



**HAL**  
open science

## Fertilisation initiale et réitérée du Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) : principaux résultats de l'essai de Berganton.

Pierre Trichet, F. Vauchel, Didier Bert, Maurice Bonneau

### ► To cite this version:

Pierre Trichet, F. Vauchel, Didier Bert, Maurice Bonneau. Fertilisation initiale et réitérée du Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) : principaux résultats de l'essai de Berganton.. *Revue forestière française*, 2000, 52 (3), pp.207-222. 10.4267/2042/5356 . hal-03443451

**HAL Id: hal-03443451**

**<https://hal.science/hal-03443451>**

Submitted on 23 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# biologie et forêt

## FERTILISATION INITIALE ET RÉITÉRÉE DU PIN MARITIME (*Pinus pinaster* Aït.) : PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ESSAI DE BERGANTON

P. TRICHET - F. VAUCHEL  
D. BERT - M. BONNEAU

Avec près de 1,4 million d'hectares et 22 % de la récolte nationale (Lorette, 1996), le Pin maritime (*Pinus pinaster* Aït.) constitue la première essence résineuse de France. L'Aquitaine concentre l'essentiel de la production avec 76 % des surfaces et 86 % de la récolte annuelle (Merzeau, 1995). La sylviculture intensive du Pin maritime dans les landes de Gascogne repose sur la pratique du labour, de la fertilisation, du débroussaillage, d'éclaircies régulières et de l'utilisation de graines génétiquement améliorées (Chaperon, 1989). Ce type de sylviculture associée au rajeunissement du massif (reboisement des anciennes zones incendiées durant la période 1940-1949) a provoqué un accroissement notable de la productivité qui est passée, en 30 ans, de 4,8 à 9 m<sup>3</sup>/ha/an (IFN, 1982, 1991).

Les premiers essais de fertilisation sur Pin maritime ont été installés à la fin des années 1950 (Bonneau, 1995). Les résultats spectaculaires montrant l'efficacité de la fertilisation phosphatée apportée à l'installation (Maugé, 1960a, 1960b ; Guinaudeau *et al.*, 1963 ; AFOCEL, 1965 ; Alazard, 1980, 1991) ont très rapidement entraîné l'extension de cette technique sur le massif landais. Actuellement, l'ensemble des reboisements effectués sur les sites de lande humide à mésophile sont fertilisés avec des phosphates naturels (hyper-phosphate) ou de synthèse (super-phosphate) à des doses allant de 60 à 120 kg d'acide phosphorique (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) par hectare.

À l'heure actuelle, même si la fertilisation phosphatée est pratiquée couramment, les interrogations de la communauté scientifique et technique landaise à son sujet sont multiples (Lesgourgues *et al.*, 1997) :

— Il convient tout d'abord de réaliser un bilan de l'efficacité de la fertilisation phosphatée sur une révolution de pins maritimes, à l'aide des résultats des dispositifs de fertilisation de la "première

génération” qui sont maintenant proches de l’âge d’exploitation. À ce jour, seulement deux de ces dispositifs sont statistiquement exploitables. Le dispositif de Mimizan, installé en 1957, est de loin le plus connu (Guinaudeau *et al.*, 1963) ; il caractérise les stations de lande humide à mésophile. Le dispositif de Berganton, quant à lui, a été installé en 1963 sur un site caractéristique de la lande humide, pour confirmer les premiers résultats obtenus à Mimizan. Par son caractère de lande humide bien typée, Berganton a été et continue d’être un site de référence pour l’étude du fonctionnement de l’écosystème forestier landais.

— Il s’agit ensuite d’optimiser l’itinéraire technique de fertilisation par l’apport de connaissances scientifiques en répondant aux questions suivantes : quelles doses et quelles formes de fertilisants apporter, comment les épandre et à quel âge ? Le dispositif de Berganton permet d’apporter des éléments de réponse : il teste l’effet à cinq ans de quatre doses de phosphore (0, 65, 95, 125 kg d’acide phosphorique par hectare) apportées à l’installation du peuplement, ainsi que l’effet à 34 ans de ces quatre mêmes doses auxquelles une fertilisation phosphatée complémentaire a été ajoutée à l’âge de 11 ans. Ce “regonflage” a été réalisé suite à l’observation de la baisse de l’efficacité de la fertilisation phosphatée constatée à Mimizan à partir de l’âge de 15 ans (Gelpé et Guinaudeau, 1974), dans l’objectif d’enrayer cette dernière.

— En dernier lieu, il convient de placer la technique de fertilisation dans le contexte de la réflexion sur le caractère durable de la sylviculture du Pin maritime. En effet, un bilan sommaire des entrées-sorties de phosphore et d’azote sur une révolution de pins maritimes de 50 ans laisse suspecter un bilan équilibré pour le phosphore et déficitaire pour l’azote. Pour le phosphore, la fertilisation équilibre les exportations minérales liées à la récolte. Pour l’azote, la fertilisation n’étant pas pratiquée et la recharge par dépôts atmosphériques faible, l’écosystème s’appauvrit en azote à chaque récolte (Loustau *et al.*, 1997 ; Trichet *et al.*, 1999). Il convient donc de s’interroger sur l’opportunité de réaliser une fertilisation azotée. Le dispositif de Berganton teste l’effet du fractionnement de la fertilisation azotée et potassique apportée dans le jeune âge.

L’objectif de cet article est de présenter les résultats dendrométriques, à 5 et 34 ans, du dispositif de fertilisation de Berganton.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Site

L’expérimentation est située à 30 km au sud-ouest de Bordeaux (latitude 44°42’ Nord, longitude 0°46’ Ouest), sur un terrain géré par la Coopérative agricole et forestière Sud-Atlantique. Situé à une altitude de 50 m, sur un terrain horizontal, le dispositif couvre une superficie de 17 ha. Le régime climatique est de type océanique, avec des étés relativement secs et des hivers doux et pluvieux ; les moyennes des totaux annuels (sur la période 1951-1990) de température et de pluviométrie sont de 12,5 °C et 932 mm.

La station est située en “lande humide”, unité écologique régionale caractérisée par une nappe phréatique fluctuant annuellement entre 0 et 150 cm de profondeur. Le sol est sableux et typique des podzols humo-ferrugineux de lande mal drainée. Un alios fortement induré est présent dans l’horizon B de manière quasi continue à une profondeur qui oscille entre 50 et 80 cm. Le sous-bois est composé de Molinie (*Molinia coerulea* Moench.), de Bruyère à balais (*Erica scoparia* L.), d’Avoine de Thore (*Pseudarrhenatherum longifolium* (Thore) Ry.), d’Ajonc d’Europe (*Ulex europaeus* L.) et de Bourdaine (*Rhamnus frangula* L.).

Le peuplement a été installé après coupe rase. Il est issu d’un semis en bandes (graines en provenance de Soulac, Médoc), réalisé en juillet 1963, après un débroussaillage, un épandage d’engrais

sur les zones concernées et un labour à une profondeur de 40 cm. Les bandes labourées, semées et éventuellement fertilisées font en moyenne 3 m de large et sont espacées de 4 m.

### Le dispositif expérimental

L'essai, conçu par G. Illy, J.-P. Maugé et M. Bonneau, met en comparaison 15 traitements ou modalités de fertilisation répétés trois fois (trois blocs), qui diffèrent par la présence ou l'absence d'un apport de  $P_2O_5$  combiné ou non avec un apport de NK. Cet apport de  $P_2O_5$  a été réalisé à l'installation du peuplement et à 11 ans. À l'installation, quatre doses ont été testées : 0, 65, 95 et 125 kg de  $P_2O_5$ /ha concentrées sur les bandes labourées etensemencées ; à 11 ans, tous les placeaux préalablement fertilisés en phosphore ont reçu une dose de 112 kg de  $P_2O_5$ /ha appliquée dans l'interbande sans enfouissement.

