

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 118 (1967)
Heft: 9

Artikel: Systèmes et programmation linéaire, possibilité et plans de coupe
Autor: Pleines, W.E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764307>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.05.2025

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

Systèmes et programmation linéaire, possibilité et plans de coupe

par W. E. Pleines, C. I. P., Montréal, Canada

Oxf. 6

1. Introduction

La « possibilité » — La quantité de bois qui peut être coupée chaque année dans une forêt — est d'une importance primordiale pour le propriétaire forestier, le sylviculteur et l'utilisateur de produits ligneux. La possibilité fixe un plafond au revenu dérivé de la forêt, elle influence le développement à long terme des boisés, et elle limite l'offre en bois. La possibilité est étroitement liée au plan de coupe. Ils reflètent la politique de gestion. En définitive, ils conditionnent le succès de l'entreprise forestière. Il est donc essentiel que la possibilité soit calculée correctement et que le plan périodique de coupe soit établi d'une façon optimale.

« La programmation linéaire », une technique mathématique utilisée depuis des années dans certaines industries (Naylor et Byrne, 1963), consiste à maximiser (ou minimiser) une fonction linéaire de profit (respectivement de coût), tout en respectant les contraintes du problème, exprimées sous forme d'inéquations linéaires. Or « un plan périodique de coupe » consiste à allouer des quantités limitées de main-d'œuvre et de capitaux (peuplement, argent, machines) de sorte à atteindre un certain but (par exemple : maximisation du revenu), tout en tenant compte de contraintes existantes (telle celle du rendement soutenu). La possibilité en découle alors directement.

Le but du présent article n'est pas d'expliquer les bases mathématiques de la programmation linéaire (Dantzig, 1963). Il essaye plutôt de montrer comment cette technique peut être utilisée avec grand profit dans le cadre d'un « système de gestion », où les problèmes sont étudiés et résolus solidairement et harmonieusement, en fonction des objectifs de gestion.

En particulier, l'article cherche à :

1. rappeler quel est le rôle et la place du plan de coupe et de la possibilité dans la planification forestière.
2. expliquer à l'aide d'un exemple fictif comment la programmation linéaire peut être utilisée pour préparer un plan de coupe et calculer la possibilité.
3. montrer les avantages et difficultés inhérentes à la méthode, et mentionner les améliorations possibles.

2. Méthodes traditionnelles de calcul de la possibilité

A ce jour, il existe grand nombre de méthodes empiriques.

Certains calculent la possibilité fort simplement, en se basant sur l'accroissement courant de la forêt et le matériel sur pied, et en la comparant à un état idéal ou « normal ». Mais il n'est pas facile de déterminer objectivement de combien la possibilité devrait dévier de l'accroissement courant.

En forêt équienne, d'autres se servent de la distribution des classes d'âge, comparée à nouveau à un état « normal ». Après avoir choisi une période de transition, on calcule la quantité de bois nécessaire à « régulariser » la forêt et à entreprendre les coupes d'éclaircie. Au lieu des classes d'âge, on se sert parfois de la distribution par catégories de diamètre, ou du matériel sur pied, etc. Il n'en reste pas moins que la durée de la période de transition est choisie arbitrairement et que le but à atteindre, la forêt « idéale », reste un mythe que l'on ne cherche pas à évaluer économiquement. Ces méthodes ont donc leurs avantages (principalement : la simplicité) et leurs désavantages évidents (l'arbitraire, l'absence de fondement économique). Voyons si l'on peut faire mieux en suivant une méthode plus générale.

3. L'aménagement forestier conçu comme un « système » — place du calcul de possibilité

Un « système » de gestion cherche à envisager et résoudre les problèmes d'une façon coordonnée et intégrale, à l'opposé de décisions prises isolément ou séparément. En matière forestière, on peut regrouper problèmes et décisions en trois « niveaux » de planification et de contrôle.

