plus précises (*Kidd, Thompson, Hoepner, 1966*). Ainsi, au fur et à mesure, les modèles s'améliorent-ils en se rapprochant du réel, par exemple en prenant en compte des contraintes aléatoires avec introduction du risque (*Näslund, 1966*).

Toutefois, un grand spécialiste des applications de la programmation linéaire (*Wardle, 1966 B*) ressent bien les limites de cette technique: elle suppose une formulation précise de l'objectif que l'on se donne et une connaissance détaillée des influences réciproques des différents facteurs. Du fait de l'impossibilité actuelle de formuler quantitativement le (ou les) objectif(s) que l'on recherche, et à cause du manque ou de l'imprécision des données disponibles sur l'évolution à long terme des forêts, l'optimalisation apparaît aléatoire dès que l'horizon de planification dépasse le moyen-court terme (soit plus de 5 ans approximativement). Signalons aussi des objections mathématiques à l'application aveugle de la programmation linéaire: dans certains cas, la fonction à optimiser peut présenter plusieurs extrêmes (*Maugé, 1969*). L'algorithme choisit alors le premier extrême (maximum, respectivement minimum) et ignore les autres.

La programmation dynamique (*Bellmann, 1957*) a été explorée par différents chercheurs (*Hool, 1966; Amidon, Akin, 1968*). Une application réussie est la détermination de la répartition spatiale optimale de l'assiette des coupes pour la planification à court et moyen terme (*Risvand, 1971*). Mais pour des horizons temporels plus longs (plus de 10 ans par exemple), la programmation dynamique devient malcommode. Les hypothèses mathématiques (par exemple: retour possible à l'état initial) ne sont pas toujours remplies, les calculs deviennent longs et coûteux, à mesure que le nombre d'alternatives («branches») augmente. Une combinaison de programmation linéaire et de programmation «0—1» pourrait alors être envisagée (*Randall, 1971*).

### 4.3 La simulation

C'est une approche qui permet d'imiter l'occurrence d'un évènement. Issue des problèmes de jeux et de phénomènes aléatoires, la simulation permet d'étudier les conséquences d'évènements, sans attendre que ceux-ci ne se soient réellement passés (*Howell, 1965*). La simulation peut inclure des composantes aléatoires ou non, suivant la nature du problème. Le (ou les) objectif(s) de gestion n'ont pas besoin d'être hiérarchisés a priori, l'évaluation des résultats est dévolue à l'analyste.

A condition d'être dotée d'un modèle dendrométrique réaliste (cf. chap. 5), la simulation est un procédé extrêmement précieux en matière forestière où l'évènement est si lent. Tout naturellement l'a-t-on appliquée au phénomène de la croissance. Les Nord-Américains (*Newnham, Smith, 1964*;

Lee, 1967, Mitchell, 1969; Lin, 1969; Bella, 1970), se sont attachés à la démarche logique qui consiste à prendre l'arbre comme unité de croissance. Ils ont construit des programmes permettant de simuler l'influence de l'écartement à la plantation, puis de la densité du peuplement avec intervention de la mortalité juvénile ou par compétition (Smith, Newnham, Hejjas, 1965). Cette façon de procéder a l'avantage de mettre en lumière les phénomènes réels, et d'autre part, de conduire tout naturellement à l'étude des assortiments (Smith, 1966). Cependant, il ne semble pas que les connaissances actuelles en matière de physiologie et de sociologie forestière permettent d'utiliser ces modèles pour tester l'effet de différentes sylvicultures sur des peuplements réels.

Pour ces raisons, d'autres ont préféré la simulation par peuplement. A partir des peuplements réels, avec la connaissance qu'on en a actuellement, on cherchera à déterminer les effets sur la production et sur le peuplement restant, de différentes politiques sylvicoles. Cela donnera des indications précieuses pour choisir la politique à suivre. A la base, c'est un problème de table de production et il existe maintenant des tables de production construites sur ce principe. Elles donnent la table représentant l'évolution du peuplement en fonction de la sylviculture choisie par l'utilisateur (Decourt, 1969). Au niveau d'une forêt, il existe des programmes, à l'origine très schématiques, mais qui étaient des travaux de pionniers (Gould, O'Regan, 1965), et que l'on enrichit progressivement pour tenir compte de l'état du peuplement, de celui de la station, des possibilités d'accès, de l'influence de la sylviculture, des exploitations, des catastrophes, etc... (O'Regan, 1965). En particulier, il existe un remarquable programme de simulation du service forestier des Etats-Unis qui introduit l'éclaircie et la mortalité avec une sylviculture et une croissance pouvant évoluer au cours du temps (U. S. Forest Service 1966; Larson, Goforth, 1970).

