DENSITÉ DE PLANTATION

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET PREMIERS RÉSULTATS

D'UNE EXPÉRIENCE SUR LE DOUGLAS

(« PSEUDOSTUGA MENZIESII » MIRB.)

M. BARTOLI et N. DECOURT

*Station de Sylviculture et de Production,
Centre national de Recherches forestières, I.N.R.A.,
54 - Nancy*

RÉSUMÉ

Après un tour d'horizon bibliographique des principaux résultats obtenus à l'étranger dans des expériences de densités de plantations, on donne les conclusions qu'on peut tirer des toutes premières mesures faites pour des Douglas (*Pseudostuga menziesii*, Mirb.) de 11 ans dans un dispositif en carré latin installé près de Nancy et pour les espacements $1,5 \times 1,50$; $2,0 \times 2,0$; $2,50 \times 2,50$; $3,00 \times 3,00$.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La tendance à réduire de plus en plus les densités de plantations, liée à l'évolution économique, entraîne une modification importante des techniques sylvicoles.

La recherche forestière se préoccupe de ces problèmes depuis plusieurs années déjà, comme le montrera le « tour d'horizon » bibliographique exposé ci-dessous, qui rendra compte de travaux faits à l'étranger.

En France, des expériences d'espacement, portant sur le *Sapin de Vancouver* (*Abies grandis*, Douglas) et sur le *Douglas* (*Pseudostuga menziesii*, Mirb.) ont été installées en forêt d'Amance en 1955, sous la direction de P. AYRAL et J. PARDE, avec toute la rigueur nécessaire à une interprétation statistique valable des résultats. Nous exposerons ici les tout premiers résultats obtenus dans le dispositif de Douglas.

I. — ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Sur le problème des densités de plantation, la littérature est abondante mais reste trop souvent sur un plan très général. Elle veut indiquer au chercheur ce qu'il doit mesurer, au sylviculteur les conséquences pratiques de son choix. En France, un article de HUBERT (1968) fait, de très intéressante manière, le tour complet de la question, en soulignant comment tous les facteurs de la production peuvent être en contradiction et en montrant la difficulté de trouver un bon compromis entre eux.

Notre but sera au travers de la bibliographie de chiffrer les conséquences variées de telle ou telle densité. La recherche en sylviculture se doit d'apporter des informations aussi précises que possible sur la structure et l'évolution des peuplements. Notons à ce sujet, avec SMITH (1959), qu'il existe peu de dispositifs expérimentaux satisfaisants dans ce domaine. En 1959, SMITH dénombrait 120 essais d'espacement dont *seulement deux* répondaient aux exigences de l'objectivité statistique.

L'objectif du reboiseur peut être fort varié : production ligneuse (des sapins de Noël au déroulage), filtre à poussière, écran à bruit, délassement cynégétique ou esthétique. Comme SJOLTE-JØRGENSEN qui, en 1967, publiait un article très complet sur ce sujet, nous ne traiterons ici que du but production et nous nous contenterons même de n'étudier que les plantations résineuses. De plus, le problème des coûts de production ne sera pas abordé ici. Pour cette question, on pourra consulter l'excellent travail de WARDLE (1951).

Nous rendrons compte successivement des résultats concernant l'influence de la densité de plantation.

1. Sur les *caractéristiques dendrométriques usuelles* (hauteur, diamètre, surface terrière, volume).

2. Sur la *forme et la qualité* des peuplements.

3. Sur quelques *caractéristiques écologiques* (mortalité, fermeture du couvert, litière, matière sèche, fertilité).

1.1. — *Influence de la densité sur les
caractéristiques dendrométriques usuelles*

1.1.1. *Hauteurs.*

Pousser les arbres à se hâter vers la lumière était une des justifications des plantations denses. Les expériences faites un peu partout dans le monde ont prouvé que cette idée était fautive. En effet, comme le montre la figure 1, la hauteur moyenne a plutôt tendance à croître faiblement en même temps que l'espacement, et parfois ce dernier n'a aucune influence.

Cet effet espacement-hauteur, lorsqu'il existe, est-il dû à une véritable différence de croissance ou n'est-il qu'une apparence due en fait à d'autres facteurs ?

— Le phénomène est notable dans l'expérience de BRAMBLE, COPE et CHISMAN (1949) sur *Pinus resinosa* de 25 ans (courbe 3). L'explication, simple, n'est pas une

FIGURE 1

Influence de l'espacement sur la hauteur
(Influence of spacing on height)

N°		Age	Espacement moyen (m)	Référence
1	<i>Pseudotsuga Menziesii</i>	27	1,2-1,5-1,8-2,4-3,0-3,7	EVERSOLE (1955).
1'	<i>idem</i> = arbres dominants			
2	<i>Pinus elliotii</i>	12	1,8-2,1-2,4-2,6-3,0-3,3	HARMS-COLLINS (1965).
3	<i>Pinus resinosa</i>	25	1,5-1,8-2,1-3,0	BRAMBLE, COPE, CHISMAN (1949).
3'	<i>idem</i> = arbres dominants			

conséquence *directe* de la densité : les pousses terminales sont souvent brisées par la neige et les dégâts sont beaucoup plus importants sur la plantation dense à $1,5 \times 1,5$ m (38,5 % des arbres atteints) que sur les autres (7 à 8 % des arbres). Dans tous les cas, la hauteur des arbres dominants est la même. Cet effet secondaire de la densité n'est pas à négliger, mais ce premier exemple montre que le critère « hauteur moyenne » n'est pas toujours suffisant.

— Prendre en compte la *hauteur dominante* se justifie aussi si l'on pense à la répartition des hauteurs dans chaque cas. L'apparition des classes sociales a lieu tôt (1) dans le cas de plantation dense : la présence nouvelle d'un grand nombre de « dominés » va faire baisser la valeur de la hauteur moyenne, qu'il y ait ou non éclaircie.

Malheureusement, les expériences où l'on parle de la hauteur dominante sont rares. Pour BRAMBLE, COPE et CHISMAN (1949), cette hauteur est indépendante de l'espace-ment (courbe 3') ; EVERSOLE (1955) trouve, au contraire au même âge, des différences nettement significatives sur des Douglas (courbe 1'), mais son dispositif ne comporte pas de répétition.

L'expérience suivie par BENNET (1960) puis par HARMS et COLLINS (1965) est, elle, statistiquement analysable et les conclusions de ces chercheurs sont fort intéressantes ; chaque année, depuis 8 ans, sont mesurées les hauteurs de Slash pine (*P. elliotii*) plantés à 8 écartements avec deux répétitions. Une analyse de covariance permet d'éliminer les différences de fertilité (en tenant compte de la plus ou moins grande profondeur d'un horizon). A 12 ans, la différence de hauteur des arbres dominants de chaque traitement n'est pas significative, mais on n'est pas loin pourtant du seuil 5 % du Test F.

