

Effets de divers modes de fertilisation (N, P, K) sur certaines caractéristiques physiques, chimiques, mécaniques et propriétés papetières du pin maritime des Landes (*Pinus pinaster* Ait.)

I. - Caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques

S. OHTA, R. KELLER * et G. JANIN **

*Forestry and Forest Products Research Institute
P.O. Box 16, Tsukuba Norin Kenkyu, Danchi Nai, Ibaraki 305, Japon*

** I.N.R.A., Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
Laboratoire de Recherches sur les Produits forestiers
14, rue Girardet, F 54042 Nancy Cedex*

*** I.N.R.A., Station de Recherches sur la Qualité des Bois
Centre de Recherches forestières de Nancy, Champenoux, F 54280 Seichamps*

Résumé

La qualité du bois d'échantillons de jeunes pins maritimes fertilisés a été étudiée sous divers aspects.

Parmi les sept modalités (témoin, ou apport au semis de N, P, N + K, N + P, P + K, N + P + K), ce sont les traitements P + K et P qui se sont révélés les plus satisfaisants : ils provoquent une augmentation très sensible de la croissance sans qu'il en résulte une diminution trop importante de la densité du bois ou des propriétés mécaniques mesurées, ce qui est intéressant aussi bien du point de vue de l'utilisation papetière que de celui de la production d'éléments structuraux à résistance mécanique convenable.

1. Introduction

Les techniques de la fertilisation forestière permettent d'obtenir des résultats spectaculaires pour la production en volume chez les espèces résineuses susceptibles d'une sylviculture intensive.

La littérature étrangère abonde en publications sur ce sujet : elles font le point de l'influence de la fertilisation sur la qualité du bois d'essences résineuses à croissance rapide, par exemple, PARKER *et al.* (1975) pour le douglas, GENTLE *et al.* (1968), RUDMAN & MCKINNEL (1970 et 1973) pour *Pinus radiata*. On trouve souvent que la fertilisation provoque une légère diminution de la densité du bois, plus que largement compensée par le gain en volume ; le rendement en fibre peut augmenter et la qualité papetière du bois être améliorée, comme on le trouve dans SIDDIQUI *et al.* (*op. cit.*), et MEGRAW & NEARN (1972).

Pour l'expérience de Mimizan, sur le pin maritime, GUINAUDEAU *et al.* (1963) avaient déjà mis en évidence une action très favorable des engrais, scories de déphosphoration en particulier, sur la croissance, la régularité des pousses en hauteur, la floraison, la durée de vie des aiguilles et la mycorhization sur des arbres semés et fertilisés en 1957.

Par la suite, POLGE (1969), étudiant des échantillons provenant de cette même expérience, avait trouvé que la fertilisation provoquait bien une diminution de la densité du bois chez le pin maritime, de l'ordre de 6 à 7 p. 100.

Cette diminution de la densité était d'ailleurs contrebalancée en partie par une augmentation du rendement en fibres pour tous les traitements ayant bénéficié d'un apport de phosphore. Un phénomène analogue est rapporté par SIDDIQUI *et al.* (1972) dans le cas du douglas fertilisé.

De plus, la longueur de fibres des arbres ayant reçu du phosphore avait été trouvée supérieure de presque 9 p. 100 à celle des témoins.

A l'âge de 16 ans, le dispositif de Mimizan avait atteint, selon les traitements, des hauteurs comprises entre 7,20 et 10,72 m ; le volume total produit allait de 42,7 à 131,2 m³, soit un accroissement annuel moyen depuis le semis de 2,67 à 8,20 m³ (tabl. 1). Pour les années 1971 et 1972, l'accroissement en volume atteignait de 5,30 à 13,75 m³/ha/an (BONNEAU, 1973, 1974 et 1980 communication personnelle ; BONNEAU *et al.*, 1968).