L'apport de NK, appliqué uniquement sur les zones ayant reçu 125 kg de  $P_2O_5$ /ha à l'installation, répond à un schéma factoriel à deux facteurs (tableau I, ci-dessous) :

- un facteur "année d'apport" à trois niveaux (1965, 1967, 1969) ;
- un facteur "dose" à trois niveaux en 1965 (0 ou 30, 60 kg/ha de N et  $K_2O$ ) et à deux niveaux en 1967 et 1969 (0 ou 30 kg/ha de N et  $K_2O$ ).

Les placeaux unitaires font 50 m x 50 m ; seuls les individus d'un carré central de 35 m x 35 m ont été mesurés. Les trois blocs sont éclatés et ont été créés à partir des hauteurs moyennes des pins à deux ans. En effet, les premiers apports de NK n'ayant pas encore été faits et la fertilisation phosphatée étant uniforme (125 kg de  $P_2O_5$ /ha), la hauteur à deux ans reflétait les conditions stationnelles originelles. Les plus faibles hauteurs moyennes correspondent au bloc I, les plus fortes au bloc III.

### Engrais apportés et entretiens sylvicoles réalisés

- Phosphore : en juillet 1963, apport de scories de déphosphoration à 21 % de  $P_2O_5$  avec un épandeur à grilles, puis enfouissement. En octobre 1974, apport en couverture de phosphates naturels à 30 % de  $P_2O_5$  ;

Tableau I Traitements appliqués à Berganton

Éléments fertilisants en kg/ha								Traitements	Codes
$P_2O_5$		N			$K_2O$				
1963	1974	1965	1967	1969	1965	1967	1969		
0	0	–	–	–	–	–	–	T	–
65	112	0	0	0	0	0	0	$P_{65}$	–
95	112	0	0	0	0	0	0	$P_{95}$	–
125	112	0	0	0	0	0	0	$P_{125}$	000
125	112	0	0	30	0	0	30	NPK	001
125	112	0	30	0	0	30	0	NPK	010
125	112	0	30	30	0	30	30	NPK	011
125	112	30	0	0	30	0	0	NPK	100
125	112	30	30	0	30	30	0	NPK	110
125	112	30	0	30	30	0	30	NPK	101
125	112	30	30	30	30	30	30	NPK	111
125	112	60	0	0	60	0	0	NPK	200
125	112	60	0	30	60	0	30	NPK	201
125	112	60	30	0	60	30	0	NPK	210
125	112	60	30	30	60	30	30	NPK	211

• Azote et potassium : aux printemps 1965, 1967 et 1969, l'azote a été apporté sous forme de perlurée à 46 % de N et le potassium sous forme de sulfate de potassium à 50 % de K<sub>2</sub>O. Ces engrais ont été épandus manuellement en couverture.

Différents travaux d'entretien ont été réalisés : passage régulier du rouleau débroussailleur landais, 2 dépressages en 1965 et 1967 et 6 éclaircies en 1971, 1977, 1982, 1987, 1991 et 1997.

### Mesures dendrométriques et analyses statistiques

Les arbres ont été mesurés de 1964 à 1968 et en 1997 :

– mesures 1964-1968 : pour chaque placeau, sur trois lignes (choix systématique des lignes paires), tous les arbres ont été mesurés en hauteur à la fin des saisons de végétation 1964 (1 an depuis le semis), 1965 (2 ans), 1966 (3 ans) et 1968 (5 ans).

– mesures 1997 : tous les arbres (environ 30 par placeau) ont été mesurés en hauteur et en circonférence.

Les volumes des arbres sur pied, en 1997 (34 ans), des traitements témoin (T) et fertilisé (P) ont été estimés à partir de la formule de cubage

$$V = g f h$$

avec g la surface terrière de l'arbre à 1,30 m en m<sup>2</sup> et h la hauteur totale en m.

Tableau II Propriétés physico-chimiques initiales des sols de Mimizan (1957) et de Berganton (1963), calculées sur les horizons A<sub>h</sub>

(A et E : horizon humifère particulaire peu actif; E: horizon cendreau ou blanchi)

Dispositif	Mimizan (*)				Berganton			
	A <sub>h</sub>		E		A <sub>h</sub>		E	
	Moyenne	σ	Moyenne	σ	Moyenne	σ	Moyenne	σ
Granulométrie (% de terre fine)								
• Argile . . . . .	1,2	0,9	0,6	0,4	4,45	0,35	1,1	0,6
• Limon (fin + grossier)	3,7	0,6	3,0	0,7	1,25	0,8	2,7	1,2
• Sable fin . . . . .	27,9	4,6	32,4	2,6	11,8	3,8	7,9	0,8
• <b>Sable grossier</b> . .	<b>61,5</b>	4,8	<b>59,9</b>	2,6	<b>76,6</b>	5,2	<b>85,8</b>	2,5
Matière organique	–	–	–	–	5,65	2,9	2,2	0,96
pH-eau	<b>5,2</b>	0,3	<b>5,2</b>	0,5	<b>5,0</b>	0,3	<b>4,6</b>	0,3
Analyse chimique								
• <b>N</b> ‰ (Kjeldahl) . . .	<b>0,5</b>	0,2	<b>0,2</b>	0,06	<b>0,13</b>	0,06	<b>0,05</b>	0,01
• <b>C</b> ‰ . . . . .	16,9	7,8	5,1	3,9	3,3	1,6	1,3	0,6
• <b>C/N</b> . . . . .	33,0	9,7	24,3	12,4	24,9	4,3	25,9	8,1
• <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> ‰ (Dyer) . . .	<b>0,034</b>	0,018	<b>0,037</b>	0,011	<b>0,02</b>	–	<b>0,06</b>	0,02
Cations échangeables (acétate NH <sub>4</sub> )								
• <b>K</b> (**). . . . .	0,018	0,004	0,012	0,004	0,08	0,07	0,03	0,01
• <b>Ca</b> (**). . . . .	0,32	0,15	0,21	0,16	0,92	0,6	0,25	0,18
• <b>Mg</b> (**). . . . .	0,043	0,005	0,025	–	0,2	0,14	0,07	0,04
• <b>Al</b> (**). . . . .	–	–	–	–	0,18	–	0,56	–

(\*) Les moyennes ont été calculées à partir des données de Guinaudeau *et al.* (1963).

(\*\*) m.eq/100 g.

Le coefficient de forme  $f$  a été déterminé à partir de la méthode de cubage de Pressler (Pardé et Bouchon, 1988) qui donne :

$$f = \left(\frac{2}{3}\right) \left(\frac{h_1}{h}\right)$$

avec  $h_1$  la hauteur au diamètre égal à la moitié du diamètre à 1,30 m.

Le volume des parcelles unitaires est alors obtenu en sommant les volumes individuels des arbres qui les constituent.

### Caractérisation de la richesse minérale initiale du sol

Le sol a été caractérisé par ses propriétés initiales (pH, teneurs en bases échangeables, acide phosphorique selon la méthode à l'acide citrique, matière organique, granulométrie). Quatre prélèvements de sol, dans les horizons  $A_1$  (organo-minéral, foncé) et E (lessivage, clair), ont été effectués sur quatre placeaux, choisis au hasard. Les méthodes d'analyses (tableau II, p. 210) sont identiques à celles utilisées à Mimizan (Guinaudeau *et al.*, 1963).