Doit-on en conclure que la hauteur dominante, expression courante de la fertilité, est modifiable par le jeu de la densité ? C'est possible dans une certaine mesure si l'on songe que les observations actuelles ne sont faites que sur des peuplements dont la gamme de densité au départ était fort étroite.

De plus, le comportement des différentes essences peut ne pas être identique. L'Epicéa commun semble peu sensible, alors que le Douglas ou les Pins du Sud-Est américain le seraient davantage. Aux densités courantes, l'effet serait de toute façon assez faible.

1.12. *Diamètre.*

La figure 2 illustre parfaitement le fait que diamètre et espacement sont en relation directe positive. (Il s'agit du diamètre à 1,30 m du sol).

(1) A 12 ans, selon DELVAUX (1966) pour l'épicéa.

Il est remarquable de constater que, quelle que soit l'essence, le phénomène a même allure générale. Dans aucun des cas on ne met en évidence un palier de toute façon inévitable (nombre de points insuffisants pour un ajustement non linéaire). Dans le cas de l'Epicéa (*Picea abies*), on a pu mettre en évidence, dans certain dispositif, un maximum de croissance en diamètre pour un espacement situé entre 2 et 3 m (KJERSGÅRD 1964, ANDERSON 1960, in SJOLTE-JØRGENSEN).

FIGURE 2

Influence de l'espacement sur le diamètre
(Influence of spacing on d.b.h.)

N°	Essence	Age	Espacement moyen (m)	Référence
1	<i>Pinus resinosa</i>	42	1,8-2,1-3,0	HUTNIK, HICKOCK (1969).
1'	— d^o —	25	1,8-2,4-3,0	
1''	— d^o —	d^o	station plus pauvre que 1'	
2	<i>Pinus resinosa</i>	25	1,5-1,8-2,1-3,0	BRAMBLE, COPE, CHISMAN (1949).
3	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	27	1,2-1,5-1,8-2,4-3,0-3,7	EVERSOLE (1955).
4	<i>Pinus sylvestris</i>	16	1,5-1,8-2,1-3,0	STEVENSON, BARTOO (1939).

1.13. *Surface terrière.*

Cette expression simple du capital producteur ligneux est le premier critère qui analyse le phénomène de croissance rapporté à l'unité de surface du capital foncier.

Tous les travaux montrent que la surface terrière des peuplements jeunes croît avec la densité (figure 3). On peut également remarquer que les courbes, quelles que soient l'essence et la fertilité, ont des formes à peu près identiques.

FIGURE 3

Influence de l'espacement sur la surface terrière
(Influence of spacing on basal area)

N°	Essence	Age	Espacement moyen (m)	Références
1	Pinus resinosa	42	1,8-2,4-3,0	HUTNICK, HICKOCK (1969).
1'	— d^0 —	25	— d^0 —	
2	Pinus resinosa	25	1,5-1,8-2,1-3,0	BRAMBLE, COPE, CHISMAN (1949).
2' *	— d^0 —	16	— d^0 —	
3	Pinus alliotii	12	1,8-2,1-2,4-2,6-3,0-3,3	HARMS-COLLINS (1965), STEVENSON, BARTOO (1939).
4 *	Pinus sylvestris	16	1,5-1,8-2,1-3,0	

* Les valeurs des surfaces terrières sont identiques dans ces deux expériences.

Dans la pratique, seules les courbes correspondant à des plantations jeunes sont intéressantes puisque l'éclaircie modifie sensiblement ensuite les surfaces terrières. Pourtant, l'examen des plus vieilles plantations non éclaircies montre qu'avec l'âge, ce ne sont plus les peuplements les plus denses qui s'accroissent le plus, mais qu'il existe

un accroissement maximal pour un espacement donné (HUTNICK et HICKOCH 1967, courbes 1 et 1').

1.14. Volumes.

Il faut distinguer *volume total* et *volume marchand*.

Volume total : il est fréquent d'entendre que le rôle de la densité sur la production totale en volume est faible. La figure 4 montre que cela est vérifié : 10 à 20 % de différence pour des variations de 1 à 4 ou 1 à 10 du nombre de plants à l'hectare ?

FIGURE 4

Influence de l'espacement sur la production
(Influence of spacing on production)

N°	Essence	Age	Espacement moyen (m)	Référence
1	<i>Pinus radiata</i> .	15	1,8-2,1-2,4-2,7-3-3,4	CROMER, PAWSEY (1957).
2	<i>Picea abiès</i> .	25	0,5-0,75-1,0-1,25-1,5-2,0	KJERSGARD (1964).
3	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	27	1,2-1,5-1,8-2,4-3,0-3,7	EVERSOLE (1955).
4	<i>Pinus resinosa</i> .	16	1,5-1,8-2,1-3,0	BRAMBLE, COPE, CHISMAN (1949).
4'	<i>d°</i>	25	<i>d°</i>	

Volume marchand : selon les auteurs, la définition en est variable. EVERSOLE (1955) considère les arbres de plus de 16,7 cm de diamètre à hauteur d'homme, BYRNES et BRAMBLE (1955) ceux de 17,8 cm, BRAATHE (1952), cité par SJOLTE-JØRGENSEN, fait une séparation à 22 cm pour des épicéas (figure 5).

Ce volume marchand peut aussi être celui utilisé par la première éclaircie rentable. Cet aspect est très important, mais la réponse de la recherche à ce problème est partielle puisqu'elle ne fait pas entrer l'économie de l'opération en ligne de compte.

Aujourd'hui les expériences associant densités de plantation différentes et éclaircie sont rares et les essais américains ne correspondent pas toujours aux conditions européennes. BRAMBLE, COPE et CHISMAN (1949) montrent qu'une éclaircie faite à 19 ans dans

FIGURE 5

N°	Essence	Age	Référence	
1	Pinus elliotii.	12	BYRNES, BRAMBLE (1955).	
2	Picea abiès.	45	BRAATHE (1952).	
3	Pseudostuga menziesii.	27	EVERSOLE (1955).	

Pinus resinosa à des espacements initiaux de 1,5 × 1,5 et 1,8 × 1,8 ne permet pas aux arbres d'avenir de ces plateaux de rattraper ensuite ceux plantés à 3 × 3 m seulement.

Comme le fait remarquer HUBERT (1968), c'est d'abord du choix de l'objectif marchand que dépend la densité initiale.

De nombreux chercheurs (américains surtout) ont comparé les résultats des peuplements plantés à différentes densités aux tables de production existantes. On compare ainsi la sylviculture actuelle, dite traditionnelle, à ce que pourraient produire les nouveaux peuplements. EVERSOLE (1955) compare ainsi, en pourcentage, ses résultats (Douglas 27 ans) aux chiffres conventionnels (même âge - fertilité : 33,5 m à 50 ans) (tableau 1).