Bien entendu, la simulation n'est pas limitée à ce domaine. Le problème inverse qui est de savoir la composition d'une coupe en fonction de diverses hypothèses de structure du peuplement coupé, a été étudié par simulation (Newnham, 1966 et 1970). Un modèle de simulation englobant non seulement la production ligneuse, mais aussi les aspects financiers de l'entreprise, a été développé en Ecosse (Philipp, 1971; Sayers, 1971). On a également simulé le fonctionnement du marché des bois (Beuter, 1965). Il semble donc que dans un premier temps la simulation nous permette de constater et de comprendre ce qui se passe, sans avoir encore choisi d'objectifs bien définis (O'Regan, 1965). Elle peut alors «mener vers l'optimisation par une meilleure définition des alternatives» (Smith, 1966) et des objectifs (Kilkii, 1970; Grevatt, 1970).

#### 4.4 Modèles économiques divers

Il en existe autant qu'il existe de problèmes et d'économistes à penchants mathématiques! Les modèles d'analyse marginale (Chappelle, Nelson, 1964)

permettent une optimisation (en fait la programmation linéaire est un raffinement mathématique de l'analyse marginale). Les *modèles d'input-output* peuvent être utilisés pour mesurer l'influence de certains facteurs, par ex. le tourisme sur l'économie d'une région — à court terme il est vrai — (Kennedy, 1966; Gamble, 1966). Une intéressante évaluation économique de diverses politiques de plantation de *Pinus contorta* a été entreprise en Irlande (McConnen et Amidon, 1970). Bien que le nombre d'alternatives soit limité (5 variables présentant 2 à 4 différents niveaux d'activité), le nombre total de résultats à évaluer s'élève à 14.256, lorsque l'on inclut 4 classes de fertilité, 3 catégories de prix et 6 à 10 différentes révolutions. L'on comprend alors les limitations d'une telle approche.

Un modèle original étudie la révolution et l'éclaircie sous l'angle de la durée de la vie d'un équipement et de sa politique de réparation et d'entretien (Näslund, 1968).

Il existe d'autres chemins possibles qui n'ont pas encore été explorés. Les applications industrielles peuvent nous fournir de précieux renseignements à cet égard. Mentionnons en passant l'enrichissement que les «*jeux d'entreprise*» peuvent apporter à l'enseignement, en aménagement en particulier (Bare, 1969). Enfin, les applications des «*théories de décision*» n'ont pas encore réussi — semble-t-il — en matière forestière (Thompson, 1968).

#### 4.5 L'étude des systèmes

Tous les modèles présentés ci-dessus cherchent à résoudre un problème particulier après l'avoir extrait de son contexte général. Une certaine réduction ou simplification du problème est certes toujours nécessaire, mais pas sans danger. L'analyse de système (Boulding, 1956; Christiansen, 1967, 1968) cherche à fournir une meilleure connaissance des phénomènes étudiés en analysant les relations entre les composantes significatives du processus.

En phraséologie technocratique, le «système» doit comprendre tous les «facteurs» sur lesquels le gestionnaire peut exercer une certaine influence (ou «contrôle»). «L'environnement» du système contient, lui, tous les facteurs qui sont hors de la sphère d'influence du gestionnaire (Howard, 1967).

L'analyse de système est donc une approche plus ou moins générale et c'est le point de vue du planificateur qui est déterminant. Le modèle du système tient compte des objectifs à atteindre, des facteurs influençables et de son environnement. En particulier, c'est ainsi que l'on peut faire intervenir les différentes fonctions de la forêt. On peut se servir de techniques d'optimisation ou de simulation ou de tout autre modèle quantitatif. Le modèle, quel qu'il soit, est revu en fonction des changements survenus dans le temps (processus de révision et d'adaptation). Un remarquable exemple de cette approche à l'échelon national est donné par le plan de gestion de la Forestry Commission (Wardle, 1970).

En Suède, fonctionne depuis 5 ans pour le compte d'une société industrielle forestière un système de gestion intégrée qui procède du même esprit

et qui en révèle tout l'intérêt (Nordin, 1970). La planification possède trois niveaux: 5 ans, 1 an, 1 mois, et couvre les coupes, le transport et la transformation. Elle opère par une série de sous-systèmes. Et on constate que les deux points essentiels à une planification efficace sont d'une part la bonne représentation des relations entre les sous-systèmes, et d'autre part, la qualité des informations de départ ou de contrôle. La nature des modèles employés est secondaire (Lönner, 1968).

Si l'analyse de système est le nec plus ultra des méthodes de gestion scientifique, elle nécessite des moyens en argent et en recherches qui dépassent peut-être ceux disponibles pour la gestion de forêts peu étendues d'Europe Centrale (?).

## 5. L'art de faire un modèle

### 5.1 Introduction

Quelle que soit l'approche choisie pour planifier à long terme, le facteur crucial de succès est constitué par l'exactitude avec laquelle le modèle utilisé réussit à représenter la réalité. Les applications quasi routinières de la programmation linéaire (par exemple, dans le domaine de l'industrie pétrochimique ou dans l'agriculture) attestent du succès incontestable des méthodes de décision en planification à court terme (moins d'un an en règle générale).