1. *La planification à long terme* : Elle s'occupe de définir les objectifs de l'entreprise (tels que maximisation des revenus, de la valeur ajoutée, de la production de certains assortiments) et d'élaborer les politiques de gestion pour de longues périodes. Elle est basée sur les prévisions de l'offre et de la demande en produits ligneux, eau, espaces verts, et prévisions des capitaux et de la main-d'œuvre disponibles, etc. Ses *buts* spécifiques (tels que : distribution des essences, distribution des classes d'âge ou de grosseur, choix des systèmes sylviculturaux et d'exploitation) servent d'objectifs à la planification à moyen terme.

2. *La planification à moyen terme* : Elle vise à atteindre les objectifs des 5 à 10 prochaines années, à contrôler et corriger les résultats atteints. Elle doit procéder à une *réévaluation* des politiques, objectifs et priorités, afin de tenir compte des changements survenus. Les ressources existantes sont alors distribuées pour la période d'aménagement. L'élaboration du plan périodique de coupe — l'allocation de coupes à divers peuplements, en vue de contrôler la production de la forêt — appartient à cette catégorie de problèmes. *Les niveaux d'allocation* (par exemple la coupe annuelle) servent de base à la planification à court terme.

3. *La planification à court terme* : Elle sert à préparer les budgets et plans annuels de travail. *L'horaire* et l'organisation des activités en sont l'essentiel. Le plan annuel de coupe en est un exemple. Il doit tenir compte des conditions du marché des bois, des intempéries et de la main-d'œuvre disponible, à part des priorités sylviculturales.

Un tel « modèle » de gestion forme un tout : les « échelons » de la planification sont reliés les uns aux autres, les « éléments » de planification aussi. De la sorte les fonctions de planification, de contrôle et de réévaluation peuvent être exercées simplement. Malheureusement dans le domaine forestier il n'existe pas encore de tel système se servant des méthodes de gestion scientifiques. Voyons tout de même comment pourrait fonctionner la partie touchant au plan périodique de coupe et à la possibilité.

4. Un exemple de calcul de la possibilité par programmation linéaire

L'entreprise forestière servant d'exemple est fictive : il s'agit d'une forêt pure et équienne d'épicéa, traitée en « Femelschlag » (cf. table 1 en appendice). Il est assumé que son objectif primaire est de fournir à longue échéance un revenu net maximum en produits ligneux. La possibilité doit être calculée pour une période de dix ans. La régénération d'un peuplement peut être commencée lorsque l'accroissement courant en valeur devient inférieur à l'accroissement moyen en valeur. Autrement, les peuplements peuvent être traités par éclaircies sélectives, comme indiqué par les tables de production d'épicéa (Badoux, 1964). On a admis que la planification à long terme réclamait la régénération de 10% de la forêt en dix ans, avec une proportion comparativement plus forte de régénération en station plus fertile. De même les fonds nécessaires aux plantations et premiers soins culturaux sont alloués en plus forte proportion aux stations les plus fertiles. Parmi les autres conditions incluses dans cet exemple, il faut mentionner l'éventuelle construction de routes, la possibilité de pertes si les coupes ne sont pas effectuées, l'interdiction de coupes définitives dans les peuplements à caractère touristique. En ce qui concerne coûts et produits unitaires, ils ont été choisis arbitrairement pour cet exemple. On a admis que les coûts de régénération variaient selon la station. On a aussi choisi des coûts variables de construction de routes.

Afin de ne pas causer de variations importantes dans les revenus, coûts et volume de travail, il est décidé provisoirement que la nouvelle possibilité ne devrait pas excéder l'ancienne de plus de 20%.