### Analyses statistiques

Des analyses de variance à deux facteurs croisés ont été réalisées, en utilisant la procédure GLM (General linear model) type III du logiciel SAS (SAS Institute, 1987). Toutes les analyses effectuées n'ont jamais mis en évidence d'effet bloc et d'effet interaction bloc-traitement ; c'est pour cette raison que l'effet de ces facteurs n'apparaît pas dans les tableaux d'analyse de variance présentés ultérieurement.

## RÉSULTATS

### Caractérisation du sol (tableau II, p. 210)

Les résultats font apparaître la nature essentiellement sableuse du site de Berganton. Le sol se caractérise par une assez forte acidité (pH eau compris entre 4,6 et 5), de faibles teneurs en  $P_2O_5$  assimilable extrait à l'acide citrique (< 0,05 ‰) et en éléments échangeables, avec  $K < 0,12$  m.eq,  $Ca < 0,3$  m.eq,  $Mg < 0,15$  m.eq, qui le classent dans la catégorie des sols pauvres (Bonneau, 1995). La capacité de libération d'azote minéral utilisable par les arbres (C/N de 25) est faible.

### Effet d'une fertilisation simple (P) ou composée (NPK), réalisée à l'installation du peuplement, sur la hauteur à cinq ans (tableau III, ci-dessous)

L'analyse de variance met en évidence un effet significatif de la fertilisation sur la croissance en hauteur, au seuil de 5 %. Les arbres fertilisés ont des hauteurs significativement supérieures à

Tableau III **Résultats à cinq ans: effet des traitements de fertilisation sur la hauteur à cinq ans**

Traitements	Témoin	P	NPK
Hauteur moyenne (cm) . . . . .	129,3 a (*)	264,1 b	271,5 b

(\*) Deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % (test de Scheffe).

Figure 1  
**HAUTEUR À CINQ ANS  
EN FONCTION DE LA DOSE DE P  
APPORTÉE À L'INSTALLATION**

Les hauteurs indexées  
d'une même lettre ne sont pas  
statistiquement différentes  
au seuil de 5 % (test de Scheffe)

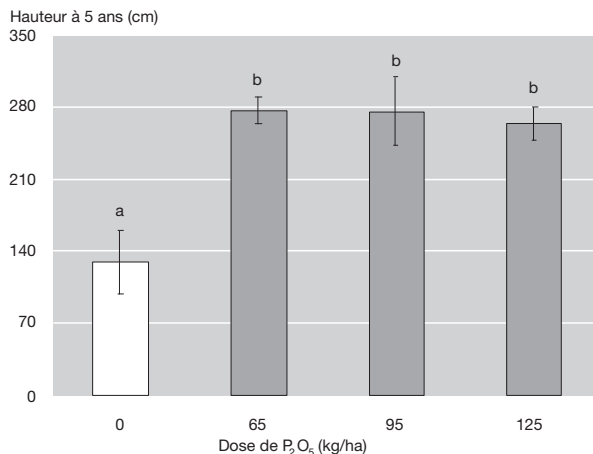


Figure 2  
**HAUTEUR À CINQ ANS  
EN FONCTION DE LA DOSE DE NK,  
combinée avec une dose  
de 125 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>  
apportée à l'installation**

Les hauteurs indexées  
d'une même lettre ne sont pas  
statistiquement différentes  
au seuil de 5 % (test de Scheffe)

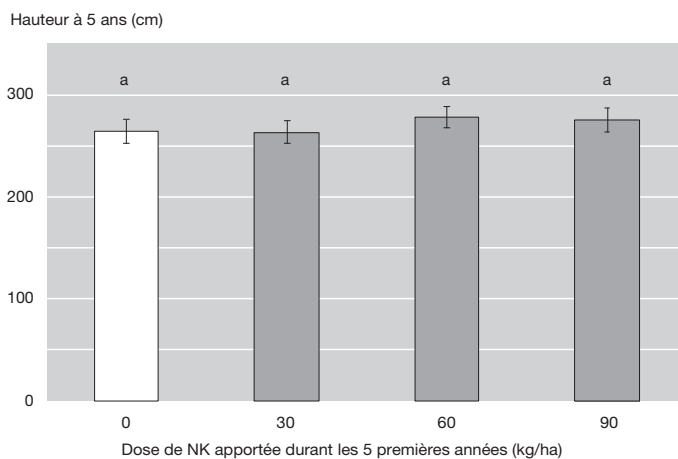
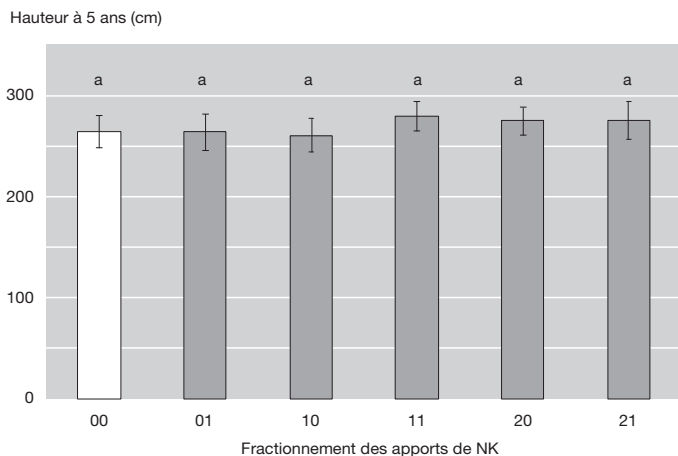


Figure 3  
**HAUTEUR À CINQ ANS  
EN FONCTION DE LA DATE  
DES APPORTS DE NK**

Le premier caractère du code  
correspond au premier apport de  
NK en 1965, le second caractère  
au deuxième apport en 1967

- 0 = pas d'engrais
- 1 = 30 kg/ha
- 2 = 60 kg/ha

Les hauteurs indexées  
d'une même lettre ne sont pas  
statistiquement différentes  
au seuil de 5 % (test de Scheffe)



celles des arbres non fertilisés (témoins). Un apport de NK combiné à une fertilisation en  $P_2O_5$ , n'engendre pas de gain de croissance significatif sur la hauteur à cinq ans par rapport à une fertilisation simple en  $P_2O_5$ .

**Effet de différentes doses de  $P_2O_5$  apportées à l'installation du peuplement, sur la hauteur à cinq ans** (figure 1, p. 212)

L'analyse de variance met en évidence un effet significatif de la dose de  $P_2O_5$  sur la croissance en hauteur, au seuil de 5 %. La dose 0 (témoin) a des hauteurs significativement inférieures à celles des arbres fertilisés, mais aucune différence significative n'apparaît entre les hauteurs des arbres fertilisés aux doses de 65, 95 et 125 kg de  $P_2O_5$ /ha.

**Effet de différents apports de NK combinés au  $P_2O_5$ , sur la hauteur à cinq ans**

- *Effet dose* (figure 2, p. 212)

L'analyse de variance ne met pas en évidence d'effet significatif de la dose de NK sur la croissance en hauteur, au seuil de 5 %.

