Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 126 (1975)

Heft: 9

Artikel: Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtraie à sapin

Autor: Schütz, J.-P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-765231

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: 16.07.2025

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

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

126. Jahrgang September 1975 Nummer 9

Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtraie à sapin*

Par *J.-Ph. Schütz*
Institut fédéral de recherches forestières, Birmensdorf

Oxf.: 221.4:562.42:624.2

1. Exposé du problème

Le problème de la détermination de ou des états d'équilibre de futaies jardinées préoccupe depuis très longtemps les forestiers ayant affaire à ce régime sylvicole. Par définition même, une futaie jardinée se trouve en état permanent d'équilibre. Cette position est donc le but à long terme visé, l'objectif à atteindre par le traitement jardinatoire. Le praticien utilisant le jardinage sait bien qu'en réalité une futaie jardinée n'atteint pratiquement jamais l'équilibre parfait, les peuplements comme l'a montré *de Coulon* (1962) subissent toujours des fluctuations dépendantes ou non de sa volonté.

Traitée depuis longtemps par l'éclaircie jardinatoire[1], une futaie atteint normalement un certain équilibre, après que les fluctuations constatées au début du traitement se soient étalées de plus en plus. En opérant avec doigté, avec beaucoup d'expérience et surtout de patience, le forestier arrive à guider ces fluctuations et contrôler les variations de structure et de production. Pour y arriver, en plus de la connaissance parfaite de ses forêts, il lui est nécessaire de savoir à quelles conditions et comment l'équilibre sera atteint, quelles en seront les conséquences sur la production, et comment peut-on contrôler objectivement son maintien.

Que faut-il entendre par équilibre? Est-ce la continuité de la structure verticale de la forêt? le maintien d'un certain mélange des essences? la régularité de la production en volume? ou en valeur? Probablement le tout à la fois. Les résultats de l'action du sylviculteur sur l'évolution des peuplements doivent cependant pouvoir être représentés concrètement et surtout pouvoir être contrôlés. Il faut donc pour juger de l'équilibre prendre en considération

* Imprimé avec participation de l'IFRF.

[1] On fera la distinction de principe comme le définit *Leibundgut* (1966) p. 148 ff. entre l'éclaircie jardinatoire qui est l'intervention dans les peuplements en voie de conversion en futaie jardinée et le jardinage qui est l'intervention sylvicole dans les peuplements ayant atteint l'équilibre jardiné.

des critères simples, mesurables, objectifs; tels ceux fournis par les méthodes usuelles d'inventaire. Ainsi l'évolution de la structure d'un peuplement donné peut se suivre aisément sur la base de la répartition des nombres d'arbres par catégories de diamètre et en connaissant les mécanismes du mouvement de ces arbres de catégories à catégories sous l'effet de l'accroissement en diamètre. Vu sous cet aspect du mouvement des nombres de tiges, le problème de l'équilibre a été maintes fois étudié par praticiens et spécialistes depuis fort longtemps.

L'idée que connaissant les conditions de croissance en diamètre des arbres et les interventions sylvicoles, il est possible de déterminer une (ou plusieurs) distribution des tiges telle que les augmentations d'arbres venant d'une catégorie inférieure sont égales aux départs vers une catégorie supérieure (en tenant compte des exploitations réalisées pendant la période), émane à notre connaissance d'un praticien: *Borel* (1933). *François* (1938) a défini les modalités de calcul de telles positions d'équilibre des nombres de tiges, pour une certaine intervention sylvicole donnée a priori et connaissant la vitesse de croissance en diamètre des arbres, calculée sur la base des données d'inventaires intégraux. De nombreux auteurs ont repris par la suite, avec différentes variantes, la méthode de François, tel *Prodan* (1949). *Mitscherlich* (1952) dans une remarquable étude a fait varier dans de larges limites les interventions sylvicoles et déterminé pour les futaies de la Forêt-Noire allemande les répercussions de ces interventions sur la production en volume.

On notera que par définition même du postulat d'équilibre de la méthode de François, la coupe effectuée prélève la totalité de l'accroissement, passage à la futaie bien entendu compris. En effet ce calcul admet comme nulle la capitalisation des nombres de tiges par catégories de diamètre. Cela signifie comme l'a montré *Weidmann* (1961) que les interventions sont identiques à l'accroissement, puisque la capitalisation multipliée par le tarif donne une grandeur identique en valeur à l'accroissement en volume. On rejoint donc ici un des postulats de l'intervention de jardinage, à savoir la réalisation de la totalité de l'accroissement.

Ainsi donc la détermination de l'état d'équilibre d'une futaie jardinée doit se fonder sur les deux renseignements fondamentaux suivants:
— la connaissance des phénomènes de la croissance en diamètre des arbres;
— la connaissance du genre des interventions sylvicoles possibles et nécessaires.

Le premier de ces points est relativement facile à aborder, puisque calculable sur la base de données expérimentales, soit en utilisant les données de la méthode du contrôle, soit à l'appui de sondages à la tarière ou autre méthode directe. Une abondante littérature existe sur la façon de calculer la

vitesse de croissance à l'aide des données de la méthode du contrôle, depuis *Vaulot* (1914), *d'Alverny* et *Gazin* et *Schäffer* (1930), *Meyer* (1932, 1949), Prodan (1947), tous utilisant pratiquement la même méthode, même si on parle ci de temps de passage, là d'accroissement en diamètre, celui-ci étant seulement l'inverse de celui-là. Weidmann (1961) fait remarquer que pour l'étude des distributions des nombres de tiges par catégories de diamètre et leur équilibre, l'on n'était pas directement intéressé à l'accroissement en diamètre proprement dit, mais aux mécanismes des mouvements d'arbres, donc aux nombres de tiges passant d'une catégorie de diamètre à l'autre, grandeur appelée passage extérieur (allemand: Auswuchs).

Malgré l'abondante littérature sur le sujet, nous n'estimons pas que cette question des conditions de croissance des arbres soit résolue à entière satisfaction. D'abord l'interrelation entre les conditions de concurrence et la croissance est encore trop mal définie, malgré une approche très intéressante de Mitscherlich (1952), mais à notre avis encore incomplète, car faisant appel aux nombres de tiges seuls. D'autre part, et cela est surtout valable pour les études de l'accroissement en diamètre fondées sur les comparaisons d'inventaires, les conditions de croissance des arbres en-dessous du seuil d'inventaire sont encore mal connues. Or c'est justement dans cette partie du peuplement que se trouvent les réserves de jeunes bois. Le maintien de l'état d'équilibre à longue échéance n'est possible que si la régénération est suffisante, et si la croissance des tiges dans l'étage inférieur du peuplement permet à un nombre suffisant de jeunes arbres de passer régulièrement le seuil d'inventaire (passage à la futaie). A notre connaissance aucun travail sur les états d'équilibre n'a tenu compte de cette condition primordiale.

La connaissance du deuxième point: la qualification de l'intervention sylvicole du jardinage est d'une approche bien plus délicate. Le jardinage est éminemment difficile à qualifier, d'abord parce que cette intervention procède en même temps à des opérations fort différentes: sélection, récolte, régénération et conformation de la structure; elle dépend d'autre part de décisions sylvicoles fondamentales, telles la fixation des objectifs de production, les dimensions maximales des arbres à réaliser, décisions qui dépendent elles-mêmes de nombreux facteurs inhérents au terrain et à la structure de l'entreprise forestière concernée. De plus la façon d'intervenir est propre aux conceptions sylvicoles personnelles du sylviculteur la pratiquant, et partant elle est très subjective. La meilleure façon d'aborder le problème est comme l'a fait Mitscherlich (1952) d'étudier pour différentes variantes d'interventions possibles ou plausibles, les résultats sur la production en masse, et les répercussions sur l'évolution ou l'équilibre des structures.

Depuis que *Biolley* en 1880 introduisit le jardinage comme régime sylvicole de base dans les forêts du Jura neuchâtelois, bientôt un siècle s'est écoulé pendant lequel les forestiers ont continué avec ténacité à s'appliquer à le

réaliser. La méthode du contrôle introduite à la même époque est encore appliquée aujourd'hui dans toute sa rigueur, avec des inventaires se succédant généralement tous les 7 ans. On dispose ainsi d'un matériel d'information sur la croissance des arbres et sur les interventions sylvicoles effectuées, bien que simple et partiel, soumis à certaines erreurs, mais qui porte sur une séquence de temps considérable lui conférant ainsi une valeur informative exceptionnelle.

Il nous a paru intéressant sur la base de ces données simples, pour un genre de station bien défini, de voir à quelles conditions les équilibres des peuplements sont réalisables.

2. Limites de l'étude et domaine d'application

Les données utilisables pour caractériser la croissance en diamètre et les interventions, dans ce travail, proviennent exclusivement des inventaires et contrôles des exploitations effectués selon les principes de la méthode du contrôle, telle que définie par Biolley (1920).

Les arbres sont donc répertoriés à partir du seuil de 17,5 cm, en catégories de 5 cm de largeur. Pour les calculs du volume on a utilisé le tarif conventionnel unique neuchâtelois de Biolley et *de Blonay* et *Jobez,* à une seule entrée (dhp), calculé sur la base de mesurages provenant de la région qui nous occupe. Etant donné le seuil d'inventaire relativement élevé, il faudrait majorer les données du volume de 2 à 6 % selon les cas, pour des peuplements équilibrés, pour tenir compte des bois en-dessous du seuil d'inventaire. On regrettera seulement que pour les exploitations, les arbres ayant dépassé le seuil d'inventaire mais n'ayant pas encore été inventoriés, ne soient pas comptabilisés. Il s'ensuit une certaine erreur sur le calcul du passage à la futaie et partant de l'accroissement de la première catégorie de diamètre. Nous reviendrons plus loin sur la conséquence de cette erreur de méthode.

Afin d'éliminer dans la mesure du possible l'effet de la station sur les conditions de croissance, nous nous sommes limités volontairement à un seul type de station, bien défini par son appartenance floristique, savoir la hêtraie à sapin (Abieti-Fagetum) telle qu'on la rencontre dans les vallées du Jura, sur les flancs ombragés exposés à l'ouest et au nord, entre 700 et 1200 m d'altitude. Cette association est climacique à cet étage, représentative donc de ces régions jurassiennes. En nous fondant sur la carte phytosociologique du Canton de Neuchâtel élaborée par *Richard* (1965), nous avons utilisé les données de 12 unités de gestion (divisions), occupant environ 75 ha de forêts, sises sur la sous-association à festuca altissima, Abieti-Fagetum festucetosum, *Moor* (1952); Richard (1965). Cette unité floristique se rencontre sur les sols calcimorphes, relativement profonds, à la fois riches en terre

minérale et en squelette, où l'épicéa présente une bonne capacité de concurrence et vient facilement se joindre au sapin blanc. La vitalité de ces deux essences conjointes au hêtre, offre des conditions naturelles très favorables au développement de structures jardinées. Ces 75 ha aux conditions à peu près identiques, dans la même forêt, garantissent ainsi une certaine homogénéité, même si les conditions de pente et d'exposition des divisions en question varient quelque peu.

Le climat de la région qui nous intéresse est montagnard, rude, humide, caractérisé par des précipitations moyennes annuelles de environ 1300 mm et une température de 6,6 ° (station météorologique de Couvet).

Les données de la croissance sont tirées des aménagements successifs de 1902 à 1970 (10 inventaires) des forêts communales de Môtiers NE, sises sur un flanc exposé au nord et à l'ouest, entre 780 et 1200 m d'altitude et recouvrant 170 ha de forêts en tout. Seules ont été prises en considération les divisions aux conditions floristiques (de station) uniformes et correspondant au type décrit plus haut. Les peuplements occupant ces forêts sont généralement mélangés de sapin et épicéa avec une relativement faible proportion de hêtre. Les volumes sur pied varient aujourd'hui de 240 à 430 sv/ha. La structure des peuplements tend vers le type jardiné, même si l'état idéal est encore loin d'être atteint.

3. Détermination de la vitesse de croissance en diamètre

Comme valeur représentative de la vitesse de croissance nous avons utilisé le *taux de passage* qui indique pour chaque catégorie de diamètre la proportion des tiges de l'inventaire initial qui passent dans la catégorie supérieure pendant une période de temps donnée, normalisée à 10 ans dans ce travail. Cette grandeur a l'avantage d'être une caractéristique directe de la dynamique des mouvements de tiges. Le taux d'accroissement serait identique à l'accroissement en diamètre (à une constante près, égale à la largeur des catégories de diamètre) si les arbres étaient distribués de façon uniforme dans les catégories de diamètre. Comme la distribution des arbres est exponentielle, il y a une légère différence entre ces deux grandeurs.