TABLEAU 1

*Essai de Mimizan.**Hauteur et volume, à la fin de 1972, 16 ans après le début de l'expérience.**Fertilizer experiment at Mimizan.**Total height and volume at the end of 1972, 16 years after the experiment start.*

Caractéristiques <i>Characteristics</i>	Traitements <i>Treatments</i>						
	T	N	P	NK	NP	PK	NPK
Hauteur moyenne à la fin de 1972, m .. <i>Mean height at the end of 1972, in m</i>	7,56	7,20	10,27	7,45	10,45	10,61	10,72
Volume total produit en 16 ans, y compris les coupes d'éclaircies, m ³ /ha	51,3	42,7	122,7	51,9	128,9	131,2	130,7
<i>Total produced volume in 16 years, in- cluding thinning crops, in m³/ha</i>							
Accroissement moyen en volume depuis le semis, pour 16 ans, m ³ /ha/an	3,21	2,67	7,67	3,24	8,06	8,20	8,17
<i>Mean volume increment since direct sowing, in 16 years, m³/ha/an</i>							
Accroissement courant en volume pour 1971 et 1972, m ³ /ha/an	5,90	5,30	12,80	6,00	13,55	13,75	12,40
<i>Current annual volume increment for 1971 and 1972, m³/ha/an</i>							

A un moment où, selon MAUGÉ (1973) et GELPE & MAUGÉ (1973) la fertilisation du pin maritime, couramment employée dans tous les reboisements landais au semis et dans les années ultérieures, permet d'escompter une augmentation de la production en volume de plus de 50 p. 100 (production de l'ordre de 10 m³/ha/an), il est souhaitable de rechercher quelles sont les conséquences de la fertilisation sur cette essence, en particulier sur les propriétés de son bois.

La première partie de cette étude présentera les résultats relatifs à certaines propriétés physiques, chimiques et mécaniques de pins maritimes provenant du dispositif de Mimizan.

La deuxième partie, à paraître ultérieurement, traitera de l'influence de la fertilisation sur les qualités papetières de ces pins en liaison notamment avec la présence de bois de compression.

2. Propriétés physiques, chimiques et mécaniques

2.1. Matériel d'étude

L'essentiel de l'échantillonnage a été tiré d'arbres âgés de 15 ans, exploités en automne 1971 dans le dispositif de Mimizan.

Il était constitué, en principe, de cinq billons tirés de chacune des cinq répétitions de chaque traitement, soit 25 arbres par traitement. Chaque groupe de cinq billons fut choisi de façon à représenter la variabilité de la circonférence observée dans chaque répétition.

Le dispositif comporte sept traitements :

- témoin (T),
- fertilisation par l'azote (N), le phosphore (P),
- fertilisation combinée entre l'azote et le potassium (NK), l'azote et le phosphore (NP), le phosphore et le potassium (PK),
- fertilisation combinée par les trois éléments (NPK).

Comme le traitement NK n'a pu être représenté que par 22 échantillons, le matériel d'étude comportait 172 billons de un mètre de long, dont la base avait été coupée à environ 30 cm du sol. Les caractéristiques de ces billons sont portées dans le tableau 2.

Un échantillonnage plus restreint avait été étudié auparavant, à partir d'arbres exploités au printemps 1969 ; il s'agissait d'un arbre par répétition (soit cinq arbres par traitement) dont la circonférence à 1,30 m était égale à la moyenne des circonférences des arbres de cette répétition. Des mesures de composition chimique en certains éléments, de rétractabilité et d'hétérogénéité du bois ont été faites sur cet échantillonnage réduit.

Les résultats des mesures de largeur de cernes, des propriétés physiques et mécaniques, de la teneur en certains éléments chimiques, de la rétractabilité et de l'hétérogénéité figurent au tableau 3.

TABLEAU 2
Caractéristiques des billons.
Characteristics of the logs.

Caractéristiques Characteristics	Traitements Treatments										Test «F»	
	T	N	P	NK	NP	PK	NPK					
Nombre de billons Number of the logs	25	25	25	22	25	25	25	25	25	25	25	
Circonférence C_2 à 1,30 m, cm Breast height girth C_2 , in cm	22,3	21,4	33,9	23,3	37,1	33,9	35,6	33,9	37,1	33,9	35,6	8,7***
Défilement entre 0,30 m et 1,30 m, cm/m Taper (on the girth) between 0,30 m and breast height girth, in cm/m	3,06	3,43	3,18	2,90	2,91	3,60	2,85	3,60	2,91	3,60	2,85	NS
Conicité $\frac{C_1}{C_2}$ Conicity, ratio girth at 0,30 m breast height girth	1,169	1,200	1,094	1,161	1,080	1,100	1,084	1,100	1,080	1,100	1,084	8,5***
Excentricité à la base (0,30 m) radius of the log, compression wood	1,238	1,247	1,361	1,286	1,324	1,352	1,307	1,352	1,324	1,352	1,307	NS
Ratio radius of the log, normal wood												
Excentricité à 1,30 m Idem, at breast height	1,207	1,213	1,275	1,228	1,293	1,245	1,279	1,245	1,293	1,245	1,279	NS
Méplat à la base (0,30 m) normal wood radius + compression wood radius	1,049	1,068	1,048	1,061	1,048	1,041	1,055	1,041	1,048	1,041	1,055	NS
Ratio diameter of the log in a perpendicular direction at 0,30 m												
Méplat à 1,30 m Idem, at breast height	1,053	1,079	1,058	1,063	1,038	1,037	1,047	1,037	1,038	1,037	1,047	NS