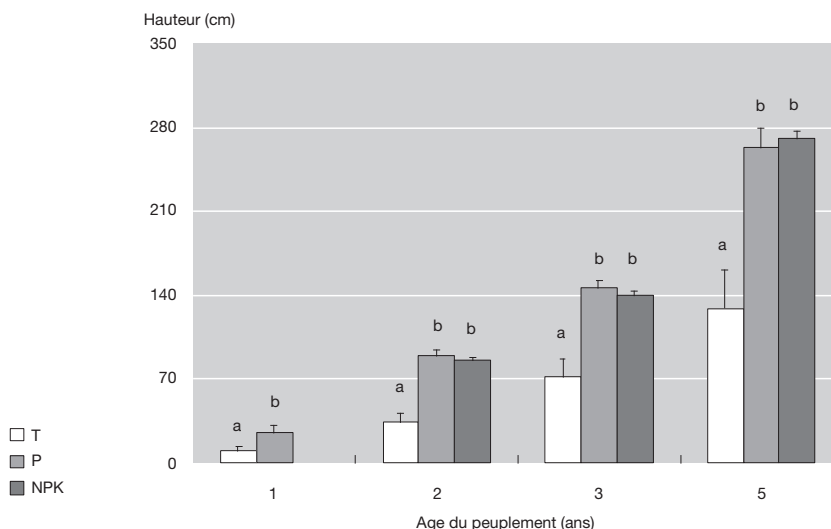
- *Effet date* (figure 3, p. 212)

L'analyse de variance ne met pas en évidence d'effet significatif de la date d'apport de NK, au seuil de 5 %.

**Dynamique de l'effet de la fertilisation sur les cinq premières années** (figure 4, ci-dessous)

L'effet de la fertilisation phosphatée, très net dès la première saison de végétation (gain de 166 %) sur la croissance en hauteur, se maintient durant les cinq premières années (gain de 104 % sur la croissance en hauteur). L'accroissement courant en hauteur des arbres fertilisés se stabilise à partir de la 3<sup>e</sup> année, à environ 60 cm/an contre 30 cm/an pour les témoins non fertilisés.

Figure 4 **HAUTEUR À UN, DEUX, TROIS ET CINQ ANS EN FONCTION DU MODE DE FERTILISATION**  
 Les hauteurs indexées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % (test de Scheffe)





### Effet à 34 ans d'une fertilisation phosphatée apportée à 0 et 11 ans

L'analyse de variance met en évidence un effet significatif (au seuil de 5 %) de la fertilisation phosphatée apportée à 0 et 11 ans, sur l'ensemble des variables dendrométriques mesurées ou calculées à l'âge de 34 ans.

Les traitements P (tableau IV, ci-dessous) sont significativement supérieurs au traitement T (sans engrais), au seuil de 5 %. Les gains de croissance par rapport au témoin sont d'environ 10 % sur la hauteur et la circonférence, et de 25 % sur le volume (figure 5, ci-dessous).

Les deux traitements P1 (60 kg de  $P_2O_5$ /ha) et P2 (125 kg de  $P_2O_5$ /ha) donnent des résultats très voisins avec un effet significatif de la dose initiale de P qui se manifeste uniquement sur la hauteur.

Tableau IV

**Résultats à 34 ans: effet des traitements P sur la croissance en hauteur, circonférence et volume**

Traitements kg/ha $P_2O_5$ apportés en 1963 kg/ha $P_2O_5$ apportés en 1974	Témoin 0 0	P1 65 112	P2 125 112
Hauteur moyenne (m) . . . . .	19,5 a (*)	21,0 b	21,7 c
Hauteur dominante (m) . . . . .	20,6 a	21,3 a	22,2 b
Circonférence moyenne (cm) . .	111,4 a	122,4 b	124 b
Volume ( $m^3$ /ha) . . . . .	<b>212 a</b>	<b>262,9 b</b>	<b>264,8 b</b>
Nombre de tiges par ha . . . . .	251	244	232

(\*) Sur une ligne, deux valeurs indexées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % (test de Scheffe).

Figure 5

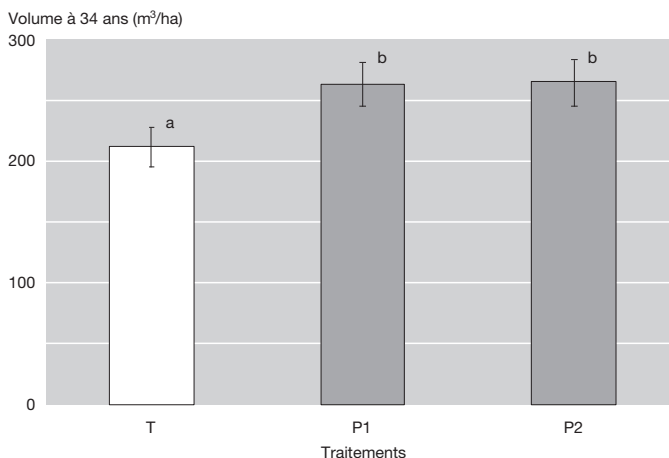
### VOLUME À 34 ANS EN FONCTION DU TRAITEMENT

T = 0 kg/ha de  $P_2O_5$

P1 = 65 (à 0 an) + 112 (à 11 ans) kg/ha de  $P_2O_5$

P2 = 125 (à 0 an) + 112 (à 11 ans) kg/ha de  $P_2O_5$

Les volumes indexés d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5 % (test de Scheffe)



## DISCUSSION

### **Les résultats à cinq ans de l'essai de Berganton confirment l'effet bénéfique d'une fertilisation phosphatée apportée à l'installation d'un peuplement de Pin maritime.**

Ils sont en accord avec les résultats obtenus par Guinaudeau *et al.* (1963), l'AFOCEL (1965), Guinaudeau (1972) et Alazard (1991). La validation de ces résultats a maintes fois été réalisée dans la pratique : la fertilisation phosphatée, apportée à l'installation à des doses de 80 à 120 kg/ha de  $P_2O_5$ , est généralisée à l'échelle du massif (Bonneau, 1995). L'apport de  $P_2O_5$ , en remédiant à la grande pauvreté en phosphore des sols sableux landais, permet de lever une des limitations principales de la croissance du Pin maritime dans les Landes de Gascogne (Trichet *et al.*, 1999). De plus, le gain de croissance procuré par la fertilisation confère aux jeunes arbres un avantage décisif, en leur permettant de dominer plus vite une végétation adventice particulièrement vigoureuse (Molinie, Fougère, Ajoncs).

Les résultats de l'essai de Berganton permettent également de quantifier l'ampleur de l'effet phosphore à cinq ans. Dans cette station de lande humide, la fertilisation phosphatée a procuré des gains de croissance juvénile (+ 104 %) nettement supérieurs à ceux observés à Mimizan et sur d'autres dispositifs (tableau VII, p. 219).

### **Est-il possible d'interpréter la différence d'intensité de l'effet phosphore entre le dispositif de Berganton et celui de Mimizan ?**

Les deux dispositifs ont été installés sensiblement à la même époque (Mimizan en 1957, Berganton en 1963), par les mêmes concepteurs selon des protocoles identiques (mêmes graines originaires du Médoc, mêmes engrais et mode d'enfouissement). Un effet "d'installation" semble donc pouvoir être écarté. La pluviométrie annuelle moyenne, durant les cinq premières années après l'installation, est similaire sur les deux dispositifs : 977 mm de 1957 à 1961 à Mimizan et 1 027 mm de 1964 à 1968 à Berganton.

En revanche, les deux sites diffèrent par leur type stationnel : le site de Berganton est en lande humide pure alors que Mimizan est partagé entre la lande humide et mésophile. La supériorité de l'effet phosphore observée à Berganton pourrait alors être attribuée aux conditions d'alimentation hydrique plus favorables que celles de Mimizan. Dans le contexte des landes de Gascogne, la fertilisation phosphatée est plus efficace sur les sites de lande humide (Chaperon, 1988), l'eau étant considérée comme le principal facteur limitant de l'expression de la fertilisation phosphatée (Seillac et Fardeau, 1975).