Le calcul du taux de passage à partir des inventaires de la méthode du contrôle est extrêmement simple. Il se pratique selon la méthode de Weidmann décrite par *Kurth* (1955). La différence pour chaque catégorie de diamètre entre le nombre de tiges de l'inventaire final augmenté des exploitations et l'inventaire initial, indique la capitalisation du nombre de tiges de chaque catégorie. En d'autres termes de quel effectif chaque catégorie de diamètre a augmenté du fait de l'accroissement. Le nombre de tiges passant dans la catégorie de diamètre immédiatement supérieure (passage extérieur)

s'obtient en déduisant de catégories en catégories, à partir de la première catégorie de diamètre, la capitalisation du passage à la futaie (ou du passage extérieur) de la catégorie précédente. On notera comme le souligne Weidmann (1961) que ce calcul est entaché d'erreurs systématiques, dues à la distribution exponentielle des arbres. Ces erreurs sont d'autant plus faibles que la décroissance de la distribution des tiges est constante. Le calcul n'est parfaitement exact que si la distribution des nombre de tiges reste identique au cours du temps. Le taux de passage n'est donc à utiliser que pour des peuplements ayant une structure plus ou moins jardinée, n'étant pas soumise à de trop fortes fluctuations. L'accroissement par catégorie de diamètre se calcule en multipliant le nombre de tiges passées par la différence de tarif. D'autres méthodes d'inventaire se fondant sur une individualisation des arbres, telles la méthode par échantillons permanents ou celle des placettes d'essai de notre institut, permettent une détermination plus exacte de l'accroissement en diamètre et partant de l'accroissement en volume.

4. Influence de la station sur la vitesse de croissance en diamètre

L'effet de la station sur la croissance n'est pas à démontrer, il est évident. Dans le présent travail nous avons désiré éliminer l'effet de la station en ne prenant en considération que les données de divisions se trouvant sur la même unité floristique. Les résultats que nous présentons plus loin ne sont donc valables que dans ce cadre restreint. Pour des conditions différentes il conviendra de procéder aux ajustements et adaptations nécessaires.

Nous avons testé si à l'intérieur d'une même unité floristique bien définie, comme celle utilisée, la pente exercait un rôle important sur l'allure de l'accroissement en diamètre. En répartissant les 11 divisions en deux strates à peu près égales, l'une comprenant les pentes moyennes (35 à 45 %) et l'autre les divisions sises sur pentes fortes (50 à 70 %), on peut comparer pour chaque catégorie de diamètre les moyennes des taux de passage de ces deux strates. La comparaison de ces moyennes s'est fait par le test de t, en tenant compte des différences de variances des deux échantillons. On a trouvé que les différences sont assurées (au seuil de $p = 0{,}95$) entre 45 et 60 cm de diamètre. Ces résultats démontrent le rôle important exercé par les conditions de station.

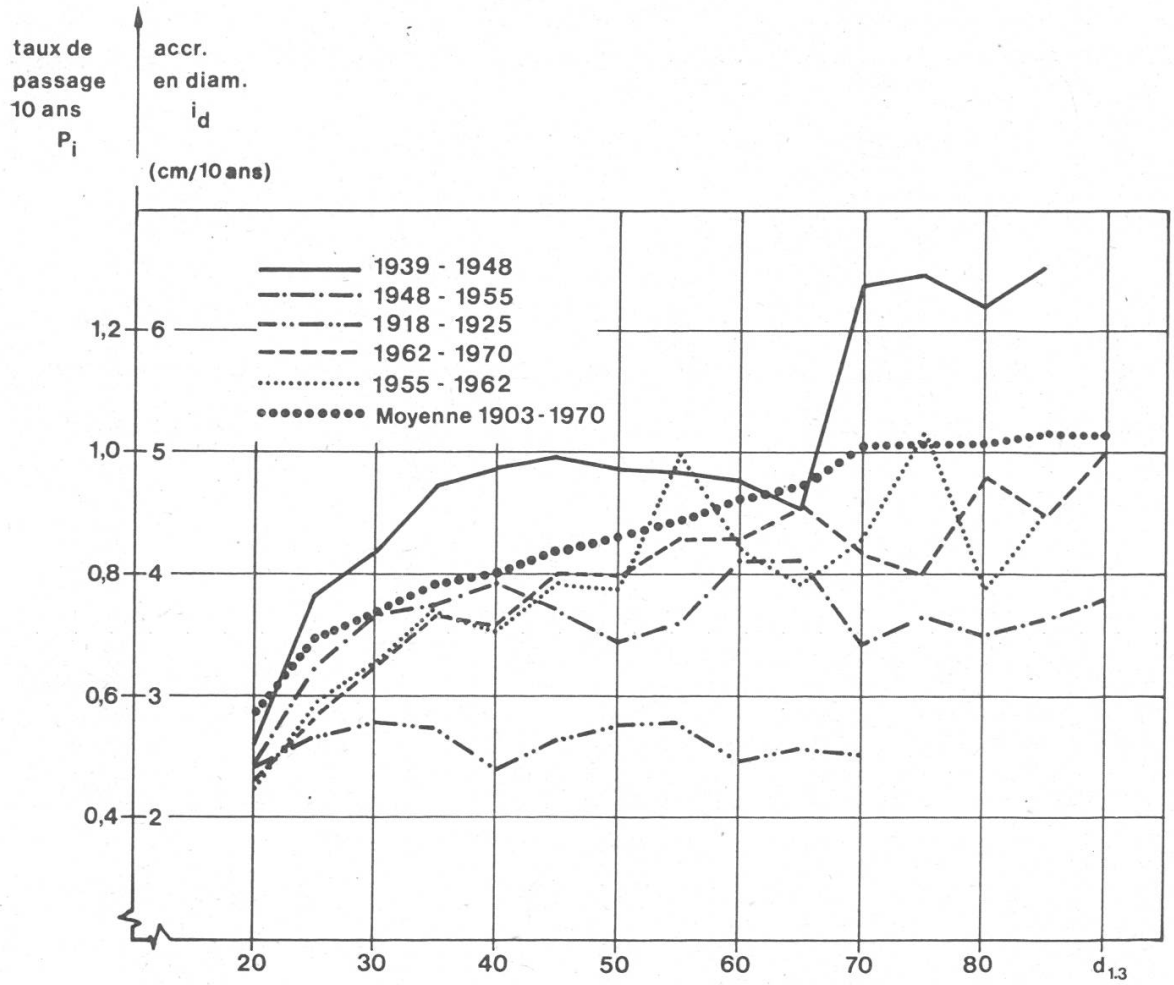
5. Effet des conditions extérieures (climatiques) sur la croissance

La comparaison de la vitesse de croissance par catégories de diamètre de plusieurs périodes (fig. 1), montre des différences extrêmement importantes. Non seulement le niveau des courbes est très différent, d'autant plus élevé que les conditions (météorologiques) ont été favorables à la croissance; mais

encore l'allure même des courbes est changée. Quand les conditions extérieures sont favorables à la croissance (p. ex. période 1939 à 1948), la courbe du taux de passage augmente fortement avec la grosseur des arbres; par contre quand les conditions sont défavorables (période 1918 à 1925 ou 1948 à 1955) le taux de passage augmente, atteint un maximum et redescend pour les gros bois. En moyenne générale sur plus de 65 ans on obtient une courbe légèrement ascendante, assez identique à celles publiées par Mitscherlich (1961). Les courbes publiées par *Badoux* (1949) par contre présentent un net maximum puis redescendent. *Nagel* (1946) pour la même région, mais sur les versants opposés, exposés au sud, montre une tendance linéaire de l'accroissement en diamètre.

Une étude plus détaillée des variations périodiques de la vitesse de croissance est faite au tableau 1, indiquant les écarts-types et intervalles de confiance de la moyenne (au seuil de p = 0,95) du taux de passage des huit

Figure 1. Allure de la vitesse de croissance en diamètre (= taux de passage, 10 ans) pour différentes périodes d'accroissement



Echantillon: 6 divisions des forêts communales de Môtiers (NE) (57 ha) sises sur stations de la hêtraie à sapin, faciès à fétuque entre 820 et 980 m d'alt., sur pentes moyennes.

périodes d'accroissement échelonnées de 1902 à 1970. On constate que la vitesse de croissance varie de ± 18 % de sa valeur moyenne pour les petits et moyens bois et que cette variation est de 30 % pour les gros bois. Si on calcule pour une distribution des tiges en équilibre (p. ex. celle correspondant à la variante B, utilisée plus loin dans ce travail) l'accroissement total en volume correspondant à ces variations du taux de passage, en calculant avec les valeurs moyennes et avec celles des deux intervalles de confiance cités ci-dessus, on obtient des différences de + 18 % et — 17 % de part et d'autre de la moyenne soit 35 % de l'accroissement en volume. Ces différences correspondent en ordre de grandeur aux résultats d'autres essais: *Flury* (1927), Mitscherlich (1952), Meyer (1949) et *Schmid* (1972). L'influence des conditions météorologiques sur ces différences de croissance a été clairement établie. A l'effet incontestable des éléments météorologiques on ajoutera la possibilité d'erreurs systématiques dans la prise d'inventaires.

Apparemment les variations de la croissance sous l'effet des conditions extérieures (climatiques) dépassent largement celles produites par les différences de station. Dans l'état actuel des connaissances, une projection sur l'avenir des conditions de croissance calculées sur une courte période de temps, est trop aléatoire. Pour des études prospectives et des prévisions

Tableau 1. Variation du taux de passage pour 8 périodes d'aménagement de 1902 à 1970

catégories de diamètre	*nombre de périodes de croissance*	*taux de passage moyen 10 ans*	*écart-type*			*intervalles de confiance de la moyenne au seuil p = 0,95*	
		$\bar{x}$ (%)	*s*	*s* %	*s* %	—	+
20	8	56,7	12,6	22	18	46,2	67,2
25	8	68,1	11,2	16	18	58,7	77,5
30	8	72,7	10,6	15	18	63,3	81,6
35	8	77,4	11,4	15	18	67,9	86,9
40	8	79,4	15,6	20	18	66,3	92,4
45	8	82,8	14,9	18	18	70,3	95,3
50	8	85,3	17,8	21	18	70,4	100,2
55	8	91,3	19,6	21	30	74,9	107,7
60	8	94,0	23,9	25	30	74,0	114,0
65	8	96,0	30,0	30	30	70,9	121,1
70	7	104,7	43,1	41	30	67,4	142,0
75	5	106,5	31,4	29	30	75,7	137,3
80	4	92,0	23,9	26	30	65,1	118,9
85	4	96,0	24,0	25	30	69,0	123,0
90	4	96,5	46,4	48	30	27,5	148,7

Echantillon: 8 périodes d'aménagement de 1902—1970.
Groupe de 6 divisions (env. 50 ha) des forêts communales de Môtiers (NE) stations de la hêtraie à sapin à fétuque, alt. 820 à 980 m, pente moyenne (35 à 55 %).

d'accroissement, pour plus de sûreté et en attendant de meilleures méthodes, on utilisera un cours moyen de la croissance, reposant sur des données d'une longue période de temps (30 ans au moins). Malgré cela les conditions réellement rencontrées à court terme risquent de diverger plus ou moins fortement des prévisions. Ce problème de l'interrelation entre les différentes grandeurs climatiques et la croissance est très important. Il fait l'objet depuis plusieurs années de recherches approfondies à notre institut.

6. Effet de la densité des peuplements sur la vitesse de croissance

Mitscherlich (1952) a déjà montré une certaine dépendance entre le nombre de tiges par classes de grosseur et la vigueur de l'accroissement. Dans ce travail nous avons tenté d'étudier les relations entre la densité des peuplements et le taux de passage par catégories de diamètre. Comme expression de la densité nous avons pris en considération pour chaque catégorie de diamètre:

— la somme des volumes des arbres de la catégorie en question et des catégories plus grosses (Vcum)

— la somme des surfaces circulaires correspondantes (Gcum). Cette dernière grandeur est identique à celle utilisée par Schmid (1974) comme expression de la densité, et qui fait actuellement l'objet d'études approfondies à notre institut.

Pour dix divisions des forêts de Môtiers on a étudié la corrélation entre la densité des peuplements exprimée par Vcum d'une part et Gcum de l'autre et le taux de passage, par catégories de diamètre, pour la période de croissance 1962 à 1970. On a d'abord cherché à voir laquelle des deux expressions de la densité Vcum ou Gcum donne la meilleure corrélation linéaire avec le taux de passage, en comparant les coefficients de corrélation r ainsi calculés (cf. tabl. 2). La somme des surfaces circulaires (Gcum) donne des coefficients de corrélation légèrement supérieurs à ceux obtenus avec le volume cumulé. On retiendra donc pour la suite de l'étude Gcum comme caractéristique de la densité des peuplements. Le test de t montre que malgré le faible échantillon, les coefficients de corrélation sont significativement distincts de 0 (au seuil $p = 0{,}90$) pour les catégories de diamètre de 45 à 70 cm.