Un modèle réaliste de planification ou de prospective à long terme (10 ans et plus) est par contre beaucoup plus difficile à mettre sur pied. Dans le domaine forestier, certaines hypothèses qui y sont liées sont trop «héroïques» pour convaincre les praticiens (par ex. l'hypothèse avancée en calculant la valeur actualisée que coûts et valeurs unitaires restent constants pendant la révolution et pour toutes les révolutions suivantes...). Souvent les données dendrométriques sont insuffisantes (handicap des Nord-Américains par rapport aux Européens, bénéficiant de dispositifs d'essais couvrant plusieurs décennies...). Aussi, les modèles décrits dans la littérature forestière restent-ils en grande majorité hypothétiques et inapplicables.

En ce qui concerne la croissance des peuplements forestiers (production ligneuse), divers procédés ont été expérimentés, qu'il peut être intéressant de comparer.

### 5.2 Modèles de «croissance biologique continue»

Les «lois» de croissance observées sur les membres d'une population (loi de Backman par ex.) sont appliquées à l'ensemble de la population (peuplement par exemple): «la forêt constitue un écosystème dynamique, transformant et accumulant l'énergie interactive» (Leary, 1970)! L'hypothèse de développement continu des peuplements forestiers permet d'utiliser un système d'équations différentielles pour définir l'évolution du système. Au Japon, l'emploi de chaînes de Markov (Suzuki, 1970) permet d'inclure des phénomènes à caractère aléatoire.

Ces formulations mathématiquement raffinées permettent en théorie de décrire très élégamment le processus de développement continu. Mais en vérité, la croissance des peuplements forestiers n'est ni continue, ni entièrement accumulative (Johnston, Bradley, 1967). Il faut tenir compte des interventions humaines (coupes d'éclaircie par exemple) et des accidents de parcours (chablis entre autres), qui rendent aléatoire l'application pratique de ces modèles.

### 5.3 Modèles empiriques où l'arbre sert d'unité de croissance

Ils se fondent sur des relations quantifiées entre la croissance de l'arbre d'une part et son milieu (arbres environnants inclus) d'autre part. Le problème de la concurrence entre arbres y est crucial et différentes approches ont été explorées à ce sujet.

Mitchell (1969) travaillant aux Etats-Unis avec l'épinette blanche (*Picea glauca*) relie la croissance et la compétition à l'élongation annuelle des pousses.

Le pionnier des modèles d'arbre, J. H. G. Smith (1963) et ses élèves à Vancouver, se sont inspiré du «facteur de compétition des houppiers» (Krajicek, Brinkman et Gingrich, 1961) et de la relation linéaire existant entre le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) et le diamètre des houppiers d'arbres ayant poussé à l'état isolé. Ainsi, Newnham (1964) évaluait la compétition entre arbres en classant les arbres selon leur diamètre et comparant ensuite le rang d'un arbre donné avec celui de ses voisins. Puis l'accroissement en diamètre, basé sur celui des arbres isolés, était réduit en fonction de la compétition calculée. Lee (1967) et Lin (1969) utilisent des méthodes semblables mais la technique d'évaluation de la compétition varie. Par exemple, Lin la calcule par balayage, à l'aide de l'angle de vue entre deux arbres se concurrençant (angle  $q$  tel que :  $\text{tg } q = \text{somme des deux diamètres/distance entre les 2 arbres}$ ).

Tout un système d'équations doit être construit, afin de rendre le modèle complet et cohérent. Ainsi: Lee (1967) travaillant avec le «*Pinus contorta*» calcule l'accroissement radial à l'aide d'une régression du diamètre (dhp) sur l'âge, avec réduction appropriée en fonction de la compétition spatiale. Une autre régression permet de calculer le diamètre du houppier en fonction du diamètre (dhp) en tenant également compte de la compétition. La hauteur de la tige est estimée à partir du diamètre (dhp) et de la surface terrière du peuplement. Les volumes individuels sont calculés selon le rapport du volume à la surface terrière à différentes hauteurs.

Pour *Tsuga heterophylla*, toujours en Colombie Britannique (Osborn, 1968), parmi de nombreuses variables testées, seuls le diamètre actuel et l'accroissement radial passé sont à retenir pour expliquer l'accroissement futur d'un arbre donné.

Dans le même contexte, le problème de la mortalité a beaucoup occupé Smith et ses élèves (Smith, Newnham, Hejjas, 1965). Les études les plus

récentes à ce sujet (*Pailié, 1971*) montrent qu'on peut exprimer la probabilité de mort d'un arbre (suppression et dépérissement) en fonction de l'essence et de la distribution des tiges selon le diamètre (dhp).

Au début, la distribution spatiale était limitée à des espacements géométriques (carrés ou rectangles). Aujourd'hui, différentes formes de distribution spatiale peuvent être utilisées (*Newnham, Maloney, 1970*). On a récemment appliqué à ce problème de la répartition spatiale un outil mathématique puissant développé pour les études de répartition de minerai: la théorie des variables régionalisées (*Poissonet, 1970*).