* : test F significant at 5 %.
** : test F significant at 1 %.

*** : test F significant at 1 %.
NS : test F not significant.

Le tableau 4 regroupe les résultats des tests de comparaisons de moyenne pour l'ensemble des critères mesurés pour lesquels existent des différences significatives ; les traits horizontaux regroupant plusieurs valeurs indiquent qu'elles ne peuvent être tenues pour significativement différentes les unes des autres, aux seuils d'erreur adoptés, 5 p. 100 et 1 p. 100.

2.2. Etude de la qualité du bois

2.21. Caractéristiques des billons

2.211. Circonférence à 1,30 m

L'effet de la fertilisation est manifeste : les traitements comportant du phosphore se différencient fortement des autres, comme l'indique le tableau 2, résultat des comparaisons multiples de moyennes.

Le groupe des traitements T, N et NK ne dépasse pas 23,3 cm tandis que celui des P, PK, NPK et NP dépasse 33,9 cm, soit au moins une supériorité de 0,7 cm par an, en moyenne, de la croissance en circonférence pendant les quinze premières années du peuplement.

2.212. Défilement et conicité

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les défilements calculés sur les billons de un mètre par l'expression $\frac{C_1 - C_2}{l}$, où C_1 et C_2 sont les circonférences aux extrémités et l leur distance.

En revanche, l'examen du rapport $\frac{C_1}{C_2}$ (l était très voisin de un mètre pour tous

les billons de cette expérience), montre une tendance significative à ce que les billons des traitements sans phosphore présentent une conicité plus marquée que les traitements avec phosphore (tabl. 2).

Toutefois, cette différence de comportement de ces deux variables devrait être réexaminées sur d'autres échantillons pour être confirmée ou infirmée.

2.213. Excentricité de la moelle

L'excentricité de la moelle est définie par le rapport du plus grand rayon d'une section transversale au rayon qui lui est directement opposé (POLGE & ILLY, 1967) ; les rayons sont les distances de la moelle aux limites du dernier accroissement annuel.

On observe souvent, dans le cas du pin maritime, une excentricité de la moelle, phénomène lié à la présence de bois de réaction (bois de compression). En première approximation, on peut considérer que le rayon le plus grand se trouve dans la zone de bois de compression et que le plus petit, qui lui est opposé, se trouve dans du bois normal. Cette anisotropie donne une idée du plus ou moins grand développement du bois de compression ; si elle est trop accusée elle risque de devenir un défaut gênant, surtout dans l'hypothèse de l'utilisation de cette essence en déroulage.

TABLEAU 3

Principaux résultats des comparaisons de moyennes entre traitements.
Main results of tests of comparisons of means between the several treatments.

Caractéristiques <i>Characteristics</i>	Traitements <i>Treatments</i>								Test « F »	
	T	N	P	NK	NP	PK	NPK			
Essais mécaniques - <i>Mechanical tests</i>										
Nombre d'éprouvettes <i>Number of samples</i>	25	25	25	39	25	25	24			
Largeur de cerne, mm <i>Ring width, in mm</i>	5,7	5,7	6,3	5,6	7,3	7,6	7,9			5,5***
Infradensité, g/dm ³ <i>Basic density, in g/dm³</i>	378	362	379	404	345	358	313			11,0***
Contrainte de rupture en flexion statique, daN/cm ² <i>Modulus of rupture in daN/cm², static bending, centre loading</i>	771	725	743	848	538	767	519			17,2***
Module d'élasticité apparent en flexion statique, daN/cm ² <i>Modulus of elasticity in daN/cm², static bending, centre loading</i>	82 500	67 300	69 000	81 500	57 300	77 500	55 600			11,1***
Flèche à la rupture en flexion statique, mm <i>Deflection at rupture, in mm, static bending, centre loading</i>	9,7	14,0	12,7	11,4	9,0	10,2	9,5			12,6***

TABLEAU 4

Résultats des comparaisons de moyennes.
Représentation schématique des différences entre traitements
lorsque le test F est significativement différent de zéro.