Pour mieux préciser la liaison entre la densité des peuplements (Gcum) et le taux de passage, on a calculé les régressions linéaires entre ces deux grandeurs (taux de passage $= a + b \cdot$ Gcum). Les coefficients a et b calculés pour chaque catégorie de diamètre sont indiqués au tableau 2. On constate que les coefficients de régression (b) sont toujours négatifs, ce qui montre bien la bonne interdépendance entre les grandeurs étudiées. Une augmen-

tation de la densité a pour résultat une diminution de la vitesse de croissance. Sur la fig. 2 on a représenté l'allure en fonction des catégories de diamètre des deux coefficients a et b des régressions. L'on notera que les courbes reliant ces valeurs n'ont pas été ajustées graphiquement et passent par les valeurs réellement calculées. La continuité remarquable de la courbe du coefficient de régression b nous renforce dans la conviction que ces régressions rendent un phénomène parfaitement déterminé. La forme de cette courbe est cependant très étonnante et même absolument inattendue a priori, ce qui conduit aux commentaires suivants:

Tableau 2. Corrélation entre la structure des peuplements (densité) et la vitesse de croissance (taux de passage) par catégories de diamètre

La densité est exprimée par:
a) le volume cumulé des arbres ≥ à la catégorie en question (Vcum)
b) la somme des surfaces circulaires à 1,3 m des arbres ≥ (Gcum)

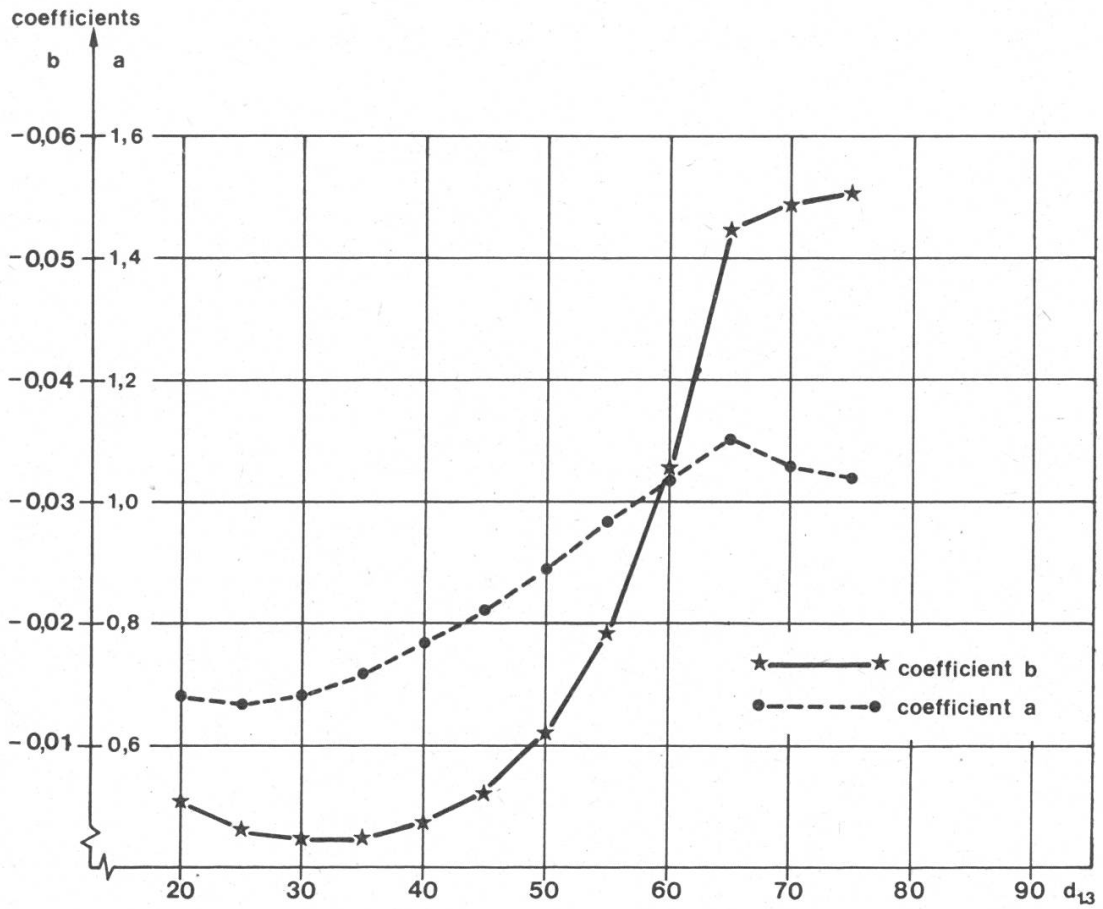
catégories de diamètre	*taux de passage moyen*		*densité exprimée par x1 = volume cumulé ≥*			*densité exprimée par x2 = G cumulé ≤*		*test du coefficient de corrélation ≠ 0*		*coefficients de régression y = a + b · x2*	
	$\bar{y}$	*N*	*Vcum* $\bar{x}1$ (m^3)	*coef. corr.* *r*	*ass. stat.* [1]	*Gcum* $\bar{x}2$ (m^2)	*coef. corr.* *r*	*t calculé*	*assur. statis.* [1]	*b*	*a*
20	0,518	10	347,8	—0,322	—	31,1	—0,424	1,325	—	—0,00518	0,679
25	0,576	10	330,7	—0,284	—	28,9	—0,363	1,101	—	—0,00301	0,663
30	0,625	10	304,7	—0,313	—	26,1	—0,360	1,091	—	—0,00220	0,683
35	0,663	10	269,2	—0,354	—	22,4	—0,366	1,112	—	—0,00237	0,717
40	0,696	10	228,1	—0,478	—	18,6	—0,470	1,508	—	—0,00380	0,767
45	0,729	10	186,6	—0,547	—	14,9	—0,550	1,861	+	—0,00592	0,817
50	0,764	10	148,8	—0,610	+	11,8	—0,615	2,204	+	—0,01086	0,891
55	0,797	10	102,3	—0,698	*	8,8	—0,707	2,825	*	—0,01907	0,965
60	0,833	10	83,5	—0,763	*	6,5	—0,763	3,338	*	—0,03199	1,042
65	0,876	10	57,5	—0,745	*	4,5	—0,733	3,053	*	—0,05248	1,110
70	0,854	9	41,7	—0,572	—	3,2	—0,596	1,965	+	—0,05453	1,042
75	0,906	9	26,3	—0,483	—	2,2	—0,337	0,877	—	—0,05527	0,986

[1]) Assurance statistique:
— pas assuré au seuil de p = 0,90
+ assuré au seuil de p = 0,90
* assuré au seuil de p = 0,95

Echantillon: 10 divisions des forêts communales de Môtiers (NE), stations de la hêtraie à sapin à fétuque, période d'aménagement 1962—1970.

Entre 20 et environ 50 cm de diamètre, le coefficient de régression est petit. Une augmentation de la densité n'a pour effet qu'une faible diminution de la vitesse de croissance. Cette constatation est étonnante et remarquable à

Figure 2. Coefficients b et a des régressions entre Gcum (densité) et le taux de passage, en fonction du diamètre — Valeurs calculées, non ajustées graphiquement —

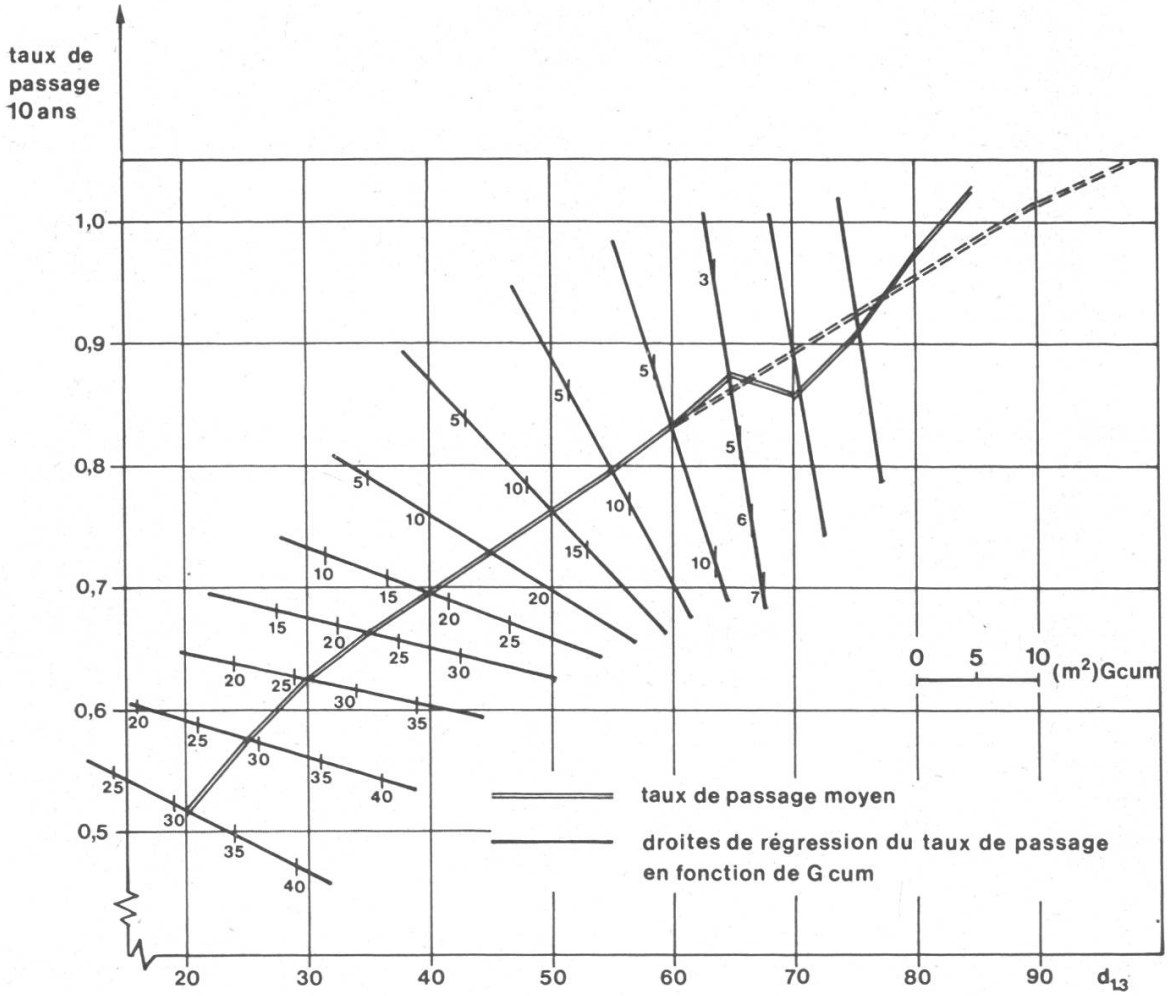


la fois; l'on y voit le fait que les jeunes arbres réagissent mieux à l'égard des conditions extérieures du milieu que les arbres plus âgés, plus sensibles à la concurrence. La relation entre la densité et la croissance atteint même un minimum pour les arbres des diamètres 30 et 35. Entre 50 et 70 cm la liaison entre la densité et la vitesse de croissance est très nette, elle augmente avec le diamètre. On s'attend en fait à ce que les valeurs de b atteignent un maximum quelque part puis retombent rapidement et tendent vers 0 pour les très gros bois. Or la fig. 2 montre que ce n'est pas le cas, du moins pas jusqu'à 75 cm de diamètre. Dans cet exemple, l'on ne peut donner les valeurs au-delà de cette grosseur, le nombre de divisions où l'on a pu déterminer le taux de passage étant trop faible et le calcul de ce taux trop sujet à caution, en raison des trop faibles nombres de tiges. On reste cependant très étonné que les arbres de 75 cm soient encore si dépendant de la densité alors qu'apparemment, la concurrence devrait être pratiquement nulle.

L'on ne se hasardera pas à des hypothèses pour expliquer ce fait, les calculs du taux de passage étant de toute façon sujets à des erreurs pour les très gros diamètres.

La fig. 3 montre de façon plus concrète le cours du taux de passage moyen par catégorie de diamètre et sa dépendance de la densité des peuplements. On a représenté pour chaque catégorie de diamètre la droite de régression du taux de passage en fonction de Gcum.

Figure 3. Relation entre la densité des peuplements, exprimée par la surface terrière (Gcum) et le taux de passage



Echantillon: 8 divisions des forêts communales de Môtiers (NE) hêtraie à sapin à fétuque, période 1962—1970.