Sur la base de ces données, le plan périodique de coupes et la possibilité peuvent être établis. Il s'agit d'un « problème d'allocation » : des ressources limitées (peuplements et sols forestiers, capital-argent) doivent être alloués à certaines activités (éclaircies, coupes de régénération, parfois combinées avec la construction de routes) de façon à maximiser le revenu net de la période de dix ans, tout en respectant des contraintes spécifiques (capitaux

Table 1
Renseignements sur la forêt fictive

Superficie : 150 ha

Essence ; épicéa

— Classes de fertilité : excellente (30 m hauteur à 50 ans) = 25 ha

moyenne (20 m hauteur à 50 ans) = 100 ha

inférieure (10 m hauteur à 50 ans) = 25 ha

— Répartition des peuplements par classes d'âge et par classes de fertilité (en ha), révolution et frais de plantation :

Classes d'âge (ans)	Nom des peuplements et classes de fertilité						Total ha
	Excellente		Moyenne		Inférieure		
	Nom	ha	Nom	ha	Nom	ha	
—20	FOR 01	0,5	FOR 13	4,0	FOR 25	0,5	5,0
20	FOR 02	1,0	FOR 14	4,0	FOR 26	1,0	6,0
30	FOR 03	1,0	FOR 15	4,0	FOR 27	1,0	6,0
40	FOR 04	1,0	FOR 16	4,0	FOR 28	1,0	6,0
50	FOR 05	1,5	FOR 17	4,0	FOR 29	1,5	7,0
60	FOR 06	2,0	FOR 18	4,0	FOR 30	1,5	7,5
70	FOR 07	5,0	FOR 19	5,0	FOR 31	1,5	11,5
80	FOR 08	5,0	FOR 20	10,0	FOR 32	2,0	17,0
90	FOR 09	4,0	FOR 21	16,0	FOR 33	2,0	22,0
100	FOR 10	2,0	FOR 22	20,0	FOR 34	5,0	27,0
110	FOR 11	2,0	FOR 23	25,0	FOR 35	8,0	35,0
Total	25,0		100,0		25,0		150,0
Révolution	80 ans		100 ans		120 ans		
Frais de plantation	(Fr./ha) 3000.—		2500.—		2000.—		

— Produits nets des exploitations en (Frs/m³), par assortiment :

<i>Assortiments</i>	<i>Produit net (Frs/m³)</i>
Bois d'industrie	2.—
Perches	5.—
Poteaux	10.—
Bois de charpente	15.—
Sciage moyens	20.—
bois de sciage	25.—

Table 2
Tableau simplex (incomplet) montrant 3 exemples de ressources et activités avec leur contraintes

		Activités					Contraintes	
Ressources	Exemple 1	Exemple 2			Exemple 3			
	E 01	E 11	R 11	N 11	1 ROE 23	2 ROE 23		2 ROR 23
REVENU	-111	-1886	-11 854	+100	-918	-918	-5607	
POSSIB	30	110	900		65	65	555	15 000 m³
FOR 01	1							0,5 ha
FOR 11		1	1	1				5,0 ha
SUPREG 1			1					5,0 ha
CAPREG-1		3000						Fr. 16 000.—
1 FOR 23					1			1,0 ha
2 FOR 23						1	1	24,0 ha
SUPREG 2							1	10,0 ha
CAPREG 2							2500	Fr. 9 000.—
ROUTE					800	800	800	Fr. 50 000.—

REVENU = produit net d'une activité en francs. C'est la ressource précieuse que l'on cherche à maximiser. (N.B. le produit a une valeur négative, car il s'agit d'un problème de maximisation.)

POSSIB = la quantité à couper suivant l'activité, en m³.

SUPREG = superficie qui peut être régénérée, en station excellente
(SUPREG 1 = 5,0 ha au maximum), et en station moyenne
(SUPREG 2 = 10,0 ha au maximum).

CAPREG = Capital à disposition pour plantations, en station excellente
(CAPREG 1 = Fr. 16 000.— au maximum), et en station moyenne
(CAPREG 2 = Fr. 9 000.— au maximum).