En dernier lieu, ces modèles doivent être «étalonnés», afin que leur comportement soit conforme à la réalité. Ce travail est délicat et le choix des peuplements-témoins (placettes d'essai) difficile. Les effets du traitement passé sur la croissance de la tige, sa capacité de réaction à un brusque changement dans son environnement (dégagement par exemple), le potentiel physiologique individuel de croissance, l'influence du mélange, sont quelques-unes des inconnues à résoudre ou à tester pour leur signification. Le «passage» de modèles déterministes de prévision à des modèles aléatoires doit aussi être envisagé, avec le cortège de complications que cela implique (*Dress, 1968*).

En définitive, ces approches ingénieuses, et en tout point remarquables, ouvrent de nouveaux horizons aux études de production et à la dendrométrie. En pratique, ces modèles exigent une somme de connaissances dendrométriques exprimables en termes mathématiques qui est encore loin d'être réunie, en Europe pour le moins. Leur application exigera donc des années de recherches et de synthèse, qui seraient d'ailleurs entièrement justifiées.

#### 5.4 Modèles empiriques où le peuplement sert d'unité de croissance

Ces modèles ont l'importante chance de pouvoir utiliser la majorité des résultats d'expériences disponibles actuellement sur le sujet tant dans le cadre de la recherche que de l'expérience de terrain.

Ces résultats se rapportent généralement au peuplement (par exemple, tables de production, contrôle); or, les caractéristiques simples d'un peuplement synthétisent souvent correctement les interactions complexes entre les arbres.

D'autre part, les modèles fondés sur les peuplements sont les plus proches des raisonnements traditionnels des gestionnaires forestiers. Nous distinguerons plusieurs cas:

— Les valeurs des paramètres sont données sous forme de *tables* à une ou plusieurs entrées (par exemple, le volume sur pied à des âges donnés et pour différentes classes de fertilité peut être indiqué à l'aide d'une table à 2 entrées). C'est la forme la plus simple de représentation mathématique. C'est aussi la plus encombrante! Elle permet d'introduire les données sans lissage, d'où la possibilité d'obtenir des estimés précis et non biaisés. Mais le degré d'exactitude de la prédiction reste inconnu. Cette méthode a été utili-

sée dans des projets aussi importants que «Timber RAM» aux Etats-Unis, un système de planification à long terme utilisant la programmation linéaire (Navon, 1971).

— L'accroissement est prédit à l'aide d'une *formule mathématique* (modèle de régression, par ex.). Ainsi le jeu d'entreprise de Purdue (Bare, 1969) estime l'accroissement en fonction de la surface terrière résiduelle.

Les chiffres servant à établir les tables, ou les formules proviennent de données très différentes:

- résultats d'inventaires isolés ou répétés;
- résultats d'essais (placettes permanentes ou non) sous forme brute, regroupée ou même lissée;
- tables de production (par ex. Maugé, 1969).

Il est difficile d'émettre un jugement valable d'une façon générale à propos de ces différentes approches. Les données d'inventaires ont l'avantage de mieux coller à la réalité locale, mais leur «véracité» peut être mise en doute quand l'influence du traitement passé ne peut être isolée. La valeur des résultats d'essai est proportionnelle à la qualité de l'expérimentateur et de son champ d'essai! Il en est de même pour les tables de production, synthèse extrêmement utile des connaissances dendrométriques en matière de production. Lorsqu'elles sont exprimées sous forme mathématique, la qualité de «l'étalonnage» a une grande importance (Decourt, *Lemoine*, 1967; *Assmann, Franz*, 1965).

Sous réserve de bien définir les domaines de validité, cette dernière méthode est plus souple d'emploi. Les tables de production commencent d'ailleurs à se présenter sous cette forme de «fonctions de production» (Decourt, 1969). Et les nouveaux outils mathématiques, comme la théorie des variables régionalisées, s'adaptent bien à une telle formulation puisqu'elle permet de manipuler l'accroissement d'un peuplement comme fonction du peuplement et de la station en un point donné (*Matheron*, 1970).

Dans notre travail, pour des raisons pratiques, nous avons opté pour les tables de production, modifiées en fonction du mélange et du degré de couvert (adaptation à la surface terrière critique). Pour plus de détails à ce sujet, voir l'article des auteurs dans le numéro suivant du Journal forestier suisse.

## 6. Conclusion

Comme on a pu le constater, tant les méthodes de planification que les bases des modèles sont très différentes. Seule l'expérience de ces prochaines années permettra de séparer l'ivraie du bon grain et indiquera quelle approche fera son chemin dans la pratique.

Cette étude révèle cependant des besoins impératifs et urgents:

- nécessité de redéfinir avec précision les objectifs de la gestion forestière;
- nécessité, en conséquence, «de mettre au point de nouveaux concepts de gestion» (FAO/CEE, 1970);

- nécessité d'un effort de recherche mieux orienté vers la fourniture des connaissances dont on a ressenti le manque;
- subordination de la récolte des données d'aménagement, et en particulier, de l'inventaire forestier, aux besoins de la planification (Dress, Hall, 1965). (En Suisse, par exemple, jusqu'à maintenant, c'est le contraire qui se passe.) La récolte devra souvent être élargie à la collecte d'autres renseignements.