### **L'essai de Berganton fournit également des informations sur la dynamique de l'effet phosphore durant les cinq premières années de vie du peuplement.**

Les gains par rapport au témoin sont de 166 % à un an, 153 % à deux ans, 98 % à trois ans et 104 % à cinq ans. L'effet de la fertilisation sur la croissance en hauteur du Pin maritime se manifeste dès la première année après l'application de l'engrais et se maintient en décroissant légèrement au moins jusqu'à cinq ans. À Mimizan, l'apport de P a procuré des gains de croissance juvénile en hauteur plus faibles et plus constants sur les six premières années après la fertilisation que ceux de Berganton : 61 % à deux ans, 46 % à quatre ans et 55 % à cinq ans. De même, Alazard (1991) met en évidence une réduction à partir de la septième année de l'effet d'une fertilisation initiale (120 kg de  $P_2O_5$ /ha) sur l'accroissement en hauteur de Pins maritimes. Les résultats observés sur d'autres espèces tendent à montrer un effet maximal de la fertilisation phosphatée dès la première année ou la deuxième année suivant l'application de l'engrais, avec ensuite une décroissance de l'effet des engrais apparaissant entre la troisième et la sixième année. Ainsi, Donald

et Glen (1974) et Van Laar (1988) sur *Pinus radiata*, sur sol sableux en Afrique du Sud, montrent qu'une dose de 70 kg/ha de  $P_2O_5$  engendre un gain de 20 % dès la première année suivant l'application des engrais (témoin = 58,8 cm ; phosphore = 70,5 cm) ; à trois ans, la différence n'est plus que de 6 % (T = 291 cm ; P = 309 cm). Van den Driessche (1988) a constaté chez le Douglas, dans la région de Vancouver (Sud-Ouest du Canada) sur sol sableux pauvre en matière organique, une croissance en hauteur des arbres fertilisés significativement plus forte dès la première année après l'application des engrais phosphatés, et ce jusqu'à six ans avec des gains maximum à deux ans de l'ordre de 30 %. Il est important de noter que, même si l'intensité de l'effet phosphore se réduit avec le temps, les gains de croissance initiaux procurés par la fertilisation phosphatée justifient en général toujours cette pratique.

**L'absence d'effet dose (entre 65, 95 et 125 kg d'acide phosphorique par hectare) observée à l'âge de cinq ans l'est également à 34 ans pour ces mêmes doses réappliquées à 11 ans (dose ajoutée : 112 kg d'acide phosphorique par hectare).**

L'expression de l'effet de plusieurs doses de phosphore sur la croissance du Pin maritime n'a pas, à notre connaissance, été étudiée sur le long terme. Par contre, quelques résultats sont disponibles pour des peuplements plus jeunes : dans le cadre d'un apport en plein, la différence de croissance observée entre des doses d'environ 50 kg de  $P_2O_5$ /ha et des doses supérieures ou égales à 100 kg de  $P_2O_5$ /ha est en général faible ou nulle. Ainsi, Jolivet (1994), dans le contexte landais, observe sur un peuplement de 9 ans (lande humide à mésophile) des différences de croissance significatives mais faibles (+ 6 % sur la circonférence et + 7 % sur la hauteur), entre des doses de 60 et 120 kg de  $P_2O_5$ /ha apportées à l'installation. Alazard (1980) observe sur un peuplement de 14 ans (lande humide) un effet dose avec des gains respectifs de 29, 28, 35 et 65 % sur la hauteur par rapport au témoin, pour des doses de 25, 50, 100 et 200 kg de  $P_2O_5$ /ha. Lepoutre et Mandouri (1976) n'observent pas de différences de croissance entre des doses allant de 50 à 125 kg de  $P_2O_5$ /ha sur une plantation de *Pinus pinaster*, fertilisée à l'installation, au Maroc sur sol sableux. Des résultats analogues, sur *Pinus radiata*, ont été obtenus par Flinn *et al.* (1982) avec des doses de 45 et 90 kg/ha en Australie sur un sol à texture limono-sableuse.

La majeure partie des résultats semblent donc pencher en faveur d'une réduction de la dose initiale de phosphore (passage d'une dose de 120 à 80 kg de  $P_2O_5$ /ha), comme l'ont suggéré Bonneau (1990) et Merzeau (1995). Crémère (1994) propose également un abaissement des doses à 40 kg de  $P_2O_5$ /ha, mais dans le cadre d'une fertilisation localisée en couronne autour des arbres.

La relation entre la dose de phosphore apportée et son effet sur la croissance du Pin maritime n'est pas directement interprétable en raison des faibles connaissances sur le comportement du phosphore dans les sols sableux et acides landais. Le phosphore, apporté sous forme d'engrais, est dissous dans la solution du sol où il devient alors biodisponible. Il constitue un ensemble hétérogène contenant des ions phosphates qui se lient de manière énergique avec les hydroxydes de fer et d'aluminium ou bien précipitent (rétrogradation) sous des formes très peu solubles que sont les phosphates de fer et d'alumine (Duchaufour, 1995). Le P biodisponible est donc un système à plusieurs compartiments différenciés par la durée nécessaire au transfert du P assimilable vers la solution du sol (Fardeau, 1993). Dans les sols acides des landes de Gascogne, la matière organique et les hydroxydes de fer et d'aluminium sont les principaux responsables de cette diminution de biodisponibilité qu'il n'est pas actuellement possible de quantifier et de relier avec l'évolution, dans le temps, de l'efficacité de la fertilisation phosphatée.

**Les effets d'une combinaison ternaire NPK méritaient également d'être précisés.**

À Berganton, la fertilisation NPK n'apporte pas de gains de croissance significatifs par rapport au traitement P quelle que soit la combinaison choisie entre la dose apportée (0, 30, 60, 90 kg/ha) et

le mode de fractionnement (apport à zéro, un ou deux ans). À Mimizan, l'effet positif de la fertilisation NPK (78 kg de N/ha et 130 kg de K<sub>2</sub>O/ha), par rapport à la fertilisation P, existe (+ 20,3 % à trois ans et + 14 % à cinq ans) mais diminue rapidement avec le temps (Guinaudeau *et al.*, 1963). Dans le cadre d'un regonflage de peuplements dépérissants, Lefrou (1979) met en évidence un effet positif d'apports conséquents d'azote (130 kg/ha à Retjons à 10 ans ; 280 kg/ha à Luxey à 16 ans) combinés à une fertilisation PK.

L'apport NK peut avoir une action positive à condition qu'il soit combiné avec P, comme l'a montré l'AFOCEL (1965), mais un apport de NK seul (sans P) ne semble pas avoir d'effet positif sur la croissance juvénile du Pin maritime (Guinaudeau *et al.*, 1963). Globalement, les apports d'azote et de potasse entraînent des réponses fugaces et aléatoires ; c'est pourquoi, Chaperon (1990) conseille de ne pas employer de N et de K sous forme minérale à l'installation des peuplements de Pin maritime en lande humide ou mésophile.

### **Pourquoi l'azote et la potasse apportés sous forme d'engrais minéraux n'ont-ils que peu d'effet sur la croissance du Pin maritime dans les landes de Gascogne ?**

L'azote et la potasse sont des éléments très mobiles et rapidement entraînés vers les horizons profonds par lessivage. Cette caractéristique est accentuée par la nature sableuse et filtrante des sols du massif landais. L'azote et le potassium ne sont donc disponibles que peu de temps pour l'arbre et leur action ne peut alors être que fugace. De plus, la nappe, présente à faible profondeur et accessible aux racines, améliore certainement l'alimentation azotée et potassique des arbres (présence de K<sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et pourrait ainsi réduire l'efficacité de ce type de fertilisation. En outre, dans les premières années de vie du peuplement, la fertilisation profite souvent plus à la végétation accompagnatrice herbacée très vigoureuse, plus apte que le jeune arbre à prélever les éléments minéraux. Dans les landes de Gascogne, la présence de tapis graminéens de Molinie, particulièrement denses et conquérants, est certainement une des principales raisons du peu d'efficacité des engrais NK sur la croissance juvénile des pins.