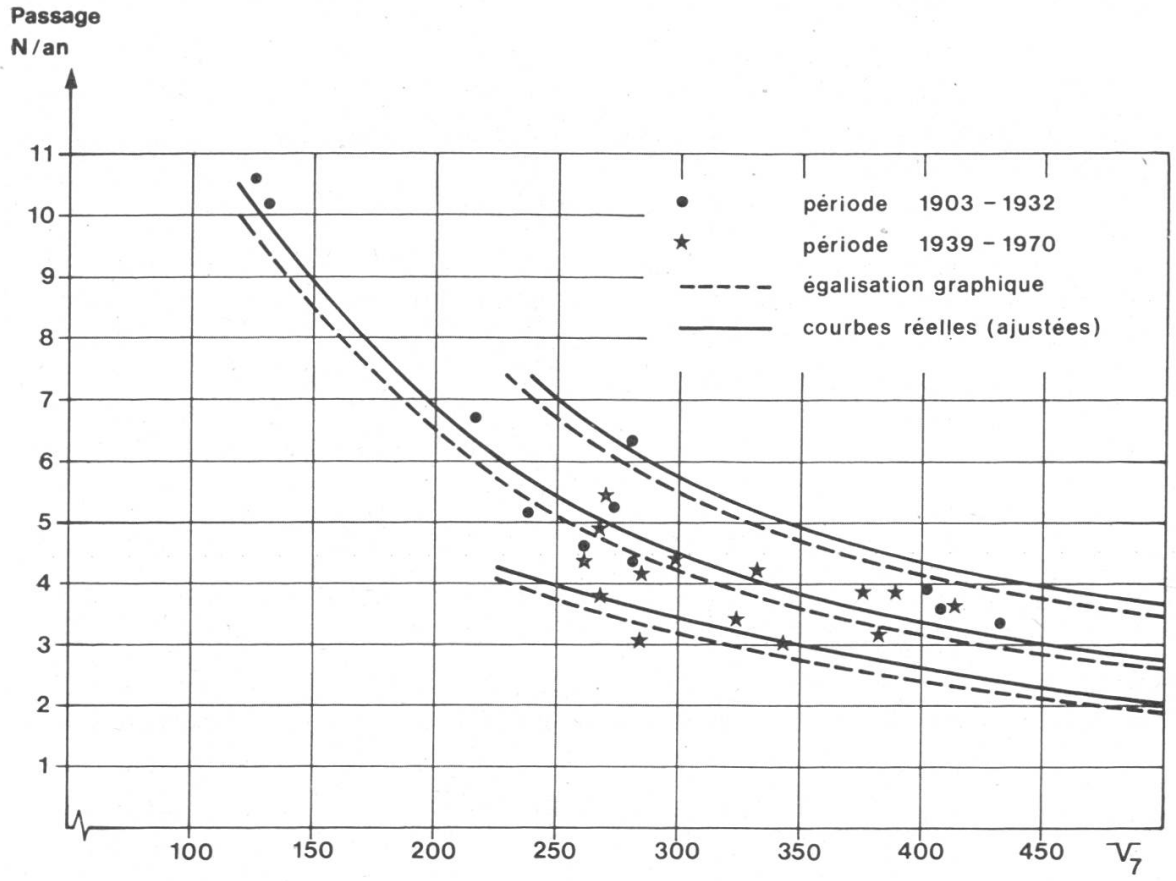
7. Effet de la densité sur le passage à la futaie

Le grand inconvénient des calculs de la croissance, fondés sur les données d'inventaires intégraux selon la méthode du contrôle est de s'arrêter à un seuil d'inventaire relativement élevé (dans notre cas 17,5 cm), faisant ainsi abstraction d'une partie importante du peuplement, celle justement où se trouvent les réserves de jeunes bois, garantes de la continuité de la production.

Le passage à la futaie en nombre de tiges exprime concrètement l'effet conjugé de la vitesse de croissance (l'accroissement en diamètre) de la catégorie de diamètre juste inférieure au seuil d'inventaire (12,5 à 17,5) et du nombre de tiges. D'autre part il est le premier signe objectif indiquant si la relève des jeunes bois est assurée. Le passage à la futaie revêt donc dans l'aménagement des forêts jardinées une importance capitale.

Le passage à la futaie, comme le taux de passage, varie avec les conditions météorologiques et dépend de plusieurs autres facteurs, entre autres de la densité des peuplements. L'étude du passage à la futaie (en nombre) de plusieurs divisions, sur une longue période de temps (30 ans environ, soit quatre périodes d'aménagement) afin d'éliminer dans la mesure du possible les conditions extérieures, et en ne considérant que les peuplements dont la structure n'a pas subi de fortes fluctuations, est représentée à la fig. 4 en fonction du volume sur pied des peuplements. On notera que dans la région qui nous occupe, les dégâts du gibier aux recrûs sont peu importants,

Figure 4. Relations entre le volume sur pied et le passage à la futaie
— données moyennes sur 30 ans environ —



NB: Les données du passage à la futaie étant entachées d'une erreur systématique négative (cf. texte), la courbe réelle est de 5 % plus élevée que l'égalisation graphique des points.

n'entravant pratiquement pas la régénération des peuplements. L'on observe une assez bonne dépendance du passage à la futaie d'avec le matériel sur pied. Avec l'augmentation de la densité, le passage décroît de façon exponentielle. La variation est relativement large, montrant bien l'importance d'autres facteurs (écologiques, structurels) sur la venue de la régénération.

L'erreur de méthode déjà mentionnée plus haut, provenant du fait que lors des coupes principales les arbres ayant dépassé le seuil d'inventaire, mais qui n'étaient pas encore inventoriés, ne soient pas enregistrés dans le contrôle des exploitations, fausse quelque peu les données du passage à la futaie. L'erreur systématique par défaut ainsi enregistrée a été corrigée en décalant de 5 % les courbes égalisées graphiquement à la fig. 4. On arrive à ce chiffre de 5 % en admettant un taux d'intervention dans la première catégorie de diamètre de 10 % (voir fig. 5 plus loin) et en tenant compte de coupes échéant en moyenne au milieu de la période de croissance.

8. Caractérisation de l'intervention du jardinage

Caractériser l'intervention du jardinage est éminemment délicat. Les quatre opérations principales (sélection, rajeunissement, structure, récolte) s'y combinent en une seule intervention. De plus, la façon de pratiquer le jardinage dépend des objectifs sylvicoles fondamentaux: buts de production, grosseur optimale/maximale des bois à exploiter, mélange des essences, etc. Pour finir, le jardinage contient une bonne partie de subjectivité, faisant appel à la conception sylvicole personnelle de celui qui démarque la coupe. Il existe donc pratiquement autant de façons de pratiquer le jardinage que de forestiers. Il existera par voie de conséquence autant de structures jardinées équilibrées idéales, que de façons d'intervenir.

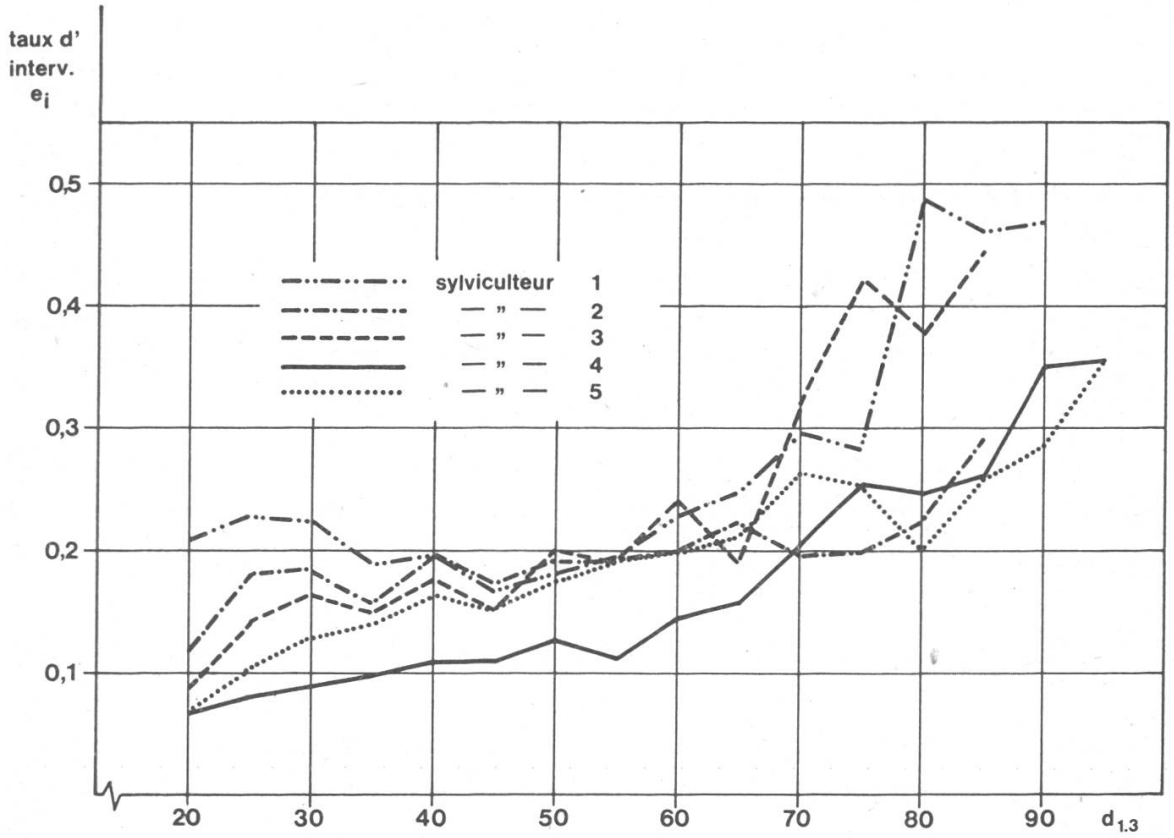
Pour caractériser le genre d'interventions nous allons utiliser de façon identique au taux de passage *le taux d'intervention par catégories de diamètre,* comme étant le nombre de tiges exploitées dans une catégorie de diamètre par rapport au nombre de tiges lors de l'inventaire initial.

Ce taux dépend en bonne partie du moment de l'intervention dans la période d'aménagement. Pour éliminer des différences systématiques, il convient de le calculer sur un nombre relativement élevé de coupes différentes. On notera par ailleurs que les réalisations forcées (chablis et autres) ont été inclues aux calculs. Ces chablis sont en futaie jardinée de peu d'importance par rapport à la coupe principale, selon les statistiques d'entreprise de l'ordre de 6 %.

Afin de voir les différences éventuelles de la conception personnelle des sylviculteurs dans la pratique du jardinage, nous avons déterminé le taux d'intervention pour une vingtaine de divisions des forêts publiques de la ré-

gion qui nous occupe, divisions choisies pour leur structure proche de l'équilibre et sises sur des stations identiques: hêtraie à sapin, sur des expositions de nord à ouest, séparément pour les 5 chefs d'entreprise de l'actuel 7e arrondissement forestier neuchâtelois, de 1900 à 1971. Les interventions en périodes d'économie de guerre ont été exclues des calculs. Les résultats sont représentés à la fig. 5. Ils se rapportent bien sûr surtout à des interventions d'éclaircie jardinatoire plus que de jardinage, puisque les peuplements considérés n'ont pas tous atteint et tant s'en faut une structure jardinée optimale. Ils sont cependant représentatifs puisque portant sur une longue durée de temps du caractère général des interventions pratiquées.

Figure 5. Intervention de jardinage de cinq chefs d'entreprise de 1900 à 1971, dans les mêmes divisions
Taux d'intervention par catégories de diamètre, en % des tiges initiales



Echantillon: 20 divisions des forêts publiques du 7e arrondissement NE, hêtraie à sapin, exposition W et N.
Interventions en période d'économie de guerre exclues.

D'une façon générale l'intervention augmente progressivement avec le diamètre, d'abord lentement jusqu'aux diamètres 60/65 environ et puis plus fortement. C'est là, comme l'a montré *Gauchat* (1968), la différence entre l'effet des opérations à caractère éducatif (sélection) en deçà de cette limite, et de la récolte proprement dite au-delà. Pour une intervention de jardinage

typique la courbe du taux d'intervention doit atteindre et dépasser 100 % à la dimension estimée comme maximale, eu égard aux conditions de station et de technique de récolte.

Ces cinq interventions moyennes illustrent fort bien les différences de conception sylvicole personnelle du jardinage des sylviculteurs concernés. A part la courbe 4 qui suit un cours nettement plus bas que les autres, caractérisant une modération d'intervention dans toutes les catégories de diamètre, on est frappé par la bonne concordance des quatre autres interventions entre 35 et 65 cm de diamètre. On expliquera cette concordance par le fait qu'entre ces limites se trouvent les arbres ayant déjà passé les écueils de la sélection, mais qui n'ont pas encore atteint des dimensions favorables de réalisation. En deçà et au-delà de ces limites apparaissent des différences assez nettes dans la conception des interventions. Entre 20 et 35/40 cm[1], dans les diamètres où se pratique la sélection, on voit des différences nettes, allant de 10 à 20 % de réalisation; ce qui pour ces catégories est beaucoup. Dans le cas maximum (sylviculteur 1) 20 % des tiges sont réalisées par catégories de diamètre en sélection, la courbe montrant bien par une descente l'effet de la sélection. Pour les autres sylviculteurs les niveaux d'intervention s'échelonnent à 17, 15, 12 et jusqu'à moins de 10 % pour l'intervention la plus faible[2]. Il ne nous appartient pas de définir ici si l'un des sylviculteurs en question fait mieux qu'un autre. La sélection peut (doit) d'ailleurs se pratiquer bien avant que les arbres aient dépassé le seuil d'inventaire, et l'important est que la sélection nécessaire au développement qualitatif optimal des arbres soit pratiquée.