TABEAU 1

Espacement initial	Nb %	V. total %	V. marchand %
1,2 × 1,2 m	93	125	16
1,5 × 1,5 m	76	102	8
1,8 × 1,8 m	53	101	45
2,4 × 2,4 m	30	80	100
3,0 × 3,0 m	21	106	327
3,7 × 3,7 m	15	94	361

On se rend ainsi parfaitement compte de l'extraordinaire influence de l'espacement sur la production (sans doute le Douglas est-il une essence particulièrement sensible). Ces chiffres sont un peu forts puisque dans ce dispositif, la hauteur dominante augmente avec l'espacement (voir paragraphe hauteur).

La troisième colonne du tableau montre que le volume total produit à 27 ans, après une décroissance, remonte pour un espacement de 3×3 m. Cela illustre le fait, constaté entre autres par EVERSOLE, THONON (1963), STIELL (1964), que l'accroissement courant à l'hectare des plantations claires est d'abord inférieur puis devient supérieur à celui des plantations denses. Plus ou moins rapidement, le volume sur pied est donc identique mais il faut attendre un certain nombre d'années. Le volume marchand qui suit une évolution identique peut, en plantation jeune, décroître avec des espacements croissants (BENNETT, 1962).

1.2. — Influence de la densité sur la forme et la qualité des peuplements

1.21. Coefficient de forme.

Tous les expérimentateurs constatent que le coefficient de forme décroît avec l'espacement, comme le montre la figure 6. La cylindricité est donc légèrement améliorée par les fortes densités. Mais sa décroissance est faible et, par ailleurs, elle est fortement améliorable par l'élagage artificiel (POLGE, 1969).

FIGURE 6

Influence de l'espacement sur le coefficient de Forme
(Influence of spacing on Form coefficient)

N°	Essence	Age	Espacement moyen	Références
1 *	Pinus sylvestris.	16	1,5-1,8-2,2-3,0.	STEVENSON, BARTOO (1939).
2 *	Pinus resinosa.	20	2,2-3,0-3,7.	STIELL (1964).
3 **	Pinus resinosa.	25	1,5-1,8-2,1-3,0.	BRAMBLE, COPE, CHISMAN (1949).

$$* \quad f = \left(\frac{C. H/2}{C. 1,50} \right)^2$$

$$** \quad f = \left(\frac{C. H/2 - 1,50}{C. 1,50} \right)^2$$

1.22. *Qualité.*

L'influence de la densité de plantation sur la qualité des produits a été traitée par POLGE dans le numéro spécial « Sylviculture » de 1969 de la *Revue Forestière Française*. La nécessité d'un élagage artificiel des arbres d'avenir en plantations claires y est démontrée. Cette pratique peut s'avérer absolument nécessaire pour certaines essences (presque tous les résineux...) dont l'élagage naturel est trop tardif, voire nul, quelle que soit la densité du peuplement. EVERSOLE (1955) fait remarquer que même pour le plus faible écartement ($1,2 \times 1,2$ m) de son dispositif, il faut élaguer si l'on envisage une longue révolution et un produit de qualité.

De toute évidence, les essences à possibilité de croissance rapide, sans que la densité du bois soit modifiée (par exemple Douglas ou Weymouth), demandent de faibles densités de plantation. Une forte activité cambiale nécessite un développement optimal de la couronne, facteur primordial de croissance (LARSON, 1964).

Outre la hauteur d'apparition des branches vivantes, on a cherché à tester, en fonction de l'espacement, diverses caractéristiques des branches, par exemple :

— nombre de branches à une hauteur fixe au-dessus du sol (STIELL, 1964 ; STEVENSON et BARTOO, 1939) ;

— diamètre des branches à cette même hauteur (STIELL, 1964).

L'écartement n'influe pas sur la première de ces caractéristiques mais, et cela est assez compréhensible, joue un rôle sur la seconde.

Certains forestiers néozélandais ont même mis au point des formules permettant de calculer le temps et le coût de l'élagage en fonction de l'espacement initial (STRONG, 1960, cité par SJOLTE-JØRGENSEN).

Le coefficient de la variable « espacement » est positif : $T = 0,3186 + 0,044 S^2$. (T : temps en minute par pied linéaire de tige - *Pinus radiata*).

(S : espacement initial en pieds).

1.3. — *Influence de la densité sur quelques caractéristiques écologiques*

1.31. *Nombre de tiges et mortalité naturelle.*

Dans un peuplement laissé sans intervention humaine, trois facteurs peuvent faire disparaître les individus : les maladies, la concurrence, et... le hasard. Le hasard étant, pour le sujet qui nous préoccupe, indépendant de la densité : mauvaises conditions de plantation, station mal adaptée, etc., nous n'envisagerons que les deux autres facteurs.

Relation densité/état sanitaire.

Les exemples pour lesquels il est prouvé que la surdensité favorise directement les attaques de parasites sont peu fréquents. MACKENZIE (1951) trouve que *Larix decidua* est plus affecté par un chancre (*Dasyscypha willkommii*) en plantation dense, YDE-ANDERSEN (1959, cité par SJOLTE-JØRGENSEN) que l'épicéa souffre moins du cœur rouge en plantation claire où les racines sont en contact moins facile.

Mortalité due à la concurrence.

WARDLE (1967) pense que dans tous les cas, si l'espacement est inférieur à 1,8 m. la disparition des arbres avant la première éclaircie n'est pas imputable au hasard. La figure 7 lui donne à peu près raison.

FIGURE 7

Mortalité et espacement
(Mortality and spacing)

N°	Essence	Age	Espacement moyen (m)	Références
1	<i>Pinus resinosa</i>	25	1,8-2,4-3,0	HUTNICK, HICKOCK (1969).
2	<i>Pinus elliotii</i>	12	1,8-2,1-2,4-2,6-3,0-3,3	HARMS, COLLINS (1965).
3	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	27	1,2-1,5-1,8-2,4-3,0-3,7	EVERSOLE (1955).
4	<i>Pinus resinosa</i>	16	1,5-1,8-2,1-3,0	BRAMBLE, COPE, CHISMAN (1949).
4'	— d° —	25	— d° —	

Bien sûr, un effet secondaire de cette concurrence pourra se manifester sous la forme d'une apparition de parasitisme de faiblesse.

TABLEAU 1^{bis}

Espacement (m)	Disparition moyenne annuelle	
	Nombre par ha	Volume (m ³ /ha)
1,2 × 1,2	61,0	0,81
1,5 × 1,5	14,1	0,11
1,8 × 1,8	12,4	0,15
2,4 × 2,4	2,4	0,01
3,0 × 3,0	1,7	0,03
3,7 × 3,7	2,4	0,16

Quelle qu'en soit la cause, la disparition d'individus revêt davantage de gravité en plantation claire qu'en plantation dense. D'une part, le couvert se referme difficilement et les « loupes » ou les arbres tordus apparaissent en grande nombre comme il est fréquent chez le Pin sylvestre (LAUFFENBURGER, 1952). D'autre part, la perte de capital producteur est bien sûr plus grande et le sol risque de ne pas être exploité à pleine capacité. Il n'y a pas d'arbre de remplacement. EVERSOLE (1955) donne les chiffres de disparition annuelle en nombre et en volume (Douglas 27 ans, courbe 3).