### **Des apports d'azote sous forme d'engrais organiques ne seraient-ils pas plus efficaces ?**

Dans un peuplement adulte de Pin maritime (25 ans), Loustau (1995) montre que la suppression pendant quatre ans de la Molinie a engendré un gain de 20 % sur les accroissements en volume ainsi qu'une augmentation des teneurs en N des aiguilles de 20 %. Cette suppression du tapis de Molinie n'a pas amélioré la disponibilité en eau pour les pins, en raison du caractère exceptionnellement élevé de la pluviométrie pendant la durée de l'expérience (l'eau n'est pas facteur limitant). En revanche, la matière organique issue du tapis de Molinie en décomposition (racines essentiellement) a agi comme un "engrais vert", libérant de l'azote par minéralisation (restitution de 20 à 40 kg de N/ha). Ces résultats montrent que le statut azoté des arbres peut être amélioré par la présence de matière organique fraîche en décomposition.

C'est d'ailleurs pourquoi les herbacées fixatrices d'azote ont déjà été utilisées en foresterie comme engrais verts. Baule et Fricker (1969) rapportent que la présence de cultures intercalaires de Lupin, dans des essais sur sols sableux en Allemagne, peut accroître notablement la production de jeunes plantations de Pins sylvestres, Mélèzes, Épicéas et Douglas. Plus récemment en Australie, dans un contexte pédoclimatique proche de celui des landes de Gascogne (sol podzolique sableux, pluviométrie 800 mm/an, pH 5,2), Nambiar et Nethercott (1987) montrent que la présence de Lupin à feuilles étroites (*Lupinus angustifolius*) améliore le taux de matière organique du sol, l'alimentation azotée (+ 17 % sur la concentration foliaire en N) et la croissance en volume des jeunes pins (+ 32 %), par rapport au témoin sans engrais.

Des essais préliminaires d'introduction de légumineuse, à l'installation de plantations de pins maritimes, ont mis en évidence la difficulté d'installer et de maintenir une culture de lupin, dans les conditions forestières landaises particulièrement difficiles (engorgement hivernal, forte acidité des sols, flore herbacée indigène très concurrente).

La solution actuellement envisagée, pour permettre au maximum d'azote organique de rester dans l'écosystème et de pallier ainsi un déficit azoté probable de la sylviculture intensive du Pin maritime (Loustau *et al.*, 1999 ; Trichet *et al.*, 1999), reste de limiter les exportations de biomasse lors des coupes rases et éclaircies, en laissant sur les parcelles le maximum de résidus d'exploitation (houppier, racine, écorce...).

**Une fertilisation initiale, suivie d'un regonflage à 11 ans, procure à l'âge de 34 ans des gains de 25 % sur le volume total.**

À Mimizan, des gains similaires ou légèrement supérieurs ont été observés à 32 ans après une unique fertilisation à l'installation du peuplement (tableau V, ci-dessous). L'ampleur de ces gains à un âge proche de l'exploitabilité justifie la fertilisation phosphatée d'un point de vue économique sur une révolution de Pin maritime, comme peut l'illustrer la sommaire estimation du tableau VI (ci-dessous). Gelpe et Guinaudeau (1974) calculent, sur le dispositif de Mimizan, que le gain apporté par la fertilisation à la deuxième éclaircie équivaut à l'investissement réalisé lors de la fertilisation à l'installation du peuplement. Buttoud (1976) estime qu'un regonflage en PK (peuplement de 39 ans

Tableau V **Comparaison des gains engendrés par la fertilisation sur les dispositifs de Berganton et de Mimizan** (Trichet et Saur, 1991)

Sites	Âge	Volume	Circonférence	H moyenne	H dominante
Berganton . . . . .	34	+ 25 %	+ 11,3 %	+ 11,3 %	+ 7,8 %
Mimizan . . . . .	32	+ 30,9 %	+ 12,8 %	+ 13,3 %	+ 10,7 %

Tableau VI **Estimation des coûts et bénéfices liés à la fertilisation, en vue d'une démonstration sommaire du caractère rentable de la fertilisation**

Gain en volume procuré par la fertilisation . . . . . (volume sur pied en 1997 ; ne prend pas en compte les bois d'éclaircies) . . . Prix moyen du bois de Pin maritime <sup>(1)</sup> . . . . .	53 m <sup>3</sup> /ha × 130 F/m <sup>3</sup> =
<b>Gain procuré par la fertilisation au moment de la vente du bois . . . . .</b>	<b>6 890 F/ha</b>
1 – Fertilisation initiale Engrais . . . . .	400 F/ha +
Travail du sol (enfouissage léger) . . . . .	500 F/ha +
2 – Regonflage Engrais . . . . .	400 F/ha =
<b>Coût total de la fertilisation <sup>(2)</sup> . . . . .</b>	<b>1 300 F/ha</b>

(1) Office national des Forêts (1998).

(2) Estimations réalisées à partir de données collectées chez des praticiens et dans le document AFOCEL (1994). Ce tableau a l'unique prétention de donner un ordre de grandeur des coûts liés à la fertilisation du Pin maritime.

Tableau VII **Gains de croissance en hauteur engendrés par une fertilisation phosphatée apportée à l'installation de trois peuplements de Pins maritimes (*Pinus pinaster*) dans les landes de Gascogne**

Essais de fertilisation	Type de lande	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	Âge (ans)	Gain (%)	Âge (ans)	Gain (%)
<b>Berganton</b> (1963) INRA	humide	0	2	0	5	0
		65		174		115
		95		180		114
		<b>125</b>		<b>153</b>		<b>104</b>
<b>Mimizan</b> (1957) INRA	humide à mésophile	0	2	0	5	0
		<b>125</b>		61		<b>55</b>
<b>Castillonville</b> (1985) INRA	humide à mésophile	0	-	-	8	0
		60		-		45
		<b>120</b>		-		<b>52</b>

installé en lande humide et non fertilisé à l'installation) serait un investissement dont le taux de rentabilité avoisinerait 15 %. L'AFOCEL (1994) estime également que la fertilisation assure une forte rentabilité de l'investissement initial (taux de 8,8 %).

L'intensité de l'effet du phosphore, apporté à l'installation et en regonflage, diminue fortement avec le temps (gain sur la hauteur de 100 % à cinq ans, et de 11 % à 34 ans). Cette baisse d'efficacité de la fertilisation phosphatée a déjà été observée à Mimizan (Gelpe et Guinaudeau, 1974 ; Gelpe et Lefrou, 1986 ; Lemoine, 1993) : entre 15 et 25 ans les accroissements courants, en hauteur et surface terrière, des arbres fertilisés chutent pour rejoindre ceux des arbres non fertilisés. Cependant, un gain significatif d'accroissement courant, de l'ordre de 2,5 m<sup>3</sup>/ha/an, subsiste à 25 ans (Gelpe et Lefrou, 1986).

L'aptitude de l'arbre et des peuplements à prélever le phosphore du sol diminue avec l'âge en relation avec la baisse de la biodisponibilité de la ressource (appauvrissement lié au prélèvement par l'arbre et au blocage du phosphore du sol sous forme non assimilable, important en sol acide) et avec le ralentissement de la croissance lié à la colonisation par le Pin d'un espace aérien et souterrain limité (le peuplement se ferme aux alentours de 20 ans ; le volume de sol prospectable par les racines est limité par un horizon aliotique peu profond). L'arbre prélève ainsi la majeure partie de son stock de phosphore dans le jeune âge ; à l'âge adulte, une partie importante du phosphore nécessaire à la croissance provient de recyclages internes à l'arbre des organes pérennes vers les organes en croissance et inversement (Ranger et Bonneau, 1984).