Au delà de 65 cm de diamètre on constate à nouveau des différences, caractéristiques de la conception de la récolte des bois. Les sylviculteurs 1 et 3 réalisent les bois à des dimensions moins fortes que les trois autres. Nous reviendrons plus loin sur les répercussions de ces différences.

Comparée aux données citées par Mitscherlich (1961): 19 % d'intervention entre 20 et 29 cm, 18 % entre 30 et 39 et 32 % entre 40 et 49, l'intervention pratiquée ici est plus modérée, mais les forêts jardinées de la Forêt-Noire sur lesquelles porte l'étude de Mitscherlich sont nettement moins riches en volume sur pied et surtout en gros bois. Le genre de jardinage pra-

[1] On fera abstraction de la forme descendante de la courbe dans la catégorie 20, due à l'erreur systématique déjà mentionnée plus haut, des arbres non incorporés au contrôle des exploitations.

[2] Ces différences de niveau des interventions sont bien spécifiques aux sylviculteurs concernés et non pas influencées par le nombre de tiges réelles dans les catégories de diamètre concernées, comme on pourrait le supposer. Une vérification a montré que pour les 5 sylviculteurs il y avait en moyenne pour les divisions étudiées pratiquement les mêmes nombre de tiges dans les catégories 20 à 40.

tiqué dans ce travail vise une production de bois de dimensions très moyennes, possible seulement avec des interventions plus fortes dans les catégories inférieures et moyennes.

9. Modèle des conditions d'équilibre de la distribution des tiges par catégories de diamètre

Connaissant la vitesse de croissance, donnée par le taux de passage par catégorie de diamètre (p_i) et le taux d'intervention (e_i), on peut calculer une série de distributions des tiges par catégories de diamètre parfaitement équilibrées, c'est-à-dire qui restent constantes au cours du temps sous l'effet de l'accroissement et des interventions, en formulant les conditions d'équilibre suivantes:

a) Pour chaque catégorie de diamètre, au cours d'une période d'accroissement donnée (ici 10 ans), l'apport d'arbres provenant de la catégorie juste inférieure (passage intérieur) doit être égal au passage de tiges à la catégorie supérieure (passage extérieur) ajouté des exploitations réalisées pendant la période en question. Nous reprenons ici la formulation de François (1938):

$$n_{i-1} \cdot p_{i-1} = n_i \cdot p_i + n_i \cdot e_i \qquad (1)$$

Ainsi selon que l'on connaisse n_i ou n_{i-1} (nombre de tiges dans la catégorie de diamètre i ou i—1) on peut calculer toute la série des n_{i-1} (respectivement n_i), selon que l'on calcule de haut en bas ou de bas en haut des catégories de diamètre. Donc en partant d'un effectif quelconque dans la première catégorie de diamètre (ou la dernière) on peut calculer la distribution des tiges théorique répondant à la condition d'équilibre mentionnée ci-dessus. Pour un genre d'intervention et une vitesse de croissance donnés, il y a donc autant de distribution des tiges en équilibre que d'arbres possibles dans la première (ou la dernière) catégorie de diamètre, donc une multitude. Parmi toutes ces possibilités, il en est un grand nombre de biologiquement impossible: par exemple une distribution donnant un volume à l'ha de 2000 sv. Cette première condition d'équilibre ne suffit donc pas à elle seule; il faut la compléter:

b) Il faut que le passage à la futaie en nombre de tiges (Pas) soit suffisant pour compenser la perte d'effectif de la première catégorie de diamètre. Le passage à la futaie nécessaire se calcule ainsi:

$$\text{Pas} = n_1 \cdot (e_1 + p_1) \qquad (2)$$

Parmi toutes les distributions des tiges possibles calculées selon (1), seules peuvent être retenues celles pour lesquelles le passage à la futaie nécessaire (calculé par la formule [2]) correspond à une réalité biologique, compte tenu des conditions de densité du modèle calculé (cf. fig. 4).

9.1 Ajustement de la vitesse de croissance aux conditions de densité

Nous avons vu au tableau 2 une certaine interdépendance entre la densité des peuplements, exprimée par la somme des surfaces circulaires des arbres égaux et plus grands ($Gcum_i$) et le taux de passage; ceci en tous cas de 45 à 70 cm de diamètre. Cette interrelation s'exprime par la régression du taux de passage en fonction de Gcum. Il faut donc adapter le taux de passage à la densité de la façon suivante:

$$p_i = a_i + b_i \cdot Gcum_i \tag{3}$$

où a_i et b_i sont les coefficients de régressions pour chaque catégorie de diamètre, calculées au tabl. 2.

Pour une catégorie de diamètre (i) donnée, connaissant en outre son nombre de tiges (n_i), le taux de passage (p_i), le taux d'intervention (e_i), les coefficients de régression du taux de passage en fonction de la densité (a_{i-1} et b_{i-1}) et la surface circulaire d'un arbre de la catégorie i (g_i), on peut en modifiant les formules (3) et (1) mettre sur pied un système de deux équations à deux inconnues: le taux de passage et le nombre de tiges de la catégorie inférieure p_{i-1} et n_{i-1}:

$$p_{i-1} = a_{i-1} + b_{i-1} \cdot (Gcum_i + n_{i-1} \cdot g_{i-1}) \tag{3b}$$

$$n_{i-1} = n_i \cdot (e_i + p_i) / p_{i-1} \tag{1b}$$

On peut résoudre par substitution, selon p_{i-1} ou n_{i-1}. Ci-dessous la résolution de p_{i-1}, le taux de passage de la catégorie inférieure, ajusté à la densité:

$$(p_{i-1})^2 - \underbrace{(a_{i-1} + b_{i-1} \cdot Gcum_i) \cdot p_{i-1}}_{A} - \underbrace{(b_{i-1} \cdot g_{i-1} \cdot n_i \cdot (e_i + p_i))}_{B} = 0 \tag{4}$$

$$p_{i-1\,1,2} = A/2 \mp \sqrt[2]{(A/2)^2 + B} \tag{4b}$$

une des deux solutions est biologiquement impossible. En retenant la solution de l'addition de la racine du déterminant on obtient le p_{i-1} recherché. Ainsi, connaissant le nombre de tiges d'une catégorie de diamètre donnée, on peut calculer le taux de passage de la catégorie inférieure qui correspond aux conditions réelles de densité. La distribution des tiges par catégories de diamètre en équilibre peut dès lors se calculer catégorie par catégorie selon les

modalités décrites au chapitre précédent (Formules [1 b] et [2]), en commençant le calcul par la catégorie de diamètre la plus élevée. Un tel calcul peut se faire pour à peu près n'importe quel genre d'intervention[1].

On trouvera donc autant de positions d'équilibre que de conception des interventions.

Les distributions des tiges ainsi calculées ont les caractéristiques suivantes:

— elles respectent la réalité biologique de la régénération, puisque la position d'équilibre correspond à un passage à la futaie effectif, nécessaire au maintien à long terme de l'équilibre, passage à la futaie lui-même en corrélation avec la structure des peuplements (fig. 4);

— elles respectent les réalités biologiques des interrelations entre la structure des peuplements et la vitesse de croissance;

— la coupe réalisée correspond en grandeur à l'accroissement, puisque par définition de l'équilibre, les coupes sont égales à la capitalisation[2].

9.2 Modalités de calcul du modèle déterminant la position d'équilibre

Le modèle permettant de déterminer la distribution des tiges en équilibre se fonde sur les conditions mises en évidence aux deux chapitres précédents. On utilise les données originales des taux de passage moyen et les coefficients de régression de ce taux en fonction de Gcum (a_i et b_i), pour chaque catégorie de diamètre, tels que présentés au tableau 2. Les interventions quant à elles sont simulées et apparaissent comme variante de calcul (voir plus loin).

On tient compte de l'effet de la densité sur la croissance entre 20 et 70 cm de diamètre, en ajustant les taux de passage en fonction de la surface

[1] Pour autant que celui-ci permette une capitalisation des tiges, car sinon l'équilibre n'est pas possible.

[2] On rappellera que l'accroissement effectif est donné par la somme des passages à la futaie multipliée par les différences de tarif correspondantes, cette grandeur étant comme l'a montré Weidmann (1961) identique en grandeur à la somme des arbres capitalisés multiplié par le tarif.

terrière (Gcum) à l'aide des régressions calculées[1]. Au delà de 70 cm, le taux de passage est considéré comme indépendant de la densité, étant donné que les coefficients de corrélation ne sont pas distincts de 0[2]. Pour un effectif d'arbres quelconque dans la catégorie de diamètre la plus élevée, on calcule les nombre de tiges des catégories inférieures à l'aide de la formule (1 b), dès la catégorie de diamètre 70 il convient au préalable d'ajuster le taux de passage à la densité du modèle que l'on calcule en appliquant les formules (4) et (4 b).

La distribution des tiges en équilibre par catégories de diamètre ainsi déterminée, on calcule le passage à la futaie nécessaire au maintien de l'équilibre à l'aide de la formule (2), ainsi que le volume sur pied correspondant du modèle (somme des nombres de tiges · tarif).

Selon l'effectif de la catégorie de diamètre supérieure que l'on fait varier arbitrairement, on peut calculer une quantité de distributions des tiges équilibrées. Parmi celles-ci seules sont à retenir celles pour lesquelles la relation entre le volume sur pied et le passage à la futaie nécessaire au maintien de l'équilibre correspondent aux conditions réelles de passage à la futaie, telles que trouvées à la fig. 4. Par itération successive et à l'aide d'une représentation graphique des relations entre effectif de la catégorie supérieure, volume du modèle correspondant, passage à la futaie calculé et réel, on détermine assez facilement la distribution des tiges équilibrée finale.

Du modèle final ainsi déterminé on peut calculer les valeurs correspondantes de volume sur pied (nombre de tiges · tarif) de l'accroissement en volume (nombre de tiges · taux de passage · différence de tarif) et de volume des exploitations (nombre de tiges · taux d'exploitation · tarif) par catégories de diamètre.

10. Effet de différentes intensités de traitement sur l'équilibre et la production des peuplements

Le modèle exposé ci-avant permet de déterminer les distributions des tiges en équilibre correspondant à différents traitements sylvicoles simulés. Un premier calcul vise à répondre à la question suivante: Quel est l'effet de l'intensité d'intervention de jardinage dans les catégories de diamètre où se pratique la sélection sur l'équilibre des peuplements et leur production?

[1] Ceci bien que les coefficients de corrélation ne soient pas significativement distincts de 0 entre 20 et 40 cm de diamètre. Si l'on applique tout de même le rapport entre la densité et le taux de passage pour ces diamètres, c'est pour éviter des discontinuités dans le modèle de distribution des tiges en équilibre, et que de toute façon, les pentes des droites de régression de ces catégories sont si faibles que cela ne modifie pratiquement pas les résultats.

[2] Cette option fait que pour certaines densités on peut assister à un saut subit du taux de passage calculé, entre 70 et 75 cm de diamètre. Il s'ensuit une certaine discontinuité des courbes (cf. fig. 8 p. ex.).

On a choisi trois variantes de traitement données par le taux d'intervention par catégories de diamètre, dont le cours correspond à celui constaté réellement (fig. 5) mais à différents niveaux d'intervention dans les catégories 20 à 55. Les trois variantes admettent les mêmes objectifs de récolte: diamètre maximum de 100 cm. Elles se distinguent donc surtout dans la partie inférieure du taux d'intervention, pour converger ensuite vers la même valeur.

Variante A: très forte intervention de sélection
taux d'intervention entre 20 et 55 cm de diamètre de 15 à 25 %
cette variante dépasse en intensité la courbe la plus élevée de la fig. 5

Variante B: intervention de sélection normale
taux d'intervention dans les petits diamètres de 11 à 20 %
correspond aux interventions moyennes des sylviculteurs 1, 2, 3 et 5

Variante C: faible intervention de sélection
taux d'intervention dans les petits diamètres de 8 à 13 %
correspond à l'intervention du sylviculteur 4

Les valeurs des taux d'intervention de ces variantes simulées sont récapitulées au tableau 3.

Les résultats des calculs sont récapitulés à la fig. 6. Ils montrent pour les trois variantes de traitement admises, l'accroissement courant et le passage à la futaie en fonction des volumes sur pied correspondant aux positions d'équilibres calculées. Pour chaque variante, on indique trois valeurs pour chaque grandeur: les deux valeurs extrêmes et la valeur médiane, correspondantes au cadre donné du cours réel du passage à la futaie (fig. 4).

Ces résultats permettent les constatations suivantes:

1. Plus l'intervention sylvicole de jardinage est forte dans les catégories de diamètre où s'opère la sélection, plus l'équilibre des peuplements se réalise à un volume sur pied bas, car plus il faut de passage à la futaie pour compenser les éliminations d'arbres réalisés en coupe.