1.32. Fermeture du couvert.

Cet aspect de la croissance du peuplement peut être important face à la lutte contre la dégradation du sol ou la concurrence des adventices. WARDLE (1967) donne un schéma ⁽¹⁾ reproduit ici de ce phénomène pour lequel il est inutile de préciser que fermeture rapide du couvert et forte densité vont de pair.

FIG. 8. — Temps nécessaire à la fermeture du couvert selon l'espacement
(Spacing and age at which canopy closures takes place)
(d'après WARDLE)

Ce phénomène dépend du reste non seulement de la densité et de l'espèce, mais même de la race. POURTET (1964) note par exemple pour des Pins sylvestres à l'espacement de 2 m que les branches se rejoignent à 10 ans pour les races de plaine, mais sensiblement plus tard pour les races nordiques.

1.33. Litière.

Aucune mesure comparative n'a été faite pour évaluer la production et l'évolution de la litière dans des plantations de densité différente où, en particulier, les microclimats

(1) Essais de la Forestry Commission sur *Picea abies*.

peuvent être très différents. AUSSENAC (1969) attribue la différence de production de litière pour le Pin sylvestre dans l'est de la France et en Allemagne à la différence de densité (environ 3,6 T/ha/an (poids sec) en Allemagne contre 6 en France où les peuplements sont beaucoup plus clairs).

En l'absence de comparaison précise, on doit cependant rester prudent dans l'interprétation de ces résultats. En effet, si la densité modifie la structure des peuplements (cimes moins larges, aiguilles d'ombre plus nombreuses dans le cas des fortes densités), on ne peut être certain que ces modifications suffisent à contrebalancer l'existence d'un moins grand nombre d'arbres et on pourrait tout aussi bien penser que la densité influe peu sur l'importance de la litière. Des études restent à faire dans ce domaine.

1.34. Matière sèche.

Peu d'études ont été menées sur cet aspect de la production, pourtant elles sont intéressantes par leurs chiffres et leurs prolongements possibles.

D'ailleurs, certains pays n'utilisent-ils pas presque toute la partie aérienne de l'arbre pour en tirer des copeaux ?

Pour du *Pinus resinosa*, HUTNIK et HICKOCK (1969, Congrès I.U.F.R.O.) trouvent les chiffres suivants pour la production de matière sèche en trois ans (tableau 2).

TABLEAU 2

Age ans	Fertilité	Espacement	Partie aérienne T/ha (en 3 ans)	Racines T/ha	Total T/ha (en 3 ans)
25	bonne	1,8 × 1,8	38,0	7,3	45,3
—	—	2,4 × 2,4	37,6	8,8	45,4
—	—	3,0 × 3,0	37,2	11,5	48,7
—	médiocre	1,8 × 1,8	32,0	6,5	38,5
—	—	2,4 × 2,4	31,9	8,4	40,3
—	—	3,0 × 3,0	29,4	9,3	38,7
42	bonne	1,8 × 1,8	37,0	9,1	46,1
—	—	1,8 × 2,4	37,9	10,5	48,4
—	—	3,0 × 3,0	37,0	8,1	45,1

La densité ne joue donc pratiquement aucun rôle sur la production de matière sèche, malgré les variations fortes du nombre d'organismes assimilateurs et stockeurs, ce qui confirme, pour les auteurs, l'hypothèse de MØLLER.

1.35. Fertilité et densité.

Action du peuplement sur la station.

Nous avons vu, dans le paragraphe sur l'influence de la densité sur la hauteur, que certaines expériences tendent à montrer un effet des fortes densités sur la fertilité

apparente appréciée par le critère habituel de la hauteur dominante (HARMS et COLLINS, 1965 et EVERSOLE, 1955). Cet effet est faible de toute façon.

L'action dégradante des arbres sur le sol est une incitation à planter peu serré comme le fait remarquer HUBERT (1968). Mais les sols vraiment dégradables sont rares et leur « vocation » pour la production forestière est par ailleurs fort contestable.

Notons que cette opinion doit rester nuancée. Si, par exemple, les sols tendant à la podzolisation sous climat atlantique peuvent être considérés comme « vraiment dégradables », on peut avec DUCHAUFOUR (1954) condamner les reboisements denses en Pin sylvestre comme dangereux et leur préférer des peuplements plus clairs de Pins maritimes, à condition bien sûr que cette faible densité ne permette pas l'existence d'un important sous-bois d'Ericacées qui exercent sur le sol une action également néfaste.

Influence de la station sur la densité.

Si l'on écarte les tables de production qui montrent à âge égal une diminution du nombre de tiges quand la fertilité croît, les résultats quantitatifs n'existent pratiquement pas, les expérimentateurs ayant essayé de ne faire varier que la densité. Le problème se pose en fait de la manière suivante : si, et seulement si, on cherche à obtenir le même diamètre, au même âge, sur des stations de fertilité différente, on devra planter plus dense en station riche. Ainsi SMITH (1958) donne les règles d'espacement initial en fonction de la fertilité en utilisant des tables de production.

TABEAU 2^{bis}

fertilité = hauteur dominante à 50 ans (pieds)	densité à adopter $n \times \phi$ (pouces)
200	1 $\times$ D
150	1,5 $\times$ D
100	2 $\times$ D

On voit ainsi que pour obtenir le même diamètre au même âge, il faut mettre quatre fois plus d'arbres en sol riche qu'en sol pauvre.

Pour GIORDANO et WILDE (1966), sur les sols sableux plus ou moins podzolisés du Wisconsin, la meilleure densité à adopter est un peu supérieure à 3 000 plants/ha (1,5 $\times$ 2,4 m ou 1,2 $\times$ 2,4 m), densité « forte » si on la compare à celle des sols plus riches pour lesquels *ces espacements sont des limites maximales*. Cela ne veut pourtant pas dire qu'une station pauvre demande de fortes densités : car, pour un même espacement et au même âge, les produits obtenus seront différents (*Pinus banksiana* et *Pinus resinosa*).

Le tableau suivant (tableau 3), issu des travaux effectués dans la George Walton Experimental Forest en Géorgie (LÉONARD, 1967), est particulièrement démonstratif (*Pinus elliotii*).

Comme sur les terrains pauvres les arbres seront de taille médiocre pour une même durée de révolution, ces sols sont à affecter si possible aux produits de petites dimensions.

Un même diamètre ne sera obtenu en station riche qu'au prix d'un ralentissement de croissance créé par la concurrence. Mais nous aurons plus d'arbres qui, de surcroît, seront plus hauts.

Si, par contre, l'on utilise des densités faibles (trop faibles), on constate que pour une gamme allant de $2,0 \times 2,0$ à $4,5 \times 4,5$ m, la baisse de production marchande est relativement plus forte lorsque la fertilité de la station croît (BARNES, 1955, pour *Pinus elliotii* en Floride).