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats à 34 ans du dispositif de Berganton ont permis sur l'un des premiers dispositifs de fertilisation installé sur Pin maritime (1963) :

- de quantifier l'ampleur des gains en croissance procurés par la fertilisation phosphatée à un âge proche du terme de la révolution et de conforter ainsi la rentabilité de cette technique dans le contexte landais ;
- de montrer que, dans le cadre d'une fertilisation complémentaire vers 10 ans, on observe à 34 ans une absence d'effet de la dose initiale (entre 65, 95 et 125 kg d'acide phosphorique par hectare) ;
- de confirmer la faible efficacité de la fertilisation NK apportée en complément du P.

La difficulté actuelle à trouver des solutions de fertilisation azotée, permettant de compenser les pertes d'azote liées à la culture du Pin maritime, souligne l'intérêt de réaliser un bilan fiable des entrées-sorties d'azote au sein de l'écosystème forestier landais, et d'évaluer ainsi la durabilité de son fonctionnement azoté.

D'autre part, même si la fertilisation phosphatée est réalisée avec succès sur le massif landais, son itinéraire technique peut sans aucun doute être affiné pour en optimiser les effets. Savoir raisonner le fractionnement, le dosage et le mode d'enfouissement en fonction du type stationnel sont des questions qui restent, à ce jour, à résoudre par la communauté scientifique et technique landaise.

<p>Pierre TRICHET Équipe Écophysiologie et Nutrition INRA - Recherches forestières Domaine de l'Hermitage Pierroton F-33610 CESTAS</p>	<p>F. VAUCHEL Équipe Écophysiologie et Nutrition Équipe Croissance et Production INRA - Recherches forestières Domaine de l'Hermitage Pierroton F-33610 CESTAS</p>
<p>Didier BERT Équipe Croissance et Production INRA - Recherches forestières Domaine de l'Hermitage Pierroton F-33610 CESTAS</p>	<p>Maurice BONNEAU Équipe Sol, Microbiologie et Nutrition des Arbres forestiers INRA - Recherches forestières F-54280 CHAMPENOUX</p>

### Remerciements

Les auteurs remercient le GIP ÉCOFOR et la Région Aquitaine (contrat INRA-Région Écosystème sableux) pour leur soutien financier qui a permis de relancer les expérimentations sur cet ancien dispositif. Sont également vivement remerciés G. Illy et J.-P. Maugé qui ont été à l'origine de la mise en place de l'essai de Berganton ; A. Lardit, F. Laganne, B. Issenhuth et H. Lataillade, membres de l'Unité expérimentale de l'INRA-Pierroton pour la gestion du site expérimental de Berganton et la prise de mesures, ainsi que la Coopérative agricole et forestière Sud-Atlantique (CAFSA) en la personne de Monsieur Bertrannet pour la gestion sylvicole du site de Berganton.

### BIBLIOGRAPHIE

- AFOCEL. — Essais de culture et de fumure sur Pin maritime : période 1960-1965. — AFOCEL, 1965. — 73 p.
- AFOCEL. — Manuel pratique de sylviculture du Pin maritime. — AFOCEL, 1994. — 145 p.
- ALAZARD (P.). — Effet de la fertilisation initiale en phosphore sur différents lots de pins maritimes. — *Annales AFOCEL*, 1991, pp. 159-187.
- ALAZARD (P.). — Influence de la ligniculture sur les caractères de forme et de branchaison du Pin maritime. — *Annales AFOCEL*, 1980, pp. 57-92.
- BAULE (H.), FRICKER (C.). — La Fertilisation des arbres forestiers. — Munich : BLV Verlagsgesellschaft, 1969. — 255 p.
- BONNEAU (M.). — La Fertilisation des arbres forestiers. In : 3<sup>e</sup> Colloque Sciences et Industries du Bois. — Bordeaux : ARBORA, 1990. — pp. 415-424.
- BONNEAU (M.). — Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. — Nancy : ENGREF, 1995. — 367 p.

- BUTTOUD (G.). — Première contribution à l'économie de la fertilisation du Pin maritime adulte dans les Landes de Gascogne. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 33, 1976, pp. 139-150.
- CHAPERON (H.). — De l'intensification de la culture du Pin maritime. — *Annales AFOCEL*, 1988, pp. 285-326.
- CHAPERON (H.). — Fertilisation initiale du Pin maritime dans les Landes de Gascogne. — *Informations-Forêt*, n° 2, fascicule 388, 1990, pp. 133-140.
- CHAPERON (H.). — Nouveaux principes de culture du Pin maritime. Une troisième génération de boisements pour une production accélérée de bois de qualité. — AFOCEL-ARMEF, 1989. — pp. 4-37.
- CRÉMIÈRE (L.), BOISSESON (J.-M. de), BOUVET (A.). — La Charrue rotative : une nouvelle technique de préparation des landes humides avant reboisement. — *Annales AFOCEL*, 1994, pp. 237-269.
- DONALD (D.), GLEN (L.M.). — The response of *Pinus radiata* and *Pinus pinaster* to N, P and K fertilizers applied at planting. — *South African Forestry Journal*, 91, 1974, pp. 19-28.
- DUCHAUFOR (P.). — Pédologie, sol, végétation, environnement. — 4<sup>e</sup> édition. — Paris : Masson, 1995. — 324 p.
- FARDEAU (J.-C.). — Le Phosphore assimilable des sols : sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. — *Agronomie*, 13, 1993, pp. 317-331.
- FLINN (D.W.), JAMES (J.M.), HOPMANS (P.). — Aspects of phosphorus cycling in radiata pine on a strongly phosphorus-adsorbing soil. — *Australian Forest Research*, 12, 1982, pp. 19-35.
- GELPE (J.), GUINAUDEAU (J.). — Essai de fertilisation minérale sur pins maritimes à Mimizan (Landes). Résultats après la 16<sup>e</sup> année. — *Revue forestière française*, vol. XXVI, n° 6, 1974, pp. 459-463.
- GELPE (J.), LEFROU (G.). — Essai de fertilisation minérale sur pins maritimes à Mimizan (Landes). Résultats après la 26<sup>e</sup> année. — *Revue forestière française*, vol. XXXVIII, n° 4, 1986, pp. 394-400.
- GUINAUDEAU (J.). — Note sur un essai de fertilisation sur semis de pins maritimes en 1956 (Domaine de Nezer -Landes). — *Revue forestière française*, vol. XXIV, n° 3, 1972, pp. 208-211.
- GUINAUDEAU (J.), ILLY (G.), MAUGÉ (J.-P.), DUMAS (F.). — Essai de fertilisation minérale sur Pin maritime à Mimizan (Landes). Résultats après la 6<sup>e</sup> année. — *Annales de l'École nationale des Eaux et des Forêts*, tome XX, n° 1, 1963, pp. 3-71.
- IFN. — Massif des Landes de Gascogne. Principaux résultats de l'Inventaire forestier 1977-1978. — Paris : Ministère de l'Agriculture. Direction des Forêts, 1982.
- IFN. — Massif des Landes de Gascogne. Principaux résultats de l'Inventaire forestier 1987-1988-1989. — Paris : Ministère de l'Agriculture et de la Forêt. Direction de l'Espace rural et de la Forêt, 1991.
- JOLIVET (C.). — Effet de la forme de la fertilisation phosphatée sur la croissance initiale du Pin maritime. — Université de Bordeaux, 1994. — 10 p. (Rapport de Maîtrise).
- LEFROU (G.). — Résultats, après 10 ans d'expérimentation, de deux essais de fertilisation de regonflage sur Pin maritime dépérissant dans les Landes de Gascogne. — *Revue forestière française*, vol. XXXI, n° 2, 1979, pp. 127-134.
- LEMOINE (P.). — Étude dendroécologique du Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) sur le dispositif de fertilisation de Mimizan (Landes). — Nancy : Université de Nancy I, 1993. — 22 p. (DEA Biologie forestière).
- LEPOUTRE (B.), MANDOURI (T.). — Résultats des essais préliminaires de fumure minérale sur *Pinus pinaster* en Mamora. — *Annales de la Recherche forestière du Maroc*, 16, 1976, pp. 65-70.
- LESGOURGUES (Y.), MERZEAU (D.), CRÉMIÈRE (L.), BAILLÈRES (V.). — Conduite des boisements de Pin maritime sur le plateau landais : itinéraires techniques - pistes pour le futur. In : IV<sup>e</sup> Colloque ARBORA : De la forêt cultivée à l'industrie de demain. De la gestion au développement durable, 1997, pp. 207-222.
- LORETTE (D.). — La Forêt française et son bois. — Bordeaux : CRDP, 1996.
- LOUSTAU (D.). — Analyse écophysiological d'une intervention sylvicole : la suppression de la concurrence herbacée dans un peuplement adulte de Pin maritime. — *Compostela Forêts*, rapport final, 1995, pp. 25-26.
- LOUSTAU (D.), BERT (D.), TRICHET (P.). — Fonctionnement primaire et productivité de la forêt landaise : implications pour une gestion durable. — *Revue forestière française*, vol. LI, n° 5, 1999, pp. 571-591.
- MAUGÉ (J.-P.). — La Culture moderne du Pin maritime dans les Landes de Gascogne. — *Forêt-Entreprise*, 37, 1986, pp. 1-28.
- MAUGÉ (J.-P.). — Essai d'engrais sur semis de Pin maritime à Sore (Landes) mis en place en 1952 (Sore I). Résultats fin 1959. — *Le Bois français de Papeterie*, S9, 27, 1960a, pp. 1-10.
- MAUGÉ (J.-P.). — Place d'essai d'engrais de Rétis, évolution et résultats à la fin de l'hiver 1959-1960. — *Le Bois français de Papeterie*, S60, 16, 1960b, pp. 1-5.
- MERZEAU (D.). — Le Pin maritime en France. — *Forêt-Entreprise*, 105, 1995, pp. 28-30.
- NAMBIAR (E.K.S.), NETHERCOTT (K.H.). — Nutrient and water availability and growth of young radiata pine plantations intercropped with lupins. — *New Forests*, 1, 1987, pp. 117-134.
- OFFICE NATIONAL DES FORÊTS. — La Mobilisation des bois en provenance des forêts bénéficiant du régime forestier en 1997 et les prix obtenus aux grandes ventes de l'automne 1997. — *Revue forestière française*, vol. L, n° 4, 1998, pp. 297-312.
- PARDÉ (J.), BOUCHON (J.). — Dendrométrie. — Nancy : ENGREF, 1988. — 328 p.