ROUTE = Capital à disposition pour la construction de routes (max. Fr. 50 000.—).

L'exemple 1 illustre un peuplement d'éclaircie (FOR 01).

L'exemple 2 est le cas d'un peuplement (FOR 11) pouvant être éclairci ou régénéré, et où l'on subira des pertes si le peuplement n'est pas traité.

L'exemple 3 représente un peuplement où une route doit être construite avant les exploitations. Une partie du peuplement (2 FOR 23) peut être éclaircie ou régénérée, l'autre (1 FOR 23) ne peut être régénérée (pour des raisons esthétiques, par exemple).

à disposition, superficie maximum qui peut être régénérée, etc.). Seuls les coûts et produits variables sont inclus dans le calcul.

Mathématiquement, on va chercher à maximiser l'équation linéaire de profit $\sum_{i=1}^n P_i X_i$

où : P_i = profit unitaire à (l'hectare)

X_i = niveau de l'activité (càd. la quantité d'hectares alloués).

Les niveaux d'activités sont sujets à un set d'inéquations linéaires explicites. Implicitement, les quantités ne peuvent être négatives.

La solution optimale à cet exemple a été calculée en 1,4 min. par un ordinateur (table 3).

Table 3

Le plan de coupe « optimal » (10 ans) au moyen de la programmation linéaire, et la possibilité

Traitement	Nom de peuplements et classes de fertilité						Total ha
	Excellente		Moyenne		Inférieure		
	Nom	ha	Nom	ha	Nom	ha	
Eclaircie	FOR 01	0,5	FOR 13	—	FOR 25	—	0,5
Eclaircie	FOR 02	1,0	FOR 14	4,0	FOR 26	—	5,0
Eclaircie	FOR 03	1,0	FOR 15	4,0	FOR 27	—	5,0
Eclaircie	FOR 04	1,0	FOR 16	4,0	FOR 28	—	5,0
Eclaircie	FOR 05	1,5	FOR 17	4,0	FOR 29	1,5	7,0
Eclaircie	FOR 06	2,0	FOR 18	4,0	FOR 30	1,5	7,5
Eclaircie	FOR 07	5,0	FOR 19	5,0	FOR 31	1,5	11,5
Eclaircie	FOR 08	5,0	FOR 20	10,0	FOR 32	2,0	17,0
Eclaircie	FOR 09	3,0	*FOR 21	16,0	FOR 33	2,0	21,0
Eclaircie	FOR 10	—	*FOR 22	11,7	FOR 34	5,0	16,7
Eclaircie	FOR 11	—	*FOR 23	21,4	FOR 35	8,0	29,4
Total éclaircie		20,0	84,1		21,5		125,6
Régénération	FOR 09	1,0	*FOR 23	3,6			1,0
Régénération	FOR 10	2,0					2,0
Régénération	FOR 11	2,0					5,6
Total régénération		5,0	3,6				8,6

* Avec construction préalable de route d'accès.

Possibilité: 1470 m³ par an, dont 840 m³ en éclaircies.

5. Analyse des résultats

La solution optimale — càd. la solution produisant le revenu net le plus élevé, compte tenu des restrictions existantes, apparait raisonnable: les peuplements les plus âgés en station fertile et moyenne sont à régénérer, les

autres peuplements sont à éclaircir. La possibilité (1470 m³ par an) est plutôt conservatrice, l'accroissement courant étant de 1550 m³ par an et le matériel sur pied de 420 m³/ha en moyenne. Le plan de coupe produira en 10 ans une certaine amélioration de la répartition des classes d'âge et des catégories de diamètre (cf. figure 1). Dans 10 ans l'accroissement courant sera de 1440 m³ par an, le matériel sur pied restant de 420 m³/ha.