2. Pour une intervention donnée, l'équilibre structurel des peuplements se trouve à un volume sur pied d'autant plus élevé et la production est d'autant meilleure que le passage à la futaie est élevé (que les conditions locales de régénération sont favorables).

Tableau 3. Taux d'intervention (e_i) admis pour les différentes variantes de traitement utilisées pour les calculs de simulation

	variantes des conceptions de sélection			*variantes des conceptions de récolte*						
sélection:	*forte*	*normale*	*faible*				*normale*			
d_{max}:	*100*	*100*	*100*	*60*	*70*	*80*	*90*	*100*	*110*	*120*
variante:	*A*	*B*	*C*	b_3	b_4	b_2	b_5	*B*	b_7	b_6
catégories de diamètres										
20	0,156	0,112	0,077	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112
25	0.164	0,120	0,081	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
30	0,174	0,129	0,084	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129
35	0,185	0,138	0,090	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
40	0,198	0,151	0,097	0,158	0,154	0,155	0,150	0,151	0,149	0,149
45	0,214	0,165	0,107	0,222	0,186	0,165	0,165	0,165	0,160	0,160
50	0,233	0,181	0,119	0,366	0,233	0,193	0,188	0,181	0,172	0,169
55	0,256	0,198	0,134	0,670	0,318	0,234	0,217	0,198	0,187	0,181
60	0,283	0,222	0,153	1,000	0,452	0,301	0,253	0,222	0,204	0,194
65	0,321	0,250	0,175	∞	0,700	0,395	0,301	0,250	0,225	0,209
70	0,372	0,293	0,206		1,000	0,528	0,375	0,293	0,253	0,228
75	0,433	0,353	0,252		∞	0,760	0,475	0,353	0,288	0,250
80	0,517	0,437	0,325			1,000	0,610	0,437	0,340	0,280
85	0,625	0,545	0,445			∞	0,812	0,545	0,412	0,320
90	0,755	0,700	0,625				1,000	0,700	0,500	0,372
95	0,885	0,860	0,820				∞	0,860	0,625	0,442
100	1,000	1,000	1,000					1,000	0,750	0,532
105	∞	∞	∞					∞	0,885	0,655
110									1,000	0,772
115									∞	0,887
120										1,000
125										∞

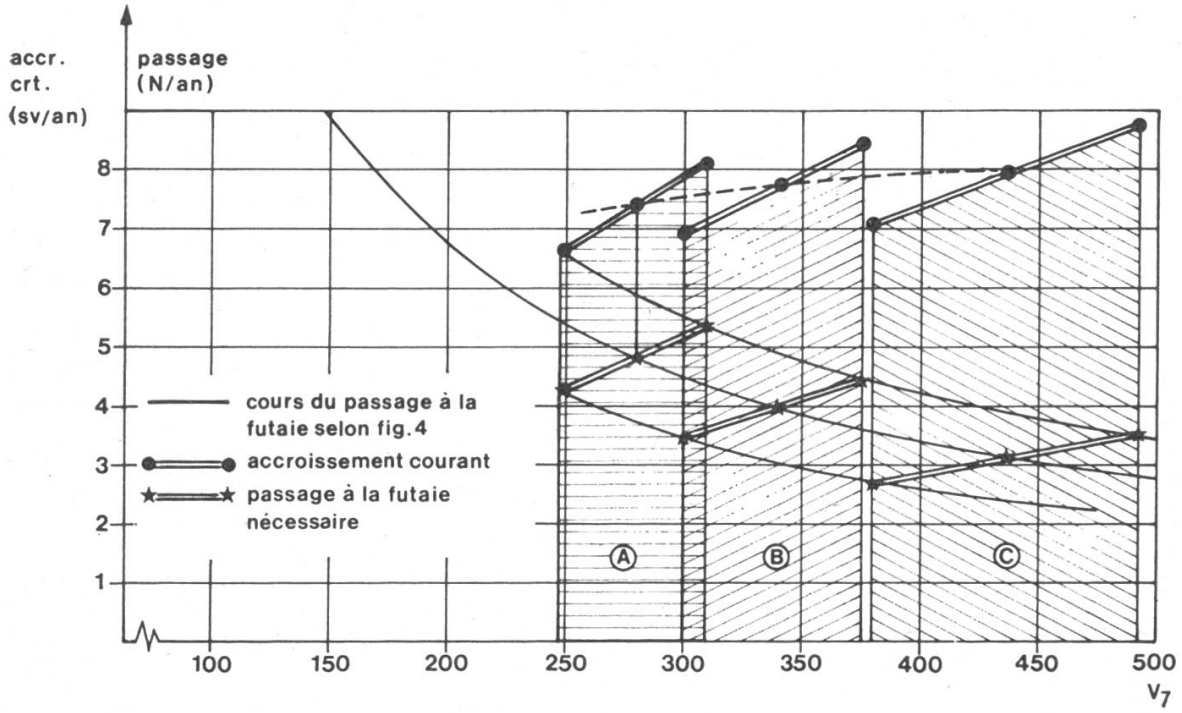
3. La production (l'accroissement) n'est que faiblement influencée par l'intensité du traitement. Pour un passage à la futaie normal (valeurs médianes) l'accroissement correspondant aux positions d'équilibre est respectivement de 7,4, 7,7 et 7,9 sv/an soit une différence de ± 3,2 % entre les trois variantes A, B et C. Les volumes sur pied correspondant sont cependant très différents. L'augmentation du capital producteur est donc compensée dans une large mesure par la diminution de la vitesse de croissance sous l'effet de la densité.

4. Un léger avantage de production va tout de même à la variante où la sélection est la plus faible.

L'on voit donc le rôle déterminant du passage à la futaie sur la position d'équilibre et sur la production. *Un bon passage à la futaie permet de réali-*

ser l'équilibre à un volume sur pied supérieur et partant d'augmenter sensiblement la production, bien plus que ne le fait l'intensité du traitement sylvicole. En pratique ce seront donc en premier lieu les conditions de passage à la futaie qui détermineront la position d'équilibre optimale.

Figure 6. Accroissement courant, passage à la futaie et volume sur pied correspondants aux positions d'équilibre jardiné, pour trois variantes d'interventions sylvicoles



Variante A: fortes interventions de sélection
Variante B: interventions «normales»
Variante C: faibles interventions de sélection

Tableau 4. Répartition en % par classes de grosseur des volumes sur pied et volumes exploités en coupe correspondant aux positions d'équilibre jardiné des trois variantes de traitement de sélection

Variante	A	B	C
Composition du volume sur pied (%)			
Petits bois (17,5—32,5)	23	18	13
Bois moyens (32,5—52,5)	40	37	33
Gros bois (52,5 +)	37	45	54
Composition des volumes exploités en coupe			
Petits bois	15	10	6
Bois moyens	31	26	19
Gros bois	54	64	75
Volume sur pied par ha (sv)	280	340	435

Le tableau 4 récapitule les répartitions en % des volumes sur pied et des coupes par classes de grosseur des positions d'équilibre moyennes pour les trois variantes calculées. Nous renonçons à analyser en détail ces données, qui n'ont de signification que pour ceux qui utilisent les mêmes classes de grosseur. Nous noterons seulement la part importante occupée par les bois moyens pour les trois positions d'équilibre, part s'élevant de 33 à 40 % du volume total.

11. Effet de différents objectifs de récolte du traitement de jardinage sur l'équilibre et la production des peuplements

Nous avons vu que l'intervention de jardinage pouvait procéder de conceptions différentes quant à la récolte des bois, selon les objectifs de grosseurs des arbres à produire et à récolter. Selon la fertilité des stations, la densité des réseaux de desserte, la pente du terrain, les techniques de débardage (câblage), la clientèle des acheteurs de bois, on visera à ne pas dépasser un certain diamètre maximal de production. Il est bien entendu que cette notion de diamètre maximal ne doit pas être rigide mais représente une ligne directrice générale, bien d'autres critères que sa grosseur intervenant dans la décision de récolter un arbre.

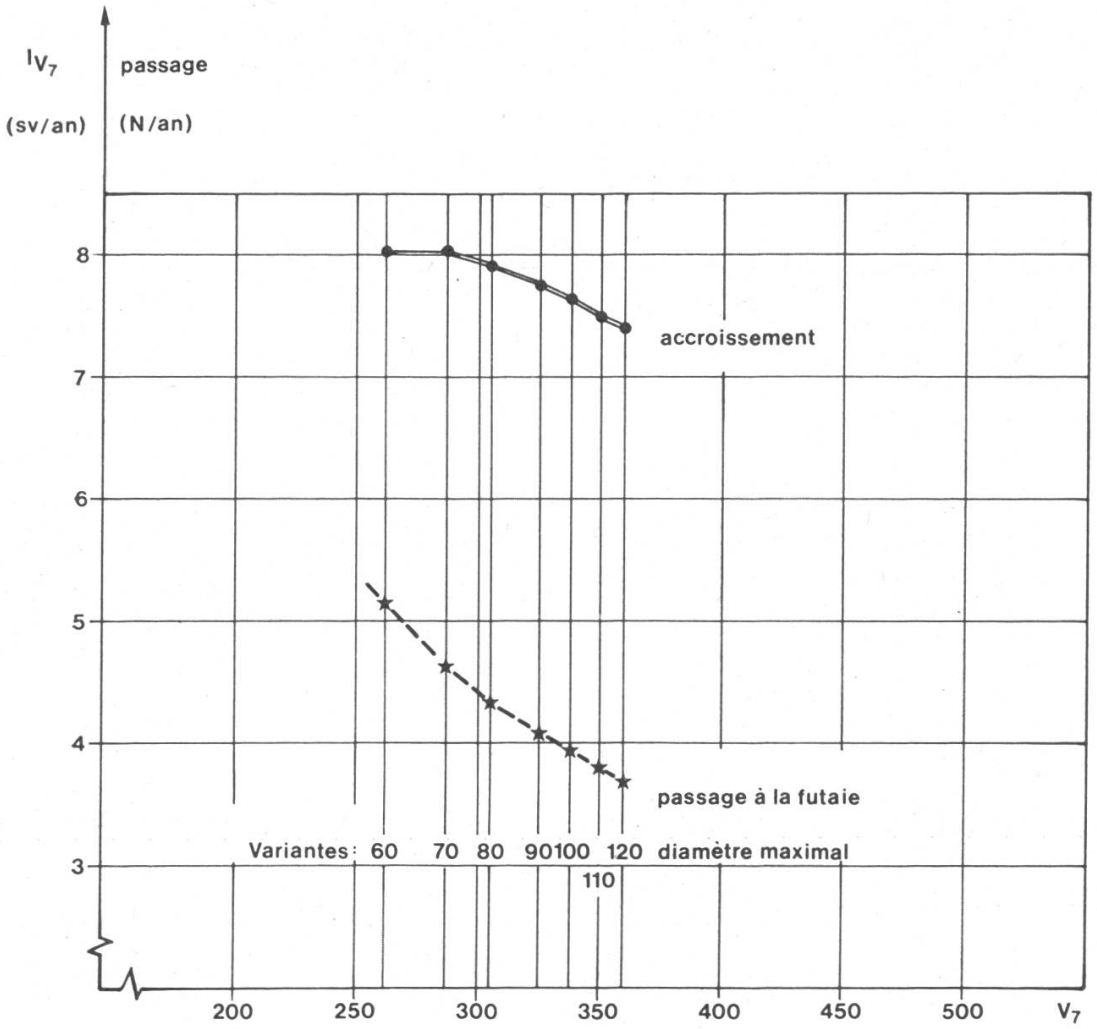
Pour répondre à la question de savoir quelles sont les répercussions sur les positions d'équilibre et la production des dimensions d'exploitation en forêt jardinée, nous avons pratiqué une nouvelle simulation avec 7 variantes de traitement, identiques en intensité dans les diamètres de sélection (catégories de diamètre inférieures) et correspondant à la variante moyenne B utilisée plus haut, mais tendant à exploiter 100 % des arbres à différents diamètres, allant de 60 à 120 cm (variantes b3, b4, b2, b5, B, b7 et b6). Les valeurs de ces variantes sont indiquées au tableau 3.

Pour chaque variante nous n'avons retenu ici que la position d'équilibre moyenne, correspondante à un passage à la futaie moyen. Il est bien entendu qu'en réalité on aura pour chaque variante une variation des valeurs identique à celle montrée à la fig. 6. Les résultats de production, de passage à la futaie et de volume sur pied sont présentés à la fig. 7 et appellent les constatations suivantes:

1. Plus le diamètre maximal de production est élevé, plus la position d'équilibre se trouve à un volume sur pied élevé. La durée de production des bois (période de révolution) étant plus élevée.
2. La production (accroissement courant) est d'autant plus favorable que le diamètre maximal est petit. L'augmentation de la production est nette pour une diminution du diamètre d'exploitation de 120 à 80, elle est beaucoup plus lente avec la diminution de 80 à 60 et atteint apparemment

un maximum. La diminution de capital producteur est donc plus que compensée par une meilleure répartition de l'accroissement. Kurth et Badoux (1964) ont déjà démontré, mais d'une manière différente, cette diminution de production des gros bois. On notera cependant que la différence de production entre toutes ces variantes n'est pas très importante.