Ce qui est, en fin de compte, déterminant dans le choix de la méthode et du modèle (ainsi que dans le succès de la planification), c'est leur adaptation aux buts recherchés et aux moyens à disposition (personnel et ses qualifications, *données numériques disponibles*, temps et argent, calculatrice). Telle a été notre préoccupation.

### Zusammenfassung

Das Problem der Erfassung der langfristigen Folgen heutiger waldbaulicher Entschlüsse hat die Autoren veranlasst, 1968 die bestehenden Methoden der langfristigen forstlichen Planung näher zu studieren. Die Ergebnisse dieser Studie und ihre Folgerungen für die Methodik, Modellbildung und den Planungsprozess sind für mitteleuropäische Verhältnisse (mosaikartige Wälder, «intensive» Bewirtschaftung) besprochen.

Zuerst müssen folgende Punkte besonders hervorgehoben werden:

- Notwendigkeit einer zeitlichen und räumlichen Hierarchie der Probleme;
- Wichtigkeit der langfristigen Betrachtung in der Forstwirtschaft.

Die zur Verfügung stehenden *Planungsmethoden* sind sehr mannigfaltig. Heute werden die Linearprogrammierung und die Simulation am meisten erwähnt. Die erste hat offensichtliche Vorteile bei verschiedenen kurzfristigen Problemen. Für langfristige Betrachtungen bringt diese Technik erhebliche Schwierigkeiten mit sich (Fehlen geeigneter Daten, unzulässige Vereinfachungen des Systems und besonders der Bewirtschaftungsziele usw.). Die Simulation ist nicht so einfach anzuwenden. Es gibt kein «Standard-Programm», die Formulierung des Prozesses ist oft kompliziert. Der Planer muss aber die Entschlüsse selbst fassen, und das ist ein wesentlicher psychologischer Vorteil. Es gibt noch eine Menge anderer ökonomischer Methoden (dynamische Programmierung, Integer-Programmierung, Input-Output-Modelle usw.), welche mit mehr oder weniger Erfolg angewendet worden sind. Bei komplexen Sachlagen müssen unbedingt die Grundsätze der Systemanalyse benützt werden.

Ein *Modell* muss dann, unabhängig von der gewählten Planungsmethode, entwickelt werden. Modelle, welche ein kontinuierliches Wachstum vorsehen, sind mathematisch lockend. Für praktische Zwecke sind sie noch nicht geeignet (Auf-treten plötzlicher Ereignisse, nichtkontinuierliches Wachstum bei menschlichen Eingriffen usw.). Modelle, die auf das individuelle Baumwachstum zurückgreifen, sind sehr interessant. Sie haben dem Studium der komplexen Vorgänge der Baum- und Bestandeskonkurrenz neuen Schwung gegeben. Leider fehlen darüber in Zentraleuropa genügend greifbare Daten. Bestandesmodelle sind zwar weniger

raffiniert und sind empirisch. Sie bilden aber heute für Zentraleuropa den besten praktischen Weg der Fortschreibung (zahlreiche langfristige Versuchsflächen, gut fundierte Studien über Holzproduktion und über die Parameter, die sie beeinflussen).

Aus diesen Gründen und weil es unserer Zielsetzung (Erfassung langfristiger Folgen heutiger waldbaulicher Entschlüsse) am besten entsprach, haben wir eine Simulationsmethode und ein Bestandeswachstumsmodell entwickelt (siehe Aufsatz in der nächsten Nummer der SZF).

- Schliesslich gibt es heute ein dringliches Bedürfnis für
- klare Definitionen der Bewirtschaftungsziele;
  - Waldinventuren, welche den Bewirtschaftungsbedürfnissen entsprechen (und nicht umgekehrt . . .);
  - mehr gezielte ertragskundliche Arbeiten mit wirtschaftlicher Betrachtung («teamwork», bessere Erfassung der Wachstumsparameter, wirtschaftliche Würdigung derselben usw.).

### Bibliographie

- Amidon, E. L., et Akin, G. S.:* Dynamic programming to determine optimum level and growing stock. *Forest Science*, Vol. 14 (3): 287—291, 1968
- Assmann, E.:* Waldertragskunde. BLV, München, 1968
- Assmann, E., und Franz, F.:* Vorläufige Fichten-Ertragstabellen für Bayern. *Forstw. Centralblatt*, Vol. 84 (1/2): 1—68, 1965
- Anonyme:* Guide d'aménagement forestier du canton de Vaud. Lausanne, 1969
- Auer, C., und Wieland:* Ergebnisse von Durchforstungsversuchen 1930 bis 1965 im Sihlwald (H. Leibundgut). Interner Bericht Institut für Waldbau, ETH, Zürich, 1968
- Badoux, E.:* Tables de production pour l'Épicéa, le Sapin et le Hêtre. Institut fédéral de recherches forestières, Birmensdorf/Zürich, 1964 et 1966
- Badoux, E.:* De l'emploi des tables de production. Note polycopiée. Chaire d'aménagement de l'E.P.F., Zurich, 1966
- Bare, B. B.:* User's guide for the Purdue University forest management game. Purdue University, Department of forestry and conservation, W. Lafayette, Indiana, 1969
- Bartet, J. H., et Besson, P.:* Un exemple forestier de cartographie par ordinateur. *Journal forestier Suisse*, septembre 1968
- Bartet, J. H., et Auer, L.:* Construction d'un modèle d'évolution en surface terrière. Rapport interne au service cantonal des forêts, Lausanne, 1969
- Bartet, J. H., et Pleines, W. E.:* Simulation de l'évolution de forêts régulières en fonction de leur traitement sylvicole. *Journal forestier suisse*, octobre 1972
- Bella, J. E.:* Simulation of growth yield and management of aspen. University of British Columbia, faculty of forestry, PhD thesis, 1970
- Bellmann, R.:* Dynamic programming. Princeton University Press, 1957