Results of tests of comparisons of means.

Diagrams of the differences between treatments when the F test is significant.

Several treatments underlined by the same stroke are not statistically different of each others.

Circonférence C ₂ à 1,30 m cm	N	T	NK			P, PK	NPK	NP	F	
	21,4	22,3	23,3			33,9	35,6	37,1	8,7***	
	_____					_____			1 %	
Conicité $\frac{C_1}{C_2}$	NP	NPK	P	PK		NK	T	N	8,5***	
	1,080	1,084	1,094	1,100		1,161	1,169	1,200	5 %	
	_____					_____			1 %	
Excentricité à la base (0,30 m)	T	N	NK	NPK	NP	PK	P		2,2*	
	1,238	1,247	1,276	1,308	1,343	1,361	1,390		5 %	
	_____					_____			1 %	
Largeur moyenne des cernes des éprouvettes mm	NK	N, T	P		NP	PK	NPK		5,5***	
	5,6	5,7	6,3		7,3	7,6	7,9		5 %	
	_____				_____				1 %	
Infradensité g/dm ³	NPK		NP	PK	N	T	P	NK	11,0***	
	313		345	358	362	378	379	404	5 %	
	_____			_____		_____			1 %	
Contrainte de rupture en flexion statique daN/cm ²	NPK	NP			N	P	PK	T	NK	17,2***
	519	538			725	743	767	771	848	5 %
	_____				_____				1 %	
Module d'élasticité apparent en flexion statique daN/cm ²	NPK	NP		N	P	PK	NK	T	11,1***	
	55 600	57 300		67 300	69 000	77 500	81 500	82 500	5 %	
	_____			_____		_____			1 %	
Flèche à la rupture en flexion statique mm	NP	NPK	T	PK	NK	P		N	12,6***	
	9,0	9,5	9,7	10,2	11,4	12,6		14,0	5 %	
	_____			_____		_____			1 %	

TABLEAU 4 (suite)

Contrainte de rupture en compression axiale daN/cm ²	NPK		NP	PK	P	N	T	NK	13,5***	
	257		312	331	354	359	362	380		
Dureté, profondeur d'empreinte mm	NK	P	T	N	PK		NP	NPK	F	
	0,85	0,91	0,94	0,97	1,15		1,32	1,48	10,8***	
Teneur en azote en p. 100 de matière sèche <i>N content in p. 100 of dry matter</i>	NPK		T	PK	P	NP, NK		N	2,5*	
	0,067		0,083	0,084	0,087	0,090		0,102		
Teneur en magnésium p. 100 de matière sèche (effet bloc) <i>Mg content in p. 100 of dry matter (« plot » effect not « treatment » effect)</i>	bloc 3		bloc 2	bloc 4		bloc 1	bloc 5		7,8***	
	0,0121		0,0151	0,0159		0,0186	0,0187			
Retrait radial p. 100 <i>Radial shrinkage, p. 100</i>	N		NPK	NK	PK	P	NP	T	3,8**	
	0,91		1,44	2,03	2,16	2,46	2,61	2,72		
Retrait volumétrique p. 100 <i>Volumetric shrinkage, p. 100</i>	N		NPK	PK	NK		NP, T	P	4,1**	
	4,27		4,75	4,95	5,18		6,30	6,64		
Masse anhydre de bois produite en 16 ans t/ha <i>Dry matter weight of wood produced in 16 years, in t/ha</i>	N	T	NK			NPK	NP	P	PK	(1)
	15,5	19,4	21,0			40,9	44,5	46,5	47,0	

(1) Test F non calculé, les résultats ayant été obtenus à partir des chiffres moyens de chaque traitement - The F test is not calculated because the results have been obtained from the mean value of each treatment.

Other captions like tables 2 and 3.

Les chiffres observés (voir le tableau 2) ne permettent pas d'attribuer aux diverses modalités de fertilisation une influence quelconque sur l'excentricité, les tests F de l'analyse de variance n'étant pas significatifs. Compris entre 1,207 et 1,361, avec pour moyenne générale 1,275, ils se rapprochent des chiffres donnés par POLGE & ILLY (*op. cit.*) dont la moyenne est 1,247.