Signalons aussi que, dans une station où l'on peut observer un déficit d'alimentation en eau, une année de sécheresse sera plus fortement ressentie en plantation dense. OKSBERG (1960), ayant constaté cela, l'explique non seulement par le fait que l'eau

TABLEAU 3

Age	Espacement à la plantation	Diamètre à hauteur d'homme (cm) en fonction de l'indice de site à 25 ans		
		30 (9 m)	50 (15 m)	80 (24 m)
10	$1,8 \times 1,8$ m	4,3	7,6	11,7
	$3,0 \times 3,0$ m	4,8	8,9	15,2
15	$1,8 \times 1,8$ m	5,6	10,3	14,5
	$3,0 \times 3,0$ m	6,3	13,7	21,0
20	$1,8 \times 1,8$ m	6,1	10,3	16,8
	$3,0 \times 3,0$ m	8,9	16,5	23,0
25	$1,8 \times 1,8$ m	7,6	14,0	18,8
	$3,0 \times 3,0$ m	11,0	18,8	25,0

se répartit entre trop d'arbres, mais en outre par le fait que sa rétention (et l'évaporation sans utilisation) est plus forte. Bien entendu, dans les régions où l'eau est le facteur limitant, des densités faibles sont obligatoires.

II. — ÉTUDE D'UN CARRÉ LATIN DE DOUGLAS (11 ANS)

2.1. — Description du dispositif

Fin 1955, un carré latin pour l'étude de l'influence de l'espacement à la plantation sur la production ligneuse était mis en place à l'initiative de P. AYRAL et J. PARDÉ en forêt d'Aman-
ce (15 km à l'est de Nancy). Il a été planté en Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) d'origine américaine (Yelm, Washington).

Quatre densités ont été employées :

- 4 444 plants à l'hectare ($1,50 \times 1,50$ m)
- 2 500 ($2,00 \times 2,00$ m)
- 1 600 ($2,50 \times 2,50$ m)
- 1 111 ($3,00 \times 3,00$ m)

On étudie ainsi une gamme de densités courantes aujourd'hui encadrant celles demandées par le Fond Forestier National (2 500 plants/ha et 1 320 plants/ha).

Chaque placette élémentaire a une surface de 10 ares, elles sont séparées par des zones de protection de 10 m de large, plantées jusqu'à leur milieu aux mêmes écartements que le carré qu'elles entourent. Les 16 placettes et les zones neutres couvrent 3,11 ha, ce qui est considérable et explique que des systèmes plus légers soient à l'étude au C.N.R.F. (DECOURT, 1970).

La plantation a été effectuée avec soin (en potets), les plants eux-mêmes (1-2) étant répartis dans le dispositif comme indiqué ci-dessous :

- plants de moins de 25 cm de haut : zones de protection ;
- plants entre 25 et 50 cm : au hasard dans les carrés ;
- plants de plus de 50 cm : zones de protection.

La plantation succède à un taillis sous futaie, peu fourni en réserve, mais un abri a été conservé : 400 brins feuillus en 1955. Le substrat est constitué de marnes du lias inférieur donnant un sol compact à tendance acide sur lequel on trouvait chêne, charme et tilleul.

L'hiver 1955-1956 a été très rigoureux en février (-20° , -30° C) et, de plus, une végétation de graminées s'est développée pendant l'été 56 nécessitant un dégagement des plants. Le pourcentage de reprise n'a alors été que de 84,5 %. Les regarnis ont été faits en avril 1957.

Le couvert est en partie enlevé en décembre 1957 (150 brins à l'hectare) et éliminé pendant les hivers 1959-60 et 1960-61).

Dès 1956, un grillage est installé pour protéger l'enclos contre le gibier (chevreuil).

Il faut signaler que l'une des placettes unitaire (traitement $1,5 \times 1,5$ m), située en zone mouilleuse, présente une mortalité particulièrement élevée. Elle est traitée statistiquement comme une donnée manquante.

2.2. — Mesures effectuées

Les mesures ont commencé dès 1959, mais la première série de mesures complètes a été effectuée en 1966.

2.21. Mesures de 1959.

On a mesuré les hauteurs totales de tous les plants le 28 janvier 1959. L'interprétation sur les 16 carrés élémentaires fait apparaître une différence significative au seuil de 5 %. La hauteur moyenne serait plus faible aux espacements les plus petits ($1,50 \times 1,50$). En fait, comme nous l'avons signalé plus haut, la plantation n'a pas réussi dans un des carrés A ($1,50 \times 1,50$). Il est plus correct de traiter ce carré comme une « donnée manquante », selon la méthode classique (VESSEREAU, 1960 ; SNEDECOR, 1967). Aucune différence significative entre les hauteurs moyennes n'apparaît dans ce cas.

2.22. Mesures de 1966.

Deux séries de mesures ont été effectuées en 1966 (âge : 11 ans).

2.221. *Mesures sur tous les arbres.* — On a mesuré toutes les circonférences à 1,30 au-dessus du sol, ainsi que toutes les hauteurs totales. Ces mesures ont été reportées sur un plan, dans le but de suivre l'évolution de chaque tige individuellement, caractérisée par ses coordonnées.

2.222. *Mesures sur un échantillon.* — On a choisi, dans chaque carré, un échantillon de 40 tiges. Après élimination des colonnes et des lignes limites, les tiges

échantillons ont été désignées en suivant la première colonne, puis la seconde, etc. à raison de :

- 1 plant tous les 9 pour le traitement A,
- 1 plant tous les 5 pour le traitement B,
- 1 plant tous les 3 pour le traitement C,
- 1 plant tous les 2 pour le traitement D.

Chaque tige a donné lieu aux mesures suivantes :

- circonférence à 1,30 m = $C_{1,30}$,
- circonférence à mi-hauteur totale = $C_{H/2}$,
- hauteur totale = H,
- hauteur de la première couronne de branches vivantes = H.VIV,
- nombre total de branches de cette couronne = NT,
- nombre de branches vivantes de cette couronne = N.VIV,
- diamètres rez tronc de ces branches vivantes, soit $D_1, D_2, \dots, D_{N \cdot \text{VIV}}$.

2.223. *Paramètres descriptifs étudiés.* — Ces différentes mesures ont permis le calcul d'un certain nombre de paramètres descriptifs caractérisant le peuplement, et sur lesquels on a étudié l'effet des différents espacements correspondant aux traitements A, B, C, D. Ces paramètres sont les suivants :

- Proportion des morts dans le peuplement en 1966 = MORTS (à 11 ans).
(Un premier comptage en 1957 avait permis d'évaluer le pourcentage des morts après 1 an de plantation).
- Moyenne arithmétique des Circonférences = CM.
- Circonférence de l'arbre surface terrière moyenne = CG.
- Moyenne des circonférences des 2, des 5 et des 10 plus gros arbres = C2, C5, C10.
- Circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare = CO.
- Moyenne arithmétique des hauteurs = HM.
- Hauteur moyenne des arbres de circonférence CG : HG.
- Hauteur moyenne des arbres de circonférence CO : HO.
- Surface terrière du peuplement = G.
- Volume du peuplement = V. Ce dernier a été calculé en deux temps : ajustement d'un tarif à partir des tiges échantillon, puis application de ce tarif à l'ensemble du peuplement. Les équations-tarifs, de la forme $= a + b C^2_{1,30}$, ont été calculées individuellement pour chaque carré, ce qui a permis de vérifier du reste que les constantes a et b n'étaient pas différentes pour les différents traitements.
- Coefficient de Forme, $F = \frac{V}{G \times HG}$
- Moyenne des H.VIV = $\overline{H.VIV}$.