- Beuter, J. H.*: An optimum pricing stumpage appraisal program. In: Proceedings, IBM seminar on operation research in the forestry products industry, San Francisco, 1965
- Boulding, K. E.*: General systems' theory — the skeleton of science. *Management Science*, Vol. 2 (3): 197—208, 1956
- Chappelle, D. E., and Nelson, T. C.*: Estimation of optimum stocking levels and rotation ages of loblolly pine. *Forest Science*, Vol. 10: 471—502, 1964; Vol. 11: 384, 1965
- Christiansen, N. B.*: Forestry in land resources management: the systems view. Proceedings, meeting CIF and SAF, Ottawa 1967, 16 p., 1967
- Christiansen, N. B.*: Forest resource management as a system. *Journal of forestry*, Vol. 66 (10): 778—781, 1968
- Coutu, A. J., and Ellertsen, B. W.*: Farm forestry planning through linear programming. Report no. 236—600, Tennessee Valley Authority, 1960, 31 p., 1960
- Curtis, F. H.*: Linear programming the management of a forestry property. *Journal of forestry*, Vol. 60: 611—616, 1962
- McConnen, R. J., and Amidon, E. L.*: A computer based approach for evaluating plantation alternatives. A case study of *Pinus contorta* in Ireland. *Forestry*, Vol. 43 (1): 31—43, 1970
- Dargavel, J. B., and Bethune, J. E.*: The use of operations research techniques by industrial forest enterprises in the Southern USA. IUFRO meeting, Gainesville, Florida 1971 (unpublished)
- Decourt, N., et Lemoine B.*: Le pin maritime dans le Sud-Ouest de la France. Tables de production provisoires. *Annales des Sciences forestières*, Vol. 24 (1), 1967, et Vol. 26 (1), Nancy, 1969
- Decourt, N.*: Le pin sylvestre et le Pin Laricio de Corse en Sologne. Tables de production provisoires et méthodes utilisées pour les construire. *Annales des Sciences forestières* 22 (2), Nancy, 1965
- Decourt, N.*: Le douglas dans le nord-est du Massif Central. Tables de production provisoires. *Annales des Sciences forestières* no 24, Nancy, 1967
- Decourt, N.*: Programme «SYLVIE». Tables de production à sylviculture variable. Notice interne. Centre National de la recherche forestière, Nancy, 1969
- Decourt, N.*: Comparaison des équations de regression. Application au cubage des peuplements d'épicéa commun. *Annales des Sciences forestières* no 28 (1), p. 51—58, Nancy, 1971
- Delvaux, J.*: A propos de l'éclaircie des hêtraies en forêt de Soignes. Les aspects qualitatifs. Station de recherches des Eaux et Forêts, Groenendaal-Hoeilaart. Travaux Série B no 30, 1964
- Delvaux, J.*: Table de production. Epicéa. Note interne. Station de recherches des Eaux et Forêts, Groenendaal-Hoeilaart, 1968
- Delvaux, J.*: Peuplements purs ou mélangés. *Bull. Soc. Royale forestière de Belgique*, 78e année (4), 1971
- Dress, P. E., and Hall, O.*: The mensurational implications of the use of operations research in forest management. Proceedings, annual meeting, Society of American Foresters, 1965