2.214. Méplat

Le méplat a été défini (POLGE & ILLY, *op. cit.*) comme étant le rapport du plus grand diamètre d'une section transversale au diamètre de la direction perpendiculaire.

Comme l'on disposait de la mesure de la circonférence, ainsi que de celle du plus grand diamètre passant par la moelle, on a estimé, de façon approchée, celle du diamètre perpendiculaire en supposant que les sections transversales des billons étaient elliptiques.

A la base des billons, le méplat varie entre 1,041 et 1,068, mais aucun des traitements ne se distingue des autres, le test F n'étant pas significatif.

A 1,30 m, il fluctue entre 1,037 et 1,079 mais là non plus aucune différence n'apparaît.

Les valeurs obtenues et leur moyenne, 1,053, sont tout à fait comparables aux résultats trouvés par POLGE & ILLY (*op. cit.*) pour divers peuplements de pin maritime des Landes, dont la moyenne est 1,039.

2.22. Caractéristiques des éprouvettes d'essais mécaniques. Résultats

2.221. Echantillonnage

Des éprouvettes normalisées (2 cm × 2 cm × 30 cm, N.F. B- 51 003 à 51 008) ont été débitées pour mesurer les propriétés physiques et mécaniques. Nous nous sommes efforcés d'obtenir par traitement au moins 20 éprouvettes utilisables dans les divers essais.

La petite dimension de certains billons, la présence de nombreux nœuds, puisque les arbres étaient encore très jeunes, l'hétérogénéité entre traitements nous ont empêché de disposer d'un nombre donné de billons par traitement et de débiter un nombre donné d'éprouvettes par billon. L'échantillonnage obtenu est loin d'être orthogonal et, par suite, l'analyse n'est que globale, comme nous l'avons déjà signalé, et porte uniquement sur une influence éventuelle des types de fertilisation, puisqu'on ne peut faire de décomposition de la variance.

2.222. Largeur de cernes des éprouvettes

Les différences constatées sur la circonférence des billons se retrouvent, dans l'ensemble, au niveau de la largeur moyenne des cernes des éprouvettes qui varie de 5,7 mm (traitement témoin T) à 7,9 mm (traitement fertilisé NPK). Le test F est très significatif (tabl. 4).

La coupure entre traitements avec ou sans phosphore est cependant moins nette que dans le cas de la circonférence (tabl. 2). Cela pourrait être dû au fait que les éprouvettes ont été débitées plutôt dans la partie périphérique des billons, afin d'éviter

les nœuds, et donc dans une zone où la croissance était moins différente de traitement à traitement puisque la période de formation du bois était déjà éloignée de la date d'application des éléments fertilisants.

2.223. *Densité du bois*

La densité a été estimée par la méthode de la saturation intégrale et les résultats sont exprimés en infradensité (KEYLWERTH, 1954 ; POLGE, 1963). Des différences très significatives apparaissent entre traitements : en particulier le traitement NPK ne présente qu'une valeur de 313 g/dm³, les autres traitements s'échelonnant entre 345 et 404 g/dm³ (tabl. 3 et 4).

Le traitement à P seul a une forte densité, alors que ceux où P est associé à d'autres éléments présentent une densité plus faible.

Le traitement PK ne peut être tenu pour significativement différent des traitements N, T et P, et ceci bien qu'il ait une largeur moyenne de cernes élevée.

2.224. *Flexion statique*

2.2241. *Contrainte de rupture en flexion statique*

Deux traitements présentent des contraintes particulièrement faibles, il s'agit de NPK et NP qui forment un groupe bien à part avec des valeurs inférieures à 540 daN/cm².

Les autres traitements ne sont pas statistiquement différents les uns des autres et l'on peut noter la bonne tenue de PK (tabl. 3 et 4) ; leurs valeurs sont comprises entre 725 et 848 daN/cm².

2.2242. *Module d'élasticité*

Le module d'élasticité apparent en flexion statique, mesuré à partir des courbes des déformations en fonction de la charge, présente des groupements voisins de ceux de la contrainte de rupture en flexion statique et les traitements s'ordonnent à peu près comme les valeurs de la densité du bois.

Les modules varient de 55 600 à 82 500 daN/cm².

2.2243. *Flèche à la rupture en flexion statique*

On trouve un fort domaine de variation puisque les flèches peuvent aller de 9 à 14 mm.