L'analyse des allocations et contraintes montre pourquoi la possibilité n'est pas plus élevée. 8,6 ha seulement ont été alloués à la régénération, alors que l'on en permettait à priori 15 ha : en station fertile, les 5 ha de régénération ont bien été utilisés mais, en classe de fertilité moyenne, la régénération n'est possible que sur 3,6 ha, faute d'argent pour couvrir les frais additionnels de plantation. De plus les 50 000 francs utilisables pour la construction de routes sont insuffisants, de sorte que 8,3 ha du peuplement FOR 22 ne peuvent être traités, faute de voies d'accès.

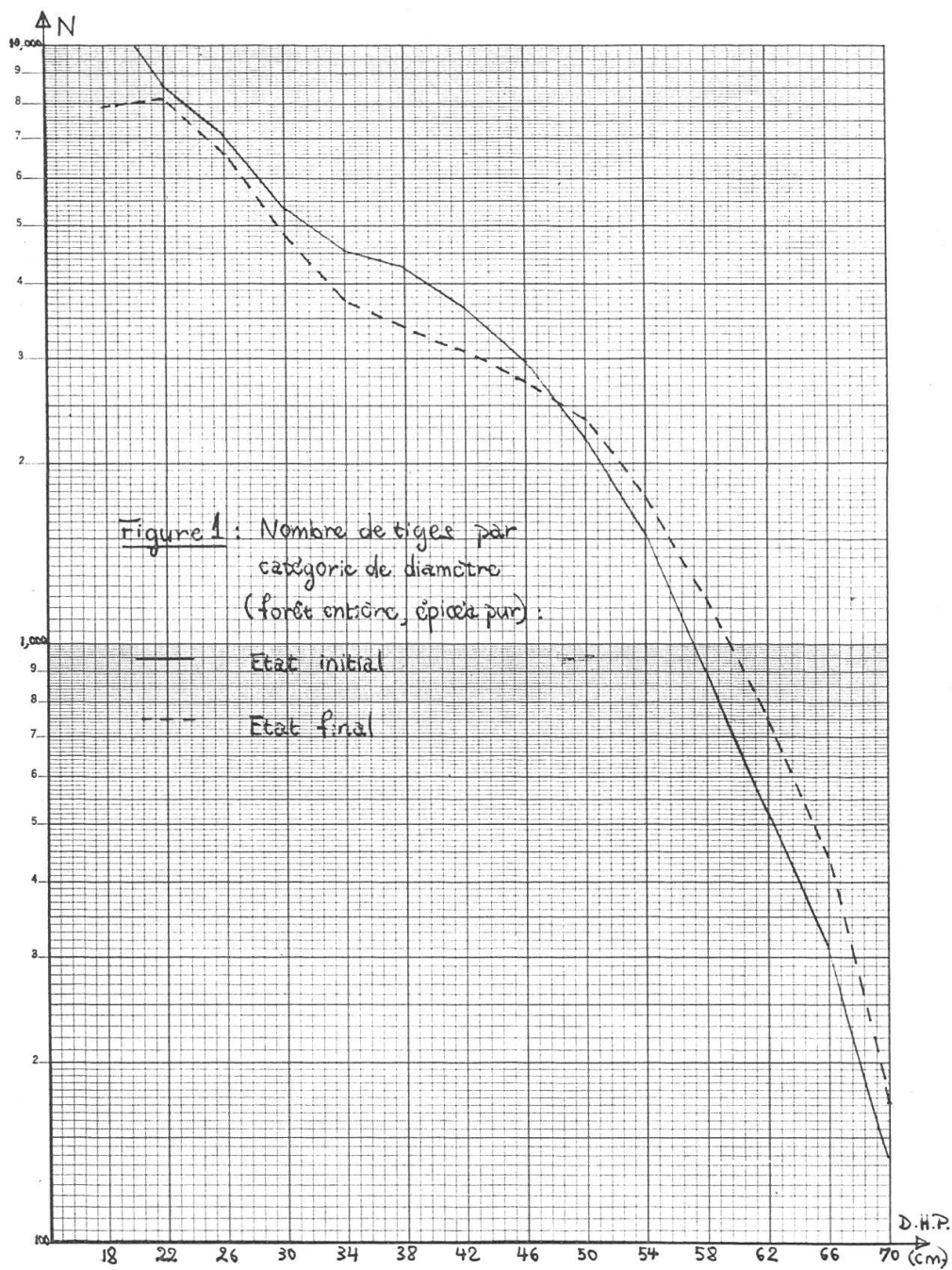
Il est donc intéressant d'étudier ce qui arriverait si l'on apportait des modifications au modèle initial. Ainsi si on allouait 2000 francs de plus pour la régénération des peuplements en station moyennement fertile, on pourrait régénérer 4,4 ha du peuplement FOR 23. C'est alors le quota de 15 000 m³ qui devient le facteur limitatif. Il s'agit de l'augmenter aussi. Si en même temps on alloue 1000 francs de plus pour la régénération en station fertile, la possibilité peut être élevée jusqu'à 1575 m³ par an.