- Dress, P. E.*: Stochastic models for the simulation of even-aged forest stands proceedings. Annual meeting in Philadelphia, Society of American Foresters, 1968
- Duerr, W. A.*: Guides to land management, an integrated operations research project with a system's view point. Forestry Commission Bull. 44, London, 1971
- FAO/CEE*: Rapport sur le séminaire sur l'utilisation des méthodes de traitement électronique de l'information dans la foresterie et les industries forestières. Vienne, janvier 1970
- Flury, P.*: Tables de production. Mitt. der Schweiz. Anstalt für Forstwesen, Zurich, 1912
- Fornstad, B. F.*: Linear programming system of the Swedisch Forest Service, Forestry Commission, Bull. 44, London, 1971
- Gamble, H. B.*: An input-output model incorporating impact analysis to evaluate the resources and economy of a rural Appatachian community. PhD thesis. Pennsylvania State University, 1966
- Goetschin*: Cours sur la planification à long terme dans l'entreprise. Université de Lausanne H.E.C. Polycopie («Place de la simulation dans la P.L.T.»), 1968
- Gould, E. M., and O'Regan, W. G.*: Simulation, a step toward better forest planning. Harvard Forest Paper 13, Petersham, Mass., 1965
- Gregory, G. R.* and alii: Forecasting in forestry and timber economy: Preliminary report. IUFRO, section 31, working group 4. Folia Forestalia 101, Helsinki, 1971
- Grevatt, J. G.*: The use of simulation models in forest management. Communication au séminaire FAO/CEE sur l'utilisation de l'informatique en foresterie. Vienne, janvier 1970
- Hool, J. N.*: A dynamic programming Markov chain approach to forest production control. Forest Science monograph 12, 1966
- Horisberger, D.*: L'interprétation des résultats d'inventaire par échantillonnage dans le canton de Vaud. Journal forestier suisse, Mars/Avril 1969
- Howard, R. A.*: System analysis in forest resource planning. Winter meeting, Society of American Foresters, New England Section, 1967
- Howell, R. S.*: Simulation by Monte Carlo Methods. In: Mathematical models in forest management. Proceedings of the meeting at University of Edinburgh. Forestry Commission, Forest Record no. 59, 1965
- Johnston, D. R., and Bradley, R. T.*: Development in yield control and inventory in British forestry. Forestry Vol. 37 (1): 21—30, 1964
- Johnston, D. R., Grayson, A. J., and Bradley, R. T.*: Forest planning. Faber and Faber, London, 1967
- Joly, A., et Pleines, W. E.*: Table d'assortiments pour le hêtre. Dans: Guide d'aménagement forestier du canton de Vaud, Lausanne, 1970
- Kennedy, J. H. Jr.*: The economic impact of outdoor recreation activities on a rural area economy: an input-output approach. M. F. thesis, Pennsylvania State University, 1966
- Kidd, W. E., Tompson, E. F., and Hoepner, P. H.*: Forest regulation by linear programming — a case study. Journal of forestry, Vol. 64 (9): 611—613, 1966

- Kilkii, Pekka*: Le traitement électronique de l'information dans l'établissement d'un budget de coupe (en Finlande). Communication au séminaire FAO/CEE sur l'utilisation de l'informatique en foresterie. Vienne, janvier 1970
- Krajicek, J. E., Brinkman, K. A., and Gingrich, S. F.*: Crown competition, a measure of stand density. *Forest Science*, Vol. 7 (1): 35—42, 1961
- Larson and Goforth*: «TRAS», a computer program for the projection of timber volume. US Forest Service, Agriculture Handbook no. 377, June 1970
- Leary, R. A.*: System identification principles in studies of forest dynamics. North Central Forest Experience Station. USDA Forest Service. Research Paper NC 45, 1970
- Lee, Y.*: Stand models for Lodgepole pine and limits to their application. University of British Columbia, Faculty of forestry, PhD thesis, 1967
- Lin, J. Y.*: Growing space index and stand simulation of young western Hemlock in Oregon. DF thesis, Duke University, 1969
- Lönner, Göran*: A system for short-term planning of logging, storing and transportation of wood. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten no. 6 (logging research foundation), Stockholm, 1968
- Loucks, D. P.*: The development of an optimal program for sustained-yield management. *Journal of forestry*, Vol. 62: 485—490, 1964
- Matheron, G.*: La théorie des variables régionalisées, et ses applications. Cahiers du centre de Morphologie mathématique de Fontainebleau, fascicule 5. Ecole des Mines de Paris, 1970
- Maugé, J. P.*: Construction d'un modèle de parcelle de pin maritime dans la région landaise. Association Forêt-Cellulose. Compte rendu d'activité en 1969
- Mitchell, K. J.*: Simulation of the growth of even-aged stands of white spruce. Unpublished PhD dissertation, Yale University, 1967
- Morgan, J. F., and Bjora, E.*: An enterprise model for corporate planning. Forestry Commission, Bull. 44, 1971
- Moosmayer, H. U.*: Interprétation de données de l'aménagement forestier pour l'évaluation de la productivité des stations démontrée à l'exemple de peuplements purs d'épicéa du Nord du Wurtemberg. *Mitteilungen des Vereins für forstliche Standortskunde und forstliche Pflanzenzüchtung*, Nr. 16, Stuttgart, 1967
- Näslund, B.*: A model of capital budgeting under risk. *Journal of Business of the University of Chicago*, Vol. 39 (2): 257—271, 1966
- Näslund, B.*: Simultaneous determination of optimal repair policy and service life. Reprint, Dept. of Business Administration, University of Stockholm, 1968
- Navon, D. I., and McConnen, R. Y.*: Evaluating forest management policies by parametric linear programming. USDA Forest Service, Research Paper PSW 42, 1967
- Navon, D. I.*: Timber RAM, A long-range planning method. USDA Forest Service, Research Paper PSW 70, 1971
- Navon, D. I.*: Programming the management of commercial forest land. IUFRO meeting, Gainesville, Florida, 1971 (unpublished)