Le classement des traitements n'est plus comparable à celui de la densité du bois, ou à ceux des deux grandeurs précédentes : des traitements résistants à une forte contrainte en flexion statique ou encore à densité du bois assez élevée peuvent présenter une faible flèche (T et PK) ou, au contraire, fléchir beaucoup (P et N).

Il n'a pas été possible ici de mettre en évidence une liaison entre cette flèche et les valeurs de la densité minimale (voir paragraphe 2.233), à la différence de ce qui avait été trouvé dans le cas du douglas (KELLER, 1968) pour lequel une corrélation négative entre la flèche et la densité minimale s'était manifestée.

2.225. *Contrainte de rupture en compression axiale*

Les résultats varient également dans de larges proportions et se classent approximativement comme les densités du bois ; ils s'échelonnent de 257 daN/cm² pour NPK à 380 daN/cm² pour NK.

2.226. *Dureté*

Les chiffres expriment, en mm, la profondeur de l'empreinte laissée par le couteau cylindrique de 3 cm de diamètre, sous une charge de 200 daN et sur une éprouvette de 2 cm de côté (100 daN/cm).

La dureté croît exactement comme les chiffres de densité (le bois est d'autant plus dur que la profondeur d'empreinte est plus faible) ou encore comme la contrainte de rupture en compression axiale.

2.23. *Mesures effectuées sur l'échantillonnage restreint : composition chimique, rétractibilité, microdensitométrie*

Les résultats présentés dans les paragraphes 2.231 à 2.233 ont été obtenus à partir de l'échantillonnage restreint tiré de billons exploités en 1969, donc sur des arbres âgés de 13 ans. Ils sont donnés à titre d'information, mais sous réserve des résultats que pourront donner des études portant sur un échantillonnage plus abondant (tabl. 3).

2.231. *Teneur du bois en certains éléments*

On a déterminé la teneur du bois en divers éléments : azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium.

En général, les teneurs des divers traitements ne peuvent être tenues pour différentes, sauf peut-être pour l'azote, dont le test F est très proche de la signification au seuil de 5 p. 100 (tabl. 4).

Dans le cas de cet échantillonnage restreint, la variance a pu être décomposée en un effet « traitement » et un effet « bloc ». Les chiffres de la teneur en magnésium ne laissent apparaître aucun effet « traitement » mais, en revanche, un effet « bloc » très significatif dont on peut supposer, en première hypothèse, qu'il est provoqué par des différences stationnelles dans le dispositif expérimental (GUINAUDEAU J. *et al.*, *op. cit.*). C'est d'ailleurs le seul cas où un effet bloc a pu être mis en évidence à partir de cet échantillonnage restreint.

2.232. *Rétractibilité*

Ne seront évoqués ici que les retraits, mesurés sur des cubes de 2 cm d'arête, entre le point de saturation des fibres et l'état sec à l'air, soit 10 p. 100 d'humidité environ.

Seuls les retraits radial et volumétrique laissent apparaître des différences significatives entre les traitements.

Le retrait radial est compris entre 0,91 p. 100 et 2,72 p. 100 et le retrait volumétrique entre 4,27 p. 100 et 6,64 p. 100 (tabl. 4).

Les traitements N et NPK ont les plus faibles retraits, alors que P, NP et T sont les plus élevés.

Le retrait axial est compris pour tous les traitements entre — 0,15 p. 100 et 0,12 p. 100 et le retrait tangentiel entre 2,64 p. 100 et 3,90 p. 100, mais aucune différence significative n'a pu être mise en évidence à partir de cet échantillonnage.

2.233. *Microdensitométrie*

Les densités minimale et maximale, ainsi que leur différence qui donne une estimation de l'hétérogénéité du bois (KELLER, 1973), ont été mesurées à partir des images radiographiques des six cernes allant de 6 à 11 ans (POLGE, 1966 ; KELLER, 1968).

Aucune différence significative entre traitements n'a pu être mise en évidence pour ces trois caractéristiques.

La densité minimale est comprise entre 351 et 387 g/dm³ ; la densité maximale, entre 719 et 752 g/dm³.

L'hétérogénéité varie de 354 à 392 g/dm³ selon les traitements.

3. Conclusion à la première partie

Pour que la fertilisation ait un intérêt il faut qu'elle augmente la vitesse de croissance sans que la densité du bois et les propriétés mécaniques soient trop fortement diminuées par rapport au traitement témoin.