Figure 7. Accroissement courant, passage à la futaie et volume sur pied de futaies jardinées en équilibre, pour différentes variantes d'interventions sylvicoles échelonnées selon la grosseur maximale des bois à produire



Il apparaît donc, ajouté au fait que l'accumulation de gros bois conduit à des variations importantes d'accroissement sous l'effet des conditions météorologiques, que la production de bois de trop fortes dimensions n'est pas favorable à la production.

La fig. 8 montre les courbes de distribution des tiges en équilibre de quatre de ces sept variantes, ainsi que la répartition de l'accroissement en volume et des interventions par catégories de diamètre. L'on constatera qu'excepté pour la variante extrême ($d_{max} = 60$) les conditions d'accroissement et la répartition des volumes exploités sont assez identiques entre les variantes. La représentation graphique des distributions des nombres de tiges par catégories de diamètre met en évidence la faible différence de nombre de tiges entre les quatre variantes, dans les catégories inférieures. Cette faible différence n'est qu'apparente. Elle est due à la représentation semi-logarithmique qui présente l'avantage de redresser quelque peu les distributions réelles exponentielles, mais a le grand défaut de modifier complètement l'échelle des valeurs réelles.

Le tableau 5 récapitule les distributions en pourcents par classes de grosseur, des positions d'équilibre ainsi calculées.

12. Conclusions

Pour une analyse des résultats de telles simulations, il est important de garder présent à l'esprit que de tels exercices se fondent sur des données de croissance moyennes. En réalité les contingences extérieures (conditions météorologiques surtout) font que les peuplements évolueront à moyen-court terme de façon peut-être assez différente du modèle. Une position d'équilibre n'est donc qu'un schéma général qui ne peut (doit) pas être maintenu à tous prix. Sous l'effet de conditions extérieures favorables ou défavorables, l'évolution des peuplements suivra un mouvement pendulaire de part et d'autre de la position moyenne. Il est donc évident que les modèles présentés dans ce travail ne peuvent servir qu'à des décisions ou projections de portée générale et valable à moyen-long terme, telles que:

— choix des conceptions sylvicoles à adopter en général comme en particulier, selon les conditions de station et d'entreprise.

— la détermination des types de structure à atteindre, une fois les objectifs généraux fixés.

Le choix des solutions de traitement optimales procède comme nous l'avons déjà indiqué, de l'analyse de l'ensemble des contingences forestières entrant en ligne de compte. La solution maximale sur le plan de la production en masse, n'est pas forcément la meilleure. Le développement qualitatif joue un rôle certain; les conditions météorologiques qui font que les gros bois présentent des fluctuations d'accroissement plus importantes que les bois moyens, fluctuations que l'on cherche à éviter, font qu'à égalité de pro-

Figure 8. Distribution des tiges, volume des interventions et accroissements en volume par catégories de diamètre, de futaies jardinées en équilibre pour quatre variantes d'interventions sylvicoles échelonnées selon la grosseur maximale des bois à produire

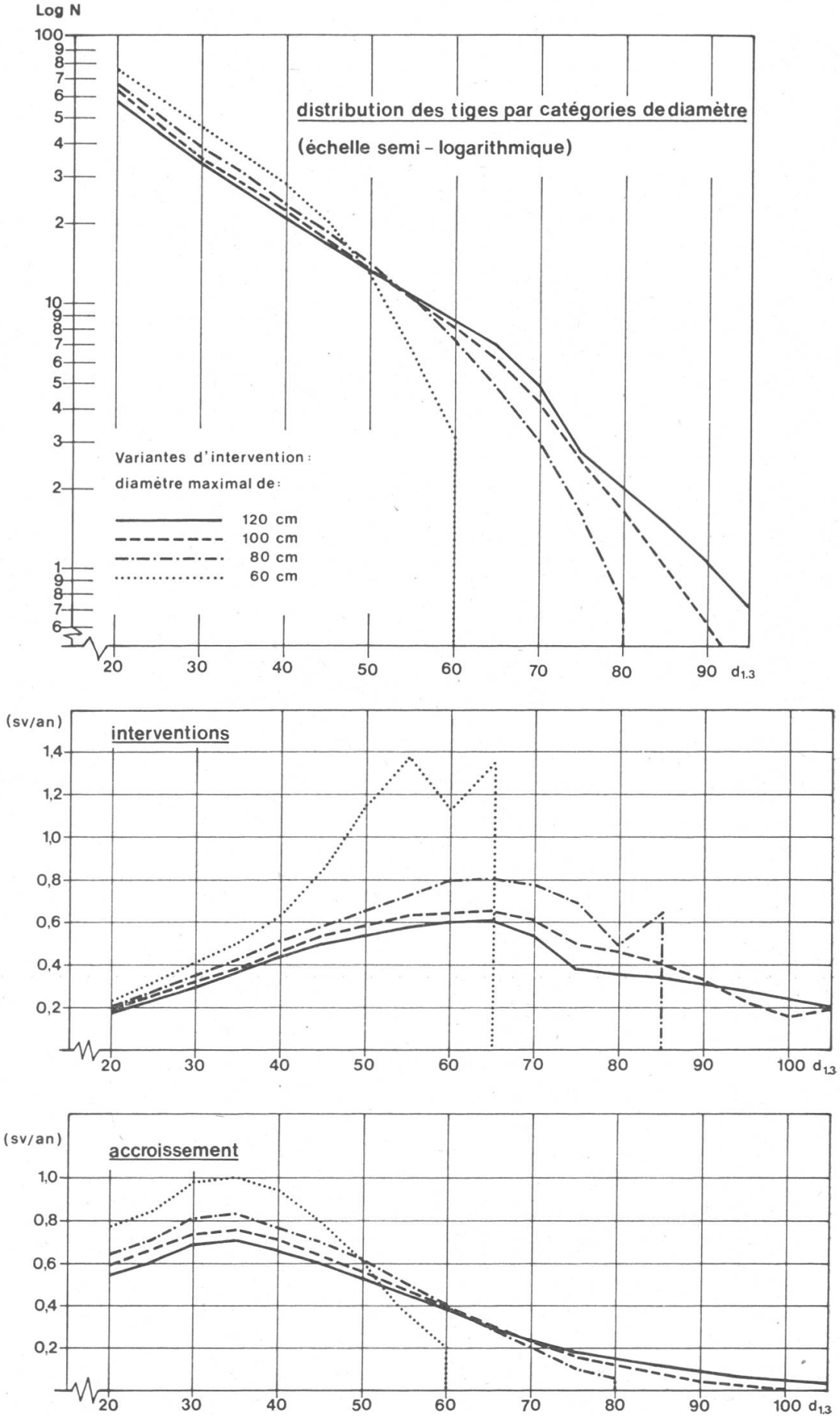


Tableau 5. Composition centésimale par classe de grosseur des volumes sur pied, accroissements et volumes exploités en coupe correspondant aux positions d'équilibre jardiné des 7 variantes de traitement échelonnées selon la grosseur maximale des bois à produire

variante		*volume sur pied*				*accroissement*					*coupe*			
no	d_{max}	*total sv/ha*	*répartition en %* *PB*	*MB*	*GB*	*total sv/ha/an*	*passage*	*répartition en %* *PB*	*MB*	*GB*	*total sv/ha/an*	*répartition en %* *PB*	*MB*	*GB*
b3	60	261	30,7	57,0	12,3	7,86	17,4	32,6	42,6	7,4	7,84	12,1	39,6	48,3
b4	70	287	25,3	49,5	25,2	7,82	15,7	29,4	39,6	15,3	7,83	11,0	31,4	57,6
b2	80	305	21,8	43,5	34,7	7,74	14,8	27,5	37,4	20,3	7,74	10,4	27,9	61,7
b5	90	325	19,9	40,0	40,1	7,60	14,3	26,5	36,2	23,0	7,60	10,1	26,9	63,0
B	100	338	18,4	37,1	44,5	7,49	13,9	25,8	35,1	25,2	7,48	9,8	26,1	64,0
b7	110	349	17,1	34,9	48,0	7,35	13,6	25,1	34,4	26,9	7,34	9,7	25,2	65,1
b6	120	359	16,3	33,2	50,4	7,27	13,5	24,8	33,7	28,0	7,26	9,6	24,9	65,5

PM = Petits bois de 17,5—32,5 cm
MB = Bois moyens de 32,5—52,5 cm
GB = Gros bois, plus de 52,5 cm

duction (ou presque) on a avantage à choisir une politique d'intervention plutôt moyenne qu'extrême; le potentiel de production des individus joue aussi un rôle non négligeable comme nous l'avions montré (*Schütz,* 1969). On soulignera encore que la méthode utilisée pour le calcul de l'accroissement est soumise à certaines erreurs systématiques. Par dessus le marché, le volume et son accroissement ne sont déterminés qu'avec une seule variable, le diamètre à hauteur de poitrine. Or ce diamètre est une mauvaise grandeur dendrométrique pour ce qui concerne la détermination du volume, surtout pour les gros diamètres car fortement influencé par l'empattement des racines.

Tous ces éléments et bien d'autres entrent en jeu dans le choix de la solution optimale finale.

13. Importance des résultats sur les décisions sylvicoles au niveau des peuplements (divisions)

Les peuplements réels, même proches d'un équilibre jardinatoire, n'atteignent jamais la position idéale et tant s'en faut. Il serait illusoire de vouloir à tout prix leur faire respecter, suivre une position d'équilibre choisie a priori. Un déséquilibre de la production ne se fera sentir que lors de grandes divergences de l'objectif fixé. A notre avis, l'important est d'éviter des déséquilibres marqués de production et pour celà il est essentiel de s'assurer que le passage à la futaie permette le maintien de l'équilibre. Il serait cependant malheureux de vouloir adapter le passage à la futaie à une structure fixée. Cette façon de procéder peut nécessiter des modifications trop brutales de l'état actuel du peuplement. De telles modifications de structure sont nuisibles, et de toute façon portent leurs fruits beaucoup trop tard, alors que l'évolution réelle des peuplements peut avoir dépassé l'intention sylvicole initiale, par une accélération irréversible du processus entrepris, contribuant à déséquilibrer encore plus le peuplement. Il est plus sage d'adapter le traitement et les objectifs sylvicoles aux conditions actuelles, réelles de passage à la futaie. Il faut choisir une position d'équilibre provisoire compatible dans la mesure du possible avec le passage à la futaie enregistré réellement, et y adapter le traitement sylvicole et les objectifs de structure correspondants.

14. Interventions sylvicoles dans les peuplements déséquilibrés, éclaircie jardinatoire

La pratique de l'éclaircie jardinatoire dans les peuplements encore assez éloignés d'une structure équilibrée pose souvent des problèmes délicats aux

sylviculteurs. L'utilisation optimale du potentiel de production prêche pour une conversion lente, les impératifs de production primant ceux de l'équilibre de la structure. Il existe cependant un danger, dans les peuplements riches en gros bois ou sur les stations médiocres, celui de prolonger trop longtemps l'utilisation du vieux capital producteur et de devoir ensuite le réaliser trop rapidement parce que son vieillissement s'est accentué irrémédiablement, gagnant de vitesse le sylviculteur et compromettant pour longtemps, si ce n'est définitivement, la recherche de l'équilibre de structure.

Dans la pratique de l'éclaircie jardinatoire, c'est à nouveau le passage à la futaie qui nous paraît déterminant. Il convient à notre avis d'adapter ici aussi le traitement et les objectifs de production aux conditions du moment. Les calculs de ce travail ont en effet montré un résultat très important, c'est que les conditions de production n'étaient pas très différentes dans de larges limites de volume sur pied et de traitement. En présence d'un passage à la futaie faible on cherchera d'abord à atteindre une position d'équilibre provisoire compatible ou proche des conditions existantes de passage à la futaie. Cette position sera celle d'un peuplement à relativement fort matériel sur pied et où on applique un traitement très modéré dans les jeunes arbres. Il est cependant important alors d'essayer d'ajuster les distributions des tiges dans les catégories de diamètre inférieures au modèle provisoire et de s'assurer que le passage à la futaie reste suffisant à la réalisation de l'équilibre. Ce n'est qu'une fois l'équilibre atteint qu'on pourra progressivement passer à une position d'équilibre différente, plus optimale.

Inversément, avec un passage à la futaie élevé, on visera une position d'équilibre avec un matériel sur pied bas et un traitement intensif de sélection. Ce n'est que plus tard, une fois l'équilibre provisoire atteint (du moins dans les catégories inférieures) qu'il faudra capitaliser en passant progressivement à une position d'équilibre plus favorable.