- RANGER (J.), BONNEAU (M.). — Effets prévisibles de l'intensification de la production et des récoltes sur la fertilité des sols en forêt. Le cycle biologique en forêt. — *Revue forestière française*, vol. XXXVI, n° 2, 1984, pp. 93-112.
- SAS INSTITUTE. — SAS User's Guide : Statistics, version 6 - Cary, North Carolina, 1987.
- SEILLAC (P.), FARDEAU (J.-C.). — Les Causes de la différence d'efficacité des scories Thomas dans les sols forestiers des landes et dunes littorales du Sud-Ouest de la France. — *Compte Rendu de l'Académie des Sciences*, n° 280, série D, 1975, pp. 1861-1864.
- TRICHET (P.), JOLIVET (C.), ARROUAYS (D.), LOUSTAU (D.), BERT (D.), RANGER (J.). — Le Maintien de la fertilité des sols forestiers landais dans le cadre de la sylviculture intensive du Pin maritime. Revue bibliographique et pistes de recherches. — *Étude et Gestion des Sols*, vol. 6, n° 4, 1999, pp. 197-214.
- TRICHET (P.), SAUR (E.). — Le Dispositif de fertilisation de Mimizan. Trente années de collaboration entre la Société des Papeteries de Gascogne et l'INRA. — Station de Recherches forestières de Bordeaux, 1991. — 3 p. (Document interne).
- VAN DEN DRIESSCHE (R.). — Response of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) to some different fertilizers applied at planting. — *New Forests*, 2, 1988, pp. 89-110.
- VAN LAAR (A.). — The effect of ripping in combination with fertiliser to ameliorate forest sites on the Harkerville plateau, Southern Cape. — *South African Forestry Journal*, 145, 1988, pp. 28-32.

---

**FERTILISATION INITIALE ET RÉITÉRÉE DU PIN MARITIME (*Pinus pinaster* Ait.) : PRINCIPAUX RÉSULTATS DE L'ESSAI DE BERGANTON (Résumé)**

Le dispositif de Berganton (1963) est un des premiers dispositifs de fertilisation installé sur Pin maritime dans les landes de Gascogne. Cet article en présente les résultats à 5 et 34 ans.

À cinq ans, une fertilisation initiale de 125 kg de  $P_2O_5$ /ha procure un gain de 104 % sur la croissance en hauteur. Aucune différence de croissance n'est observée entre des doses de 65, 95 et 125 kg de  $P_2O_5$ /ha. Une fertilisation en NK, quelles que soient les doses (30, 60, 90 kg de N et  $K_2O$ /ha) et modalités de fractionnement (apport à 0, 1, 2 ans) testées, ne procure pas de gains de croissance significatifs.

À 34 ans, une fertilisation initiale de 125 kg de  $P_2O_5$ /ha, réitérée à 11 ans avec 112 kg de  $P_2O_5$ /ha, procure des gains de croissance de 10 % sur la hauteur et la circonférence et de 25 % sur le volume, ce qui conforte la rentabilité de la fertilisation phosphatée.

Une discussion est ensuite ouverte sur les modes d'action des fertilisations azotée et phosphatée sur les sols sableux et acides landais.

**INITIAL AND REPEAT FERTILISATION OF MARITIME PINE (*Pinus pinaster* Ait.) - MAIN RESULTS OF THE BERGANTON TRIAL (Abstract)**

The Berganton (1963) facility was one of the first fertilisation trials to be set up concerning the maritime Pine in the Landes de Gascogne area. This article reports on the results obtained 5 and 34 years after the trial began.

At five years, an initial fertilisation of 125 kg de  $P_2O_5$ /ha gave rise to a 104 % gain in tree height growth. No growth differential was observed for doses of 65, 95 and 125 kg of  $P_2O_5$ /ha. An NK fertilisation, whatever the dose (30, 60, 90 kg of N and  $K_2O$  /ha) or mode of application tested (subdivided into 3 amounts applied at 0, 1, 2 years), does not yield significant gains in growth.

At 34 years, an initial application of 125 kg de  $P_2O_5$ /ha repeated at 11 years with 112 kg of  $P_2O_5$ /ha, makes for a 10 % gain in tree height and girth and a 25 % gain in volume, thereby confirming the profitability of phosphate fertilisation.

The modes of action of nitrogen and phosphate fertilisation on the sandy and acid soils of the Landes are discussed.