Bien d'autres études intéressantes pourraient être menées grâce à ces analyses post-optimales. Cet exemple démontre cependant l'essentiel : la possibilité n'est pas tant fonction de l'accroissement courant, mais des objectifs du propriétaire, de ses moyens financiers et, de plus en plus, de la main-d'œuvre disponible.

6. Discussion, problèmes et améliorations

Cet exemple, bien que fictif, montre que la programmation linéaire est applicable aux problèmes forestiers aussi ! De plus l'analyse post-optimale possède de grands avantages. Non seulement une solution optimale est calculée, mais l'effet de changements au modèle est indiqué. De la sorte, les alternatives à la « meilleure » solution peuvent être évaluées.

La méthode est générale et flexible. Ainsi, d'autres objectifs de gestion peuvent être choisis ; pour des forêts publiques la maximisation de la valeur ajoutée pourrait par exemple être un but plus approprié. Ensuite, si nécessaire, d'autres sources de revenu peuvent être introduites dans le modèle (droits sur les eaux, revenus de chasse par exemple). Certaines activités peuvent être restreintes spécifiquement (régénération de peuplements à caractère hautement touristique), d'autres peuvent être ajoutées (par exemple, la fertilisation de certains massifs). De nouvelles restrictions peuvent aussi être introduites (par exemple, si l'on doit compter avec un manque de main-d'œuvre).



L'exemple est imaginaire mais la même approche peut être utilisée dans un cas concret. L'absence de renseignements sur certains facteurs constitue la plus grande difficulté. Ce devrait être l'objectif des inventaires forestiers de fournir des données sur l'accroissement courant en valeur, sur la valeur des produits d'éclaircies, etc. (Réciproquement, la programmation linéaire pourrait être très utile lors de la préparation des plans d'échantillonnage!) Il est beaucoup plus difficile d'obtenir des chiffres valables sur les coûts variables des exploitations, la comptabilité forestière étant notoirement inadéquate. Quant aux prix du bois, on connaît leur variabilité. Il sera donc nécessaire de préparer des prévisions à court terme des coûts et des prix du bois.

La méthode et l'intensité des coupes constituent un autre problème. On ne pourra pas normalement se servir des données de tables de production. Il s'agira de procéder à des martelages d'essai lors des inventaires. A la longue, il faudrait pouvoir se servir des résultats d'expériences statistiques de l'effet des traitements sylviculturaux sur l'évolution des peuplements.

Le plan de coupes et la possibilité doivent être révisés lorsque des changements majeurs ont pris place. Cette mise à jour ne présentera pas de difficultés normalement.

Cependant la programmation linéaire n'est plus recommandable lorsque les conditions sont si incertaines qu'un modèle déterministique n'a plus de sens. Dans le cas de forêts où les chablis sont importants par exemple, un modèle probabilistique pourrait être préférable (Hool, 1966). L'obstacle principal serait à nouveau le manque de renseignements précis sur la probabilité d'occurrence de catastrophes.