TABLEAU 4 — TABLE 4

Résultats des analyses de variance pour l'expérience d'Amance sur le Douglas
 Result's of variance analysis in Douglas Fir — Experiment of Amance

Variables étudiées	Moyenne des traitements				Test F (complet) (3,6)	Test F (1 donnée manquante) (3,5)	Différences significatives (complet)	Différences significatives (1 donnée manquante)
	A (1) (1,50 × 1,50)	B (2,00 × 2,00)	C (2,50 × 2,50)	D (3,00 × 3,00)				
Morts (%) (11 a.)	5,78 (2,00)	2,14	2,08	1,84	0,75 NS	0,04 NS	—	—
Morts (%) (1 a.)	14,23 (10,54)	10,64	4,29	10,75	4,92 °	5,87 °	C ≠ A, B	C ≠ A, B, D
CM (cm)	23,15 (23,98)	28,45	29,40	31,73	24,55 ° °	24,17 ° °	A ≠ B, C, D ; B ≠ D	A ≠ B, C, D ; B ≠ D
CG (cm)	24,45 (25,03)	29,40	30,29	32,64	30,97 ° °	28,34 ° °	A ≠ B, C, D ; B ≠ D ; C ≠ D	A ≠ B, C, D ; B ≠ D ; C ≠ D
C2 (cm) (2) ..	39,25 (39,88)	43,13	42,88	44,88	12,88 ° °	10,60 ° °	A ≠ B, C, D	A ≠ B, C, D
CO (cm)	37,03 (37,43)	40,75	40,54	42,17	9,07 °	6,85 °	A ≠ B, C, D	A ≠ B, C, D
HM (m)	6,16 (6,39)	6,63	6,49	6,67	2,55 NS	1,84 NS	—	—
HO (m)	7,68 (7,72)	7,78	7,69	7,67	0,26 NS	0,20 NS	—	—
G (m ² /ha) ..	19,94 (21,50)	16,69	10,92	9,02	34,7 ° °	211,7 ° °	A ≠ B, C, D ; B ≠ C, D	A ≠ B ≠ C ≠ D
V (m ³ /ha) ...	64,35 (70,80)	50,98	32,25	25,57	27,69 ° °	390,02 ° °	A ≠ B, C, D ; B ≠ C, D	A ≠ B ≠ C ≠ D
HG (m)	6,60 (6,74)	6,88	6,75	7,00	3,08 NS	2,73 NS	—	—
F	0,532 (0,502)	0,459	0,447	0,443	3,78 NS	2,64 NS	A ≠ B, C, D	—
H.VIV (cm) .	138,75	67,21	52,85	52,95	38,60 ° °	—	A ≠ B, C, D	
BR.M (%) ...	23,88	23,22	13,36	4,77	10,28 ° °	—	D ≠ A, B	
N.VIV	4,75	4,25	4,75	5,75	6,33 °	—	D ≠ A, B, C	
d (mm)	12,53	11,56	10,62	10,94	1,76 NS	—	—	
g (mm ²)	649,63	465,78	472,82	657,59	3,88 NS	—	—	
d max. (mm) .	14,89	14,17	13,83	14,84	0,84 NS	—	—	

(1) Entre parenthèses : valeur de la moyenne dans le cas d'une donnée manquante.

(2) Les résultats sont les mêmes pour C5 et C10.

- Pourcentage moyen de branches mortes (1^{re} couronne) = BR.M.
- Moyenne des N.VIV = $N.\overline{VIV}$.
- Diamètre moyen des branches vivantes = d .
- Somme des surfaces de sections des branches vivantes = g .
- Diamètre de la plus grosse branche = $d_{\max}$.

2.3. — Résultats et discussion.

Les résultats sont résumés dans le tableau 4. On y a regroupé séparément les variables décrivant l'élagage naturel. Les différences significatives ont été déterminées soit par la méthode classique de la plus petite différence significative (VESSERAU, p. 202) dans le cas où le F était significatif, soit par le calcul de la quantité D' (voir SNEDECOR, p. 275) dans le cas contraire. On a effectué la transformation Arc Sin $\sqrt{P}$ lorsqu'il s'agissait de comparer des pourcentages. Aucune différence significative n'a été décelée ni entre les lignes ni entre les colonnes. Notons, enfin, que le traitement en donnée manquant du carré A, mal réussi, ne modifie pas les résultats de l'analyse.

Malgré le jeune âge de la plantation qui incite à la prudence dans les conclusions, un certain nombre de faits intéressants se dégagent de l'expérience, dont les résultats sont en gros conformes à ceux provenant d'essais comparables (voir § 1).

2.31. Les hauteurs.

On constate que l'espacement n'a pas d'effet sur la croissance en hauteur. Ni la hauteur moyenne arithmétique HM, ni HG, ni la hauteur dominante HO ne sont modifiées. Ce résultat nous semble assez classique. Il est pourtant contesté par quelques auteurs, notamment, pour le Douglas (EVERSOLE, 1955, voir § 111). L'avenir précisera ce point.

2.32. Les circonférences.

Très classiquement, les circonférences moyennes (CM et CG) sont d'autant plus grandes que la densité est moins forte. Le traitement A diffère de tous les autres, mais également B de D et même C de D dans le cas de CG.

La circonférence dominante subit, elle aussi, ce même effet, ainsi que les circonférences moyennes des 2, des 5 et des 10 plus gros arbres de chaque placette élémentaire, correspondant donc à des moyennes portant sur les 20, les 50 et les 100 plus gros arbres à l'hectare. Ce fait est en contradiction avec des observations faites dans des peuplements plus âgés et d'origine naturelle (DECOURT, 1967). Il semble indiquer qu'au stade actuel il existe un effet global de densité qui favorise, aux densités faibles, la croissance de tous les individus plutôt que l'élimination de certains (voir § 112).

L'intérêt économique de ce phénomène est, bien sûr, évident.

2.33. Surface terrière et volume.

Ces deux grandeurs, étroitement liées du reste, sont fortement influencées par l'espacement. La production en volume dans le traitement D ne représente que 40 %

de celle du traitement A. A cet âge, en effet, le sol n'est pas entièrement occupé aux forts espacements. Ce phénomène également classique s'atténuera certainement avec l'âge. De plus, la différence actuelle ne porte que sur des produits sans intérêt économique.