- Newnham, R. M., and Smith, J. H. G.:* Development and testing of stand models for Douglas fir and lodgepole pine. *Forestry Chronicle*, December 1964
- Newnham, R. M.:* The development of a stand model for Douglas fir. University of British Columbia, Faculty of forestry, PhD thesis, 201 p., 1964
- Newnham, R. M.:* A simulation model for studying the effects of stand structure on harvesting pattern. *Forestry Chronicle*, Vol. 42 (1), 1966
- Newnham, R. M., Maloney, G. T.:* The generation of hypothetical forest stands for use in simulation studies. Forest management Institute, information report FMR-X-26, Ottawa, 1970
- Newnham, R. M.:* A simulation model for mechanized thinning. FAO/ECE/ILO, committee on forest working techniques and training of forest workers, Geneva, 1969
- Nordin, Jörgen:* On the coordination of forestry and the forest industry by means of Electronic Data Processing. Communication au séminaire FAO/CEE sur l'utilisation de l'informatique en foresterie. Vienne, janvier 1970
- O'Regan, W. G.:* A simulation approach to forest management. In: Proceedings, IBM seminar on Operations Research in the forest products industry. San Francisco, 1965
- Osborn, J. E.:* Economics of spacing control. University of British Columbia, Faculty of Forestry, 1968
- Paillé, G.:* Use of simulation in forecasting stand growth and mortality. *Forestry Commission Bull.* 44, 1971
- Pardé, J.:* Dendrométrie. Edition de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 1961
- Philip, M. S.:* The use of simulation in the management of private forest estates in Scotland. IUFRO meeting Gainesville, Florida 1971 (unpublished).
- Pleines, W. E.:* Systèmes et programmation linéaire, possibilité et plans de coupe. *Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen*, Vol. 118 (9), 1967
- Poissonet, M.:* Rapport de stage (optimalisation d'un inventaire par la théorie des variables régionalisées). Station de Biométrie, Centre National de la Recherche forestière, Nancy, juin 1970
- Prodan, M.:* Wirtschaftstheoretische Begründung der Waldwertschätzung. *Forst- und Holzwirt*, Vol. 24 (13): 477—481, 1969
- Randall, R. M.:* Planning an annual thinning program with linear and 0—1 integer programming. IUFRO meeting, Gainesville, Florida, 1971 (unpublished)
- Risvand, J.:* Dynamic programming for determining optimum cutting policies. *Forestry Commission, Bull.* 44, 1971
- Robert, J. F.:* Aménagement et politique forestière. *Journal forestier suisse*, février 1969
- Robertson:* Actes du congrès forestier mondial. Madrid, 1967
- Service cantonal des forêts, Lausanne:* Guide d'aménagement forestier. Publication interne. 1969

- Schöpfer, W., und Höfle, H.:* Unternehmensforschung (Operations Research). Eine Bibliographie der Anwendungen in Forst- und Holzwirtschaft. Mitteilungen der Baden-Württembergischen forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Freiburg i. Br., 1970
- Smith, J. H. G.:* Analysis of crown development can establish biological and economic limits to growth of trees and stands. Commonwealth Forestry Review, Vol. 42 (1): 27—33, 1963
- Smith, J. H. G.:* Simulation stand growth can improve decision making. Meeting of operations research group, Vancouver BC, 1966
- Smith, J. H. G., Newnham, R. M., and Hejas:* Importance of distribution and amount of mortality can be defined by simulation studies. Commonwealth Forestry Review, Vol. 44 (3): 188—192, 1965
- Sayers, R.:* A simulation program for comparing management policies on a private estate in Scotland. Forestry Commission, Bull. 44, 1971
- Suzuki, T.:* Forest transition as a stochastic process. IUFRO meeting, Section 25, Bir-mensdorf, Switzerland, 1970
- Thompson, E. F.:* The theory of decision under uncertainty and possible applications in forest management. Forest Science, Vol. 14 (2): 156—163, 1968
- University of Georgia:* A computerized forest management planning system. University of Georgia, School of forest resources, Athens/Georgia, 61 p., 1969
- Vaux, H. J.:* Goal Setting: meeting ground of management and policy. Journal of forestry, October 1968
- Vuokila, Y.:* Tables de production. C.I.F.F. 632, Helsinki, 1967
- Wardle, P. A.:* A. Linear programming studies. In: Mathematical models in forest management. Proceeding of meeting at the University of Edinburgh. Forestry Commission, Forest record no. 59, 1965
- Wardle, P. A.:* B. Forest management and operational research, a linear programming study. Management Science, Vol. 11 (10), 1965
- Wardle, P. A.:* The application of linear programming to problems of timber transport — scheduling the supply to a pulpmill. FAO/ECE/MO study group on methods and organization of forest work, Geneva, 1966
- Wardle, P. A.:* Operational research and the design of a management control system for a forestry enterprise. Forestry Commission, Bull. 44, 1971