Les résultats indiquent que les modalités N et NK ne sont pas intéressantes puisque la croissance n'est pas meilleure que celle des arbres non fertilisés.

Les traitements NP et NPK, à forte vitesse de croissance, fournissent en revanche le bois le moins dense, aux performances mécaniques très médiocres.

Ils ne seraient intéressants que si, dans l'hypothèse d'une production de masse du bois, le résultat du produit de l'infradensité par le volume élaboré à l'hectare et en un temps donné (par exemple production de matière sèche par hectare et par an) les classait en tête des autres traitements ; ce n'est d'ailleurs pas de cas avec nos résultats (tabl. 5). Si l'on a pour objectif la production papetière, le classement doit, en fait, s'appuyer sur le produit : volume \times infradensité \times rendement en fibres.

Les traitements P et PK allient à une très bonne vitesse de croissance, une densité du bois moyenne à forte, et des propriétés mécaniques satisfaisantes, variant de 84 à 91 p. 100 de celles des témoins.

Comme il semble que le retrait de PK soit le plus faible, ce sera, provisoirement, notre meilleur traitement, suivi par P qui donne aussi la deuxième valeur, après PK, pour la masse de matière sèche (tabl. 5).

TABLEAU 5

Masse de bois anhydre produite par chaque traitement pendant les 16 premières années de l'expérience. Chiffres calculés à partir des résultats moyens.

Dry matter weight produced by each treatment during the first 16 years of the experiment. The figures have been calculated from the mean results.

Caractéristiques <i>Characteristics</i>	Traitements <i>Treatments</i>						
	T	N	P	NK	NP	PK	NPK
Volume total produit en 16 ans, m ³ /ha <i>Total volume produced in 16 years, in m³/ha</i>	51,3	42,7	122,7	51,9	128,9	131,2	130,7
Infradensité, kg/m ³ <i>Basic density, in kg/m³</i>	378	362	379	404	345	358	313
Masse de bois anhydre produite en 16 ans, t/ha <i>Dry matter weight of wood produced in 16 years, in t/ha</i>	19,4	15,5	46,5	21,0	44,5	47,0	40,9
Masse de bois anhydre produite annuellement pendant les 16 premières années, t/ha/an <i>Dry matter weight of wood annually produced during the first 16 years, in t/ha/an</i>	1,21	0,97	2,91	1,31	2,78	2,94	2,56

Le classement de la modalité avec phosphore seul est particulièrement satisfaisant puisqu'elle correspond à la pratique courante actuelle dans le massif landais : la production est très sensiblement augmentée, la densité du bois et ses propriétés mécaniques sont encore très bonnes ; il n'y a donc pas lieu de craindre que la sylviculture plus intensive du pin maritime aboutisse à une production de bois de mauvaise qualité.

Il n'en reste pas moins que ces conclusions demandent à être vérifiées par d'autres expérimentations, sur des arbres plus âgés où l'on pourrait étudier aussi l'évolution des propriétés en fonction de l'intervalle de temps séparant la date de fertilisation du pin maritime de la date d'élaboration des différents accroissements annuels.

Reçu pour publication le 11 novembre 1982.

Summary

Effects of several fertilizers (N, P, K) on some physical, chemical, mechanical characteristics and pulp properties of maritime pine in Landes (Pinus pinaster Ait.)

Part I : Physical, chemical and mechanical characteristics

The wood quality of sixteen-year-old fertilized maritime pines has been investigated from several points of view.

Among the seven modalities (control, or fertilization at direct sowing time with N, P, N + K, N + P, P + K, N + P + K) the P + K and P treatments have given the best results : they induce a marked increase in yield without a too big drop in wood density or mechanical properties ; this fact is interesting in a point of view of production of pulp as well as of structural components with a suitable stiffness.

Zusammenfassung

Beziehungen zwischen verschiedenen Düngungsverfahren (N, P, K) und einigen physischen, chemischen, mechanischen Eigenschaften der Seestrandkiefer (Pinus pinaster Ait.) auch in Bezug auf die Zellstoffherstellung

Erster Teil : Physische, chemische, mechanische Eigenschaften

Holzproben von gedüngten jungen sechzehnjährigen Seestrandkiefern wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten untersucht.