2.34. Coefficient de Forme et élagage.

Le coefficient de Forme ne subit pas de variation suffisante pour qu'une différence significative globale apparaisse. Une analyse plus fine montre cependant que le coefficient de Forme du peuplement le plus dense est significativement plus élevé que ceux des trois autres, sensiblement égaux entre eux. Ce résultat est analogue notamment à celui trouvé par BRAMBLE *et al.*, 1949 (voir § 121), où la décroissance du coefficient de Forme pour *Pinus resinosa* se stabilise aux forts espacements.

L'intérêt pratique de cette constatation est évident. La perte de qualité, liée à une plus mauvaise forme, est brutale. Elle est acquise dès l'espacement $2,0 \times 2,0$. Aux espacements plus élevés, il ne semble pas y avoir d'effet. Dès lors qu'on décide de planter à de larges espacements, on peut choisir ceux-ci assez grands, sans craindre de diminuer encore le coefficient de Forme. Ce résultat important pour la pratique, méritera d'être vérifié à un âge plus avancé.

Cette modification du coefficient de Forme est sans doute liée à l'action de la densité sur l'élagage naturel (POLGE, 1969). La hauteur de la première couronne vivante est, en effet, nettement plus grande dans le traitement A que dans les autres, la différence étant très significative. Ce phénomène tend à s'accroître avec le temps comme le montre l'effet constaté sur la mortalité des branches basses (BR.M %).

Si la densité a un effet sur la mortalité des branches, il est intéressant de remarquer qu'elle n'en a pas sur le diamètre de celles-ci, ni du reste sur leur nombre par verticille. Ces caractéristiques semblent donc avoir un déterminisme *entièrement héréditaire*. Le choix de races à branches fines et peu nombreuses serait donc primordial. Il faut, cependant, remarquer que le résultat contraire a parfois été obtenu dans des expériences du même genre, où on constatait un accroissement du diamètre des branches aux larges espacements, comparables en valeur relative à celui obtenu pour le tronc (STIELL, 1964, voir § 122). Là aussi, cet effet non visible actuellement, apparaîtra peut-être lorsque le peuplement prendra de l'âge.

Quoi qu'il en soit, l'élagage artificiel reste une nécessité, même aux faibles espacements semble-t-il. Aux grands espacements, il est de plus, susceptible d'améliorer simultanément le coefficient de Forme (KELLER, 1968 ; POLGE, 1969).

2.35. Mortalité.

La mortalité naturelle au bout d'un an est la plus faible en valeur relative pour le traitement C ($2,50 \times 2,50$). Les pourcentages de morts sont comparables dans les traitements A, B, D. On ne peut en conclure, semble-t-il, que la densité a un effet direct sur ces pourcentages. Le résultat trouvé pour le traitement C est difficile à expliquer. Par contre, après regarnis la première année, et au bout de dix ans de plantation, les pourcentages d'individus morts ou disparus sont identiques pour les

quatre espacements et remarquablement bas (2 %). A cet âge l'élimination semble donc due surtout au hasard et on ne constate pas encore la liaison soulignée par WARDLE (1967, voir § 131) entre mortalité et nombre de tiges.

En conclusion, on ne peut que souligner l'intérêt des expériences de densité, tant sur le plan des résultats pratiques qu'on peut en tirer, que sur celui des études plus fondamentales auxquelles elles peuvent donner lieu.

Dans le cas de l'expérience d'Amance, il est clair que des résultats plus intéressants et mieux assurés seront obtenus dans les années à venir, lorsque le peuplement atteindra des dimensions plus importantes.

Reçu pour publication en janvier 1971.

SUMMARY

PLANT DENSITY.

BIBLIOGRAPHY AND FIRST RESULTS OF AN EXPERIMENT WITH DOUGLAS FIR (« PSEUDOTSUGA MENZIESII » MIRB.)

In the first part, one makes the analysis of foreign results obtained in some conifer spacing designs. Economical problems are not studied. The data are not only usual parameters in forest mensuration (height, diameter, basal area, volume...) but also the form and the quality of stands (form coefficient, branches, ...) and some ecological features (mortality, crown closure, litter...).

In the second part of this paper, one exposes the results of first measurements made in a latin square, near Nancy, in which Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) are planted at spacing: $1,50 \times 1,50$; $2,00 \times 2,00$; $2,50 \times 2,50$; $3,00 \times 3,00$ meters.

At the age of this stand (11 years) one can only see tendencies, but the results obtained in other such experiments seem to be confirmed: No effect of the spacing on the height growth; but an important action on the diameters, the basal area, the volume, the tree-form and the mortality of low branches. One cannot see yet any effect of the density on the natural mortality. These results are summarized in the table 4 (page 22).

ZUSAMMENFASSUNG

DER PFLANZABSTAND. EINE LITERATURSTUDIE UND ERSTE ERGEBNISSE EINES PFLANZABSTANDSVERSUCHES MIT DOUGLASIE (« PSEUDOTSUGA MENZIESII » MIRB.)

Im ersten Teil dieser Arbeit werden die verschiedenen ausländischen Ergebnisse von Pflanzabstandsversuchen an Nadelhölzern analysiert. Das Problem der Kostenanalyse wurde jedoch nicht miteinbezogen. Vor allem wird der Einfluss des Pflanzabstandes auf die klassischen Baum- und Bestandesmerkmale (Höhe, Durchmesser, Grundfläche, Masse, usw.) eingehend besprochen, wobei jedoch auch die Form und Qualität der Bestände (Formkoeffizienten, Aststärken) berücksichtigt werden. Desweiteren wird auf verschiedene ökologische Aspekte (Ausfall, Schlussgrad, Streubildung, etc.) eingegangen.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die ersten Ergebnisse eines Pflanzabstandsversuches mit Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) mitgeteilt. Der Versuch wurde im Jahre, 1958,