Du point de vue mathématique, la méthode standard de programmation linéaire donnerait aussi de mauvais résultats lorsque la courbe de revenu unitaire net d'une activité particulière est concave. Il faudrait alors se servir de la technique de « programmation séparable ». Dans les problèmes englobant plus d'un millier d'activités, la « méthode de décomposition » (Tscheng, 1966) pourrait s'avérer précieuse.

Aucun des problèmes mentionnés n'est insurmontable et dans la grande majorité des cas, les programmes standards existant seront suffisants. Une bonne routine d'Input serait pratique. Les résultats pourraient aussi être imprimés d'une manière plus claire. Une projection de l'état futur de la forêt devrait être partie intégrale des résultats.

7. Conclusion

Un plan périodique de coupe satisfaisant les buts explicites de gestion peut être élaboré à l'aide de la technique de programmation linéaire. La possibilité est calculée peuplement par peuplement, compte tenu des conditions locales. La méthode est flexible, rapide, peu coûteuse et sûre. Les calculs sont laissés à l'ordinateur. L'administrateur peut se consacrer à l'ana-

lyse du problème et à l'évaluation des actions possibles. Comme le modèle est explicite, la discussion de ses éléments et des buts de gestion devient possible. Le mystère du calcul de la possibilité est dissipé. Les décisions touchant les priorités et les interventions nécessaires peuvent être prises objectivement. Les relations entre les objectifs à longue terme, la coupe, les capitaux et main-d'œuvre disponibles peuvent être étudiés. Les conséquences de changements éventuels peuvent être évaluées.

La programmation linéaire n'est-elle pas une mine d'or?

Zusammenfassung

Trotz ihren Eigenarten ist die forstliche Produktionsplanung nicht grundsätzlich verschieden von den Planungsaufgaben anderer Wirtschaftszweige. In der Industrie werden mathematische Methoden bei Planung und Kontrolle seit Jahren erfolgreich angewendet. Anhand eines kleinen Beispiels wird gezeigt, daß sich lineare Programmierung für die Aufstellung periodischer Hiebspläne und die Berechnung des Hiebsatzes gut eignet. Der Forstbetrieb und die Bewirtschaftungsziele werden in einem mathematischen Modell dargestellt. Anschließend wird der Hiebsatz bestandsweise berechnet. Die Methode ist schnell, billig und sehr anpassungsfähig. Die Berechnungen werden dem Computer überlassen. Der Förster kann sich der Analyse widmen und alternative Lösungen studieren.

Die waldbaulichen und technischen Maßnahmen werden auf Grund der Bewirtschaftungsziele beschlossen. Die Zusammenhänge zwischen langfristigen Zielen, Hiebsatz, Kapitaleinsatz usw. können ermittelt werden. Die Folgen eventueller Planänderungen werden gezeigt.

Ist das nicht besser als alle geheimnisvollen Hiebsatzformeln?

Littérature citée

- Badoux, E.*, 1964: Tables de rendement pour l'épicéa. EAFV Birmensdorf, Suisse
- Dantzig, G. B.*, 1963: Linear Programming and Extensions. Princeton University Press. Princeton, USA
- Hool, J. N.*, 1966: A Dynamic Programming-Markov Chain Approach to Forest Production Control. Forest Science Monograph 12. Soc. of American Foresters, Washington, D. C., USA
- Naylor, T. H.*, et *Byrne, E. T.*, 1963: Linear Programming Methods and Cases. Wadsworth Publishing Co., Belmont, California, USA
- Tscheng, M. T.*, 1966: Scheduling of a Large Forestry Cutting Problem on a Digital Computer by Decomposition of Linear Programming. Paper delivered at the Annual Meeting of the Institute of Management Science, in Dallas, February 1966. Dallas, Texas, USA