Von den folgenden untersuchten Düngungsverfahren (Kontrol, oder Düngung beim Säen mit N, P, N + K, N + P, P + K, N + P + K) haben sich die zwei Behandlungen mit P + K und P als die besten erwiesen : sie verursachen nämlich eine sehr wichtige Zunahme des Zuwachses ohne eine zu grosse Abnahme der Holzdichte oder der mechanischen Eigenschaften nach sich zu ziehen ; dieses Ergebnis ist für die Papierindustrie von Bedeutung sowohl wie für die Herstellung von Bauelementen mit passender Festigkeit.

Remerciements

Nous remercions les Papeteries de Gascogne qui nous ont très aimablement procuré les échantillons de bois provenant de l'essai de Mimizan-la-Lande ainsi que la Station de recherches sur les sols forestiers et la fertilisation, en particulier MM. BONNEAU et CLÉMENT, pour les mesures effectuées et les renseignements donnés.

Références bibliographiques

- BONNEAU M., 1973. La situation de la recherche sur la nutrition des forêts. F.A.O. - I.U.F.R.O. Symposium sur l'utilisation des engrais en forêt. 3-7 décembre, Paris.
- BONNEAU M., 1974. Les résultats obtenus en France en matière de fertilisation forestière. *La Forêt Privée Française*, n° 99, 67-81.
- BONNEAU M., GELPE J., LE TACON F., 1968. Influence des conditions de nutrition minérale sur le dépérissement du pin maritime dans les Landes de Gascogne. *Ann. Sci. For.*, **25** (4), 251-289).

- GENTLE S.W., BAMBER R.K., HUMPHREYS F.R., 1968. Effect of two phosphate fertilizers on yield, financial yield, and wood quality of Radiata pine. *For. Sci.*, **14** (3), 283-286.
- GUINAUDEAU J., ILLY G., MAUGE J.P., DUMAS F., 1963. Essai de fertilisation minérale sur pin maritime à Mimizan (Landes). Résultats après la 6^e année. *Ann. Ec. natl. Eaux Forêts Stn. Rech. Exp.*, **20**, 1-72.
- KELLER R., 1968. Des caractéristiques nouvelles pour l'étude des propriétés mécaniques des bois : les composantes de la densité. *Ann. Sci. for.*, **25** (4), 237-249.
- KELLER R., 1973. Caractéristiques du bois de pin maritime. Variabilité et transmission héréditaire. *Ann. Sci. for.*, **30** (1), 31-62.
- KEYLWERTH R., 1954. *Ein Beitrag zur qualitativen Zuwachsanalyse. Die Bestimmung der Raumdichtezahl an kleinen Proben. Holz als Roh- und Werkstoff. März*, 77-83.
- MAUGE J.P., 1972. Fertilisation et croissance du pin maritime dans la région landaise. *Rapp. annu. A.FO.CEL.*, 141-175.
- MEGRAW R.A., NEARN W.T., 1972. Detailed D.B.H. density profiles of several trees from Douglas-fir fertilizer/thinning plots. Proceedings of the symposium of the effect of growth acceleration on the properties of wood. *For. Prod. Lab.* Forest Service U.S.D.A.
- PARKER M.L., HUNT K., WARREN W.G., KENNEDY R.W., 1975. Effect of thinning and fertilization on intra-ring characteristics and kraftpulp yield of Douglas-fir. *Eighth Cellulose Conference Syracuse, New York, May*, 19-23.
- POLGE H., 1963. Contribution à l'étude de la qualité du bois des principales essences résineuses exotiques utilisées dans les reboisements français. *Ann. Ec. natl. Eaux Forêts Stn. Rech. Exp.*, **20** (3), 403-467.
- POLGE H., 1969. Influence de la fertilisation sur la qualité du bois de pin maritime. *Ann. Sci. for.*, **26** (1), 45-64.
- POLGE H., ILLY G., 1967. Observations sur l'anisotropie du pin maritime des Landes. *Ann. Sci. for.*, **24** (3), 205-231.
- RUDMAN P., MCKINNEL F.H., 1970. Effect of fertilizers on wood density of young Radiata pine. *Aust. For.*, **34** (3), December.
- SIDDQUI K.M., GLADSTONE W.T., MARTON R., 1972. Influence of fertilization on wood and pulp properties of Douglas-fir. Proceedings of the symposium on the effect of growth acceleration on the properties of wood. *For. Prod. Lab.*, Forest Service U.S.D.A.