in der Nähe von Nancy angelegt. Der Versuchsplan ist ein lateinisches Quadrat mit den Pflanzabständen $1,50 \times 1,50$; $2,00 \times 2,00$; $2,50 \times 2,50$; $3,00 \times 3,00$. Der kurze Beobachtungszeitraum (Bestandesalter: 11 Jahre) erlaubt z. Z. nur gewisse Tendenzen festzustellen, welche jedoch mit den Ergebnissen ähnlicher Versuche weitgehend übereinstimmen. So besteht zwischen Stammzahl und Höhe kein Zusammenhang, jedoch ergibt sich eine sehr enge Beziehung zwischen der Stammzahl einerseits um dem Umfang, der Grundfläche, der Masse, der Stammform und der Totastzone. Es zeigt sich noch keine Wirkung der Stammzahl auf die natürliche Stammzahlabnahme. Diese verschiedenen Ergebnisse sind in Tabelle 4, zusammengefasst.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUSSENAC G., 1969. Production de litière dans divers peuplements de l'Est de la France. *Œcologia Plantarum*, Tome IV, n° 3, juillet-septembre 1969, p. 225-235.
- BEDA G., 1968. Zur frage der Wahl des Pflanzjahrständer und seiner Herleitung unter besonderer Berücksichtigung der Fichte. *Inst. Suisse Rech. For.*, **44** (1), 80 p.
- BENNET F. A., 1960. Spacing and early growth of planted slash pine. *J. For.*, **58** (12), 966-987.
- BENNET F. A., 1962. Growth and yield of planted conifers in relation to initial spacing and stocking. *Proc. Soc. Amer. For.*, 22-26.
- BOX B. H., LINNARTZ N. E., APPLEQUIST M. B., 1964. Comparative growth and volume of loblolly pine planted at variable spacing. *L.S.U. For Note La Sch. For.*, (60) (abstract).
- BRAMBLE W. C., COPE H. N., CHISMAN H. H., 1949. Influence of spacing on growth of red pine in plantations. *J. of Forestry*, **47** (9), 723-726.
- BYRNES W. R., BRAMBLE W. C., 1955. Growth and yield of plantation-grown red pine at various spacings. *J. For.*, **53** (8), 562-565.
- COOK D. B., 1963. Spacing and layout for coniferous plantations in the Northeast. *J. For.*, 1963, **61** (4), 273-277.
- CROMER D. A. N., PAWSEY C. K., 1957. Initial spacing and growth of *Pinus radiata*. *For and timber bureau Aust. Bull.* (36), 42 p.
- DECOURT N., 1970. Utilisation des dispositifs clinaux pour l'étude de la compétition dans les peuplements forestiers. *V^e Colloque d'Ecologie, E.N.S., Paris, 12-14 mars 1970*.
- DELVAUX J., 1964. Contribution à l'étude de l'éducation des peuplements. I. Acquisition de la position dominante dans les jeunes plantations équiennes d'épicéa. *Stat. Rech. des Eaux et Forêts, Travaux, Série 3* (29), Groenendaal, 40 p.
- DUCHAUFOR Ph., 1954. Modifications apportées au sol par le reboisement à l'aide d'espèces étrangères à la station. *R.F.F.*, n° 2, 1954, p. 73-84.
- EVERSOLE K. R., 1955. Spacing tests in a Douglas fir plantations. *For. Sci.* (1), 14-18.
- FARINOTTI A., 1965. Deux techniques ou deux écoles? Quelques réflexions sur les écartements. *Forêt privée*, 1965 (42), 35-49 — (43), 33-39.
- FONDS FORESTIER NATIONAL, 1967. Instruction générale sur le F.F.N., titre II, chap. 1. *Direction des Eaux et Forêts*, 1967.
- GATHY P., 1965. Distance de Plantation. *Bull. Soc. Roy. For. Belg.*, **72**, (8, 9), 325-332.
- GIORDANO A., WILDE S. A., 1966. Sul distanziamento nelle piantagioni forestali in relazione al terreno ed al reddito economico. *Monti e boschi*, 1966 (5), p. 7-15.
- HALL M. J., 1966. Initial spacing in *Pinus radiata* for pulwood production at Longford, Victoria. *APPITA, Melbourne*, **18** (3), 122-127 (abstract).
- HARMS W. R., COLLINS A. B., 1965. Spacing and twelve years growth of slash pine. *J. of For.*, **63** (12), 909-912.
- HUBERT M., 1968. Quels espacements faut-il adopter dans les plantations? *ATVF*, n° 68-69, 21 p.
- HUTNIK R. J., HICKOCK K. H., 1967. Effect of spacing on dry matter production in red pine plantation. *Contr. XIV IUFRO Kongress München 4* (23), 314-328.
- KRAMER M., 1966. Crown development in conifer stands in Scotland as influenced by initial spacing and subsequent thinning treatment. *Forestry*, XXXIX, (1), 1966, 40-58.
- LARSON P. R., 1964. Some indirect effects of environment on wood formation. Dans «*The formation of wood in forest trees*» (M. H. Zimmermann, p. 345-365, Academic Press, New York).
- LAUFFENBURGER, 1952. Densité des plantations de pins sylvestres en vue de la production des bois de qualité. *R.F.F.* (1), 1952, p. 41-54.
- LÉONARD J.-P., 1967. La Forêt du Sud des U.S.A. *Coop. Agricole et Forestière du Sud-Ouest*, 80 p.
- MACKENZIE A. M., 1951. Spacing experiments in conifers. *Rep. For. Res., For. Comm. Lond.*, 59-61.

- MELZER E. W., 1963. Quadrat oder Rechteckverband für die Fichte. *Sie Soz. Forstw.*, **13** (5), 140-142.
- OLDENKAMP L., 1968. Hootteeltkundige grondslagen bij toe passing van grotere plantafstanden bij naalddhout (Les principes de sylviculture dans les plantations résineuses à larges espaces). Overdruk nit: *Nederlands Boshouw Tijdschrift*, **40** (4), 1968 (139-175).
- POLGE H., 1969. Densité de plantation et élagage de branches vivantes. *R.F.F.*, **XXI**, 1969, 451-466.
- POURTET J., 1964. *Les repeuplements artificiels* (troisième édition). Nancy, Ecole Nationale des Eaux et Forêts, p. 1-278.
- SINDELAROVA J., 1967. Problem hektarového počtu sazenic pri zalesnavani (Le problème du nombre de plants par hectare dans les reboisements). *Studijni informace UUTI, Lesnictvi*, **1** (2), 108 p.
- SJOLTE-JØRGENSEN J., 1967. The influence of spacing on the growth and development of coniferous plantations. *Forestry*, **II**, 43-94.
- SMITH J. H. G., 1958. Better yields through wider spacing. *J. For.*, **56** (7), 492-497.
- SMITH J. H. G., 1959. Comprehensive and economical designs for studies of spacing and thinning. *For. Sci.*, **5** (3), 237-245.
- SNEDECOR G. W., COCHRAN W. G., 1967. *Statisticol Methods* (Sixth Edition, Iowa State Univ. Press. Ames, Iowa, U.S.S., 593 p.).
- STEVENSON D. D., BARTOO R. A., 1939. The effect of spacing on the growth of Norway pine plantations, a progress report. *J. For.*, **37**, 313-319.
- STIELL W. H., 1964. Twenty years growth of red pine planted at three spacings. *Dep. of Forestry Canada* (1045).
- THONON H., 1963. Considération sur l'accroissement des pins de Corse en fonction de l'écartement de plantation. *Bull. Soc. Roy. For. Belg.*, **80** (3), 172-185.
- VANSELOW K., 1956. Einfluss des Pflanzenverbandes auf die Entwicklung reiner Fichtenbestände. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* (7-8).
- VESSEREAU A., 1960. *Méthodes statistiques en Biologie et en Agronomie* (S.B. Baillière et Fils, Paris, 538 p.).
- WARDLE P. A., 1967. Spacing in plantations; a management investigation. *Forestry*, **XL** (1), 47-69.
- WENTZEL K. T., 1966. Fichten Engverbänd wozu Dunkelkammen? *AFZ*, **21** (38), 644-646.
-