Un problème délicat est posé par les peuplements à deux étages, ceux où sous le couvert d'un vieux peuplement clairiéré s'est développé une deuxième génération. Dans un tel cas, si l'on veut obtenir une structure jardinée, il faut à notre avis, dans une première phase tenter une certaine différenciation de la structure, en accélérant le développement de la deuxième génération par petits groupes, en la tempérant ailleurs. Cette opération de différenciation portera de meilleurs effets si elle se prolonge longtemps. Sa durée dépend cependant de la fertilité de la station et de l'état de vieillissement de la première génération. Plus le vieillissement de l'étage supérieur peut se prolonger sans difficultés, mieux réussira l'opération. Sur les stations sèches on risque que le vieux peuplement, vieillissant prématurément file trop rapidement entre les doigts du sylviculteur. A la phase de différenciation devrait suivre une phase de liquidation progressive des vieux bois et de recherche

d'une position d'équilibre avec un matériel sur pied relativement bas et des interventions intensives. Ce n'est que beaucoup plus tard qu'il faudra passer progressivement à des positions d'équilibre plus conformes au choix optimal du sylviculteur, en favorisant une certaine capitalisation.

L'on voit donc que l'intervention de l'éclaircie jardinatoire demande au sylviculteur une très grande souplesse dans ses interventions, qu'il doit pratiquement adapter à chaque peuplement, à chaque condition actuelle de structure et cela n'est pas chose aisée. Bien plus qu'ailleurs encore le schématisme et l'uniformité sont à éviter dans la pratique du jardinage et de l'éclaircie jardinatoire.

Sommaire

Connaissant la vitesse de croissance en diamètre des arbres de futaie jardinée jurassienne et sa dépendance des conditions de densité des peuplements, données tirées des aménagements par la méthode du contrôle; on élabore pour un traitement sylvicole donné un modèle permettant de calculer la distribution des tiges par catégories de diamètre en équilibre, c'est-à-dire restant constante au cours du temps.

Ce modèle permet de simuler l'effet de différents genres d'interventions de jardinage, proches d'interventions réelles, sur les conditions de structure et de production correspondantes des peuplements en équilibre jardiné.

Zusammenfassung

Dynamik und Bedingungen des Strukturgleichgewichtes von Plenterbeständen auf Standorten des Tannen-Buchenwaldes

Die vorliegende Arbeit versucht die Bedingungen zu ermitteln, unter denen sich das strukturelle Gleichgewicht von Plenterbeständen einstellen kann; ferner werden die Folgen erörtert, die sich daraus hinsichtlich Produktion (Zuwachs) ergeben. Die Untersuchungen beziehen sich auf jurassische Plenterwälder der mittleren Bergstufe, die auf frischen Standorten des Tannen-Buchenwaldes mit Waldschwingel stocken.

Unter Gleichgewicht ist in dieser Arbeit eine Stammzahlverteilung auf die Durchmesserstufen zu verstehen, die unter Einfluss von Zuwachs und Nutzung im Laufe der Zeit konstant bleibt. Die Bestimmung des Gleichgewichtszustandes erfordert also gute Kenntnisse der Wachstumsbedingungen und der waldbaulichen Eingriffe der Plenterung.

In einem ersten Abschnitt der Arbeit werden die grundsätzlichen Aspekte von Wachstum und Eingriff aufgrund von Wirtschaftsplandaten erörtert, die während 70 Jahren Kontrollmethode erhoben wurden. Zur Beschreibung der Wachstumsgeschwindigkeit verwenden wir die Auswuchsrate, die für jede Durchmesserstufe den Anteil der Stämme angibt, die während einer Periode (in unserem Fall von 10 Jahren) in die nächsthöhere Stufe wachsen; sie entspricht praktisch dem Durchmesserzuwachs. Es zeigt sich, dass die so berechnete Wachstumsgeschwindigkeit je nach den Witterungsbedingungen in den entsprechenden Wuchsperioden stark variiert, und zwar desto stärker, je grösser die Durchmesser sind. Auf den Volumenzuwachs umgerechnet, entspricht diese Streuung 35 % des Mittelwertes.

Sodann steht der Einfluss der Bestandesdichte auf die Wachstumsgeschwindigkeit zur Diskussion; dabei kann bei Bäumen mit Durchmessern von 45 bis 70 cm eine gesicherte Korrelation zwischen dem Wachstum und der Dichte festgestellt werden, die für jede Durchmesserstufe mit der Grundfläche der Bäume dieser und der darüberliegenden Stufen erfasst ist. Schwächere Bäume sind von der Bestandesdichte wenig beeinflusst, während bei stärkeren das Wachstum von der Dichte unabhängig ist. Ferner wird die Bedeutung des Einwuchses erörtert; diese Grösse, welche für die Wachstumsgeschwindigkeit der Stämme unterhalb der Kluppierungsschwelle kennzeichnend ist, ist funktionell abhängig vom Vorrat der Bestände.

Um den waldbaulichen Eingriff der Plenterung zu kennzeichnen, werden die Schlaganzeichnungen der fünf Betriebsleiter analysiert, die von 1900 bis 1971 die untersuchten Bestände bewirtschafteten. Die Eingriffsstärke ist je Wirtschaftsperiode als Stammzahlentnahmeprozent für jede Durchmesserstufe ausgedrückt. So können die Unterschiede zwischen den persönlichen Auffassungen von der Plenterung dieser fünf Betriebsleiter erfasst werden. Unterschiede ergeben sich bei den kleinen Durchmessern, in denen die Auslese stattfindet, und im Starkholz, wo die Konzeptionen der Endnutzungsgrössen voneinander abweichen, während die Vorgehen bezüglich der Durchmesser von 35 bis 65 cm gut übereinstimmen.

Die Kenntnis der Wachstumsbedingungen und der waldbaulichen Massnahmen versetzt uns in die Lage, ein Modell zu rechnen, das die Stammzahlverteilung nach Durchmesserstufen im Gleichgewichtszustand wiedergibt. Damit die Stammzahlverteilung als Ergebnis von Wachstum und Eingriffen studiert werden kann, berücksichtigt das Modell die Beziehungen zwischen Vorrat und Einwuchs sowie Wachstumsgeschwindigkeit und Bestandesdichte; es erlaubt ferner, die bekannte oder geschätzte Stärke des Eingriffs in die Rechnung einzubeziehen.

Es zeigt sich, dass auf einem gegebenen Standort für jede Eingriffsstärke ein Gleichgewichtszustand besteht. Mit Hilfe des Modells werden für verschiedene Varianten der Plenterung die strukturellen Bedingungen und der notwendige Einwuchs sowie der entsprechende Zuwachs für Gleichgewichtszustand berechnet. Dabei stellt sich heraus, dass der Gleichgewichtszustand mit desto kleinerem Vorrat errechnet wird, je stärker die Plenterung zwecks Auslese in den mittleren und kleinen Durchmessern eingreift. Diesen gerechneten Gleichgewichtszuständen für verschiedene Stärken der Eingriffe entsprechen kleine Unterschiede im Volumenzuwachs: Er variiert innerhalb eines sehr grossen Bereiches des Vorrats (280 bis 440 m^3/ha) um nur 7 %. Die Erhöhung des Produktionskapitals wird also in weitem Rahmen durch die Abnahme der Wachstumsgeschwindigkeit kompensiert, die eine Folge der zunehmenden Bestandesdichte ist. Immerhin bewirkt ein schwacher Eingriff die Einstellung des Gleichgewichtes auf ein höheres Vorratsniveau und dementsprechend eine etwas grössere Massenproduktion.

Eine zweite Berechnung erfasst die Beziehung zwischen den Dimensionen des produzierten Holzes und dem Zuwachs der Bestände im Gleichgewicht. Je grösser der zu produzierende Maximaldurchmesser, desto grösser der Vorrat, bei dem sich der Gleichgewichtszustand einstellt. Im Gegensatz zur ersten Berechnung entspricht hier einer Erhöhung des Vorrates eine leichte Abnahme des Zuwachses.

Die Resultate zeigen die wichtige Rolle, welche der Einwuchs bei der Bestimmung des Gleichgewichtszustandes, bei der Kontrolle seiner Erhaltung und bei der Holzproduktion spielt. Daraus ist für die Behandlung von Überführungsbeständen, die sich noch nicht im Gleichgewicht befinden, zu schliessen, dass die waldbauliche Behandlung auf den vorhandenen Einwuchs Rücksicht zu nehmen hat — nicht umgekehrt! Vom Einwuchs wird die Stärke der Plenterdurchforstung bestimmt.

Übersetzung: *W. Keller*

D'Alverny, A., Gazin, A., et *Schaeffer, A.,* 1930: Sapinières. Le jardinage par contenance (Méthode du contrôle par les courbes). Presses Univ. de France, Paris 1930

Badoux, E., 1949: L'allure de l'accroissement dans la forêt jardinée. Mitt. EAFV 26, 1, 9—58

Biolley, H. E., 1920: L'aménagement des forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle. Attinger Ed., Neuchâtel et Paris 1920

Biolley, H., de Blonay, H., et *Jobez, H.:* Barème du tarif conventionnel unique pour l'application du contrôle au traitement des forêts. G. Bridel et Cie., Lausanne

Borel, W., 1933: Résultats de 40 ans d'application de la méthode du contrôle dans la forêt des Erses. Besançon 1933

de Coulon, M., 1962: Structure et évolution de peuplements jardinés. Jour. for. suisse 113, 10, 543—557

Flury, Ph., 1927: Über den Aufbau des Plenterwaldes. Mitt. EAFV 15, 4, 305—337

Flury, Ph., 1927: Über den Einfluss von Trockenperioden auf das Bestandeswachstum. Mitt. EAFV 14, 2, 253—293

François, T., 1938: La composition théorique normale des futaies jardinées de Savoie. Rev. des eaux et for. 76, 1—18 + 101—115

Gauchat, J.-Fr., 1968: Action du sylviculteur par la coupe jardinatoire dans les peuplements jardinés. Jour. for. suisse 119, 12, 847—891

Kurth, A., 1955: Über Unterricht und Forschung auf dem Gebiete der Forsteinrichtung. Jour. for. suisse 106, 576—588

Kurth, A., et *Badoux, E.,* 1964: De la prépondérance du sapin blanc dans la production d'une forêt jardinée de l'Emmental. Jour. for. suisse 115, 476—482

Leibundgut, H., 1966: Die Waldpflege. P. Haupt Verl., Bern 1966

Meyer, H. A., 1932: Über den Verlauf des Stärkezuwachses als Funktion des Durchmessers. Schw. Ztschr. f. Forstwes. 83, 236—246

Meyer, H. A., 1933: Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schw. Ztsch. f. Forstwes. 84, 33—46, 88—103 und 124—131

Meyer, H. A., 1949: Berechnung und Auswertung des Stärkezuwachses. Jour. for. suisse 100, 1, 27—38

Mitscherlich, G., 1952: Der Tannen-Fichten-(Buchen-)Plenterwald. Heft 8 d. Schr'reihe d. Bad. forstl. Versuchsanst., Freiburg i. Br.

Mitscherlich, G., 1961: Untersuchungen in Plenterwäldern des Schwarzwaldes. Heft 17 d. Schr'reihe d. Bad.-Württ. forstl. Versuchs- und Forsch'anst., Abt. Ertragsk., Freiburg i. B.

Moor, M., 1952: Die Fagion-Gesellschaften (Buchen, Tannen-Buchen und Ahornwälder) im Schweizer Jura. Beiträge zur geob. Landesaufn. d. Schweiz, Heft 31, H. Huber Verl., Bern 1952

Nagel, J.-L., 1946: Calculs d'accroissement par classes de grosseur et essences. Jour. for. suisse 97, 431—442

Prodan, M., 1947: Der Stärkezuwachs in Plenterwaldbeständen. Jour. for. suisse 98, 275—288

Prodan, M., 1949: Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwalde. Jour. for. suisse 100, 2, 81—99

Richard, J.-L., 1965: Extraits de la carte phytosociologique des forêts du Canton de Neuchâtel. Comm. Phytogéog. d. l. sté. helv. d. sci. nat., Mat. pour l. rel. géob. d. l. Suisse, fasc. 47, Ed. Huber, Berne 1965

Schmid, P., 1972: Planung im Walde. Jour. for. suisse 123, 4, 233—242

Schmid, P., 1974: Der potentielle Nutzungsanfall pro Flächeneinheit in Abhängigkeit vom Waldzustand. Non publ. Colloque interne IFRF 1974

Schütz, J.-Ph., 1969: Etude des phénomènes de la croissance en hauteur et en diamètre du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst.) dans deux peuplements jardinés et une forêt vierge. Thèse EPF-Z No 4136, Beiheft z. d. Ztschr. d. schw. Forstverein Nr. 44, Bühler, Zürich 1969

Vaulot, G., 1914: Détermination des accroissements en diamètre des arbres. Rev. des Eaux et for. 53, 145—154

Weidmann, A., 1961: Eignung verschiedener Messargumente und Berechnungsmethoden für die Erfassung von Zustand und Zustandsänderung von Bestockungen. Mitt. EAFV 37, 1, 5—125