



# Note sur l'essai de fertilisation de Bois-Pelenc (Var)

par Maurice BONNEAU \*

La fertilisation minérale est aujourd'hui systématiquement utilisée dans certaines régions où des essais répétés ont montré son intérêt : Landes, Massif-Central, Bretagne, par exemple. Dans d'autres régions, les essais sont encore insuffisamment nombreux ou trop jeunes. C'est le cas notamment en région méditerranéenne où, en outre, les conditions hydriques difficiles peuvent faire passer au second plan les préoccupations de nutrition.

L'essai de Bois Pelenc, âgé maintenant de 11 ans, permet de fournir une première indication concernant la Haute-Provence calcaire.

## 1. Localisation. Conditions naturelles

L'essai est situé au Nord de Barjols, dans le département du Var, sur calcaire portlandien, en forêt domaniale de Pelenc (Canton des Cadenières), à 500 m d'altitude.

Le sol est une rendzine brunifiée sur argile de décarbonatation superficielle développée sur calcaire du portlandien. La pente varie de 10 à 20%, vers l'Ouest.

L'analyse ci-dessous montre que la teneur en calcaire est très faible et le pH proche de la neutralité. La teneur en potassium et magnésium est bonne; l'acide phosphorique dosé selon la méthode Duchaufour (1 extraction à  $H_2SO_4$  N/250 et NaOH N/10) est légèrement insuffisant.

	M.O. %	C/N	pH	Argile %	Limon %	Sable %	Calcaire total %	K éch. m.e/100 g	Mg éch. m.e/100 g	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> p. mille
A, (0-5 cm)	2,9	13	7,2	57	25	15	1,1	1,1	1,7	0,11
(B) (15-25 cm)	2,3	12	7,3	63	22	13	2,3	0,9	1,7	0,07

\* Maurice BONNEAU  
Directeur de recherches  
Station de Recherches  
sur les sols forestiers  
et la fertilisation.  
Centre national  
de Recherches forestières.  
Institut national  
de la Recherche agronomique.  
Champenois  
54200 Seichamps

Avant la mise en place de l'essai, le peuplement était constitué d'un taillis vieilli de chêne pubescent, mêlé de chêne vert, surtout dans la partie la plus basse de l'emplacement choisi. Le genévrier oxycèdre est présent.

Les principales espèces du sous-bois sont : *brachypodium pinnatum*, *dorycnium suffruticosum*, *euphorbia characias*, *rubia peregrina*, *rubus ulmifolius*, *carex halleriana*, *teucrium chamaedris*, *ulex nanus*, *briza maxima*.

Les températures moyennes mensuelles sont indiquées ci-dessous pour les années 1976 et 1977, les seules pour lesquelles nous les possédons (Poste de Gréoux) (1).

	janv.	fév.	mars.	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	moyenne annuelle
1976	3,9	6,1	7,0	9,4	14,6	19,3	22,0	19,1	15,0	12,0	6,5	4,9	11,6
1977	5,1	7,0	9,2	10,8	13,5	17,0	19,5	18,2	15,6	14,4	7,6	4,9	11,9

Les chiffres ci-dessous donnent une idée des extrêmes de températures :

- Moyenne des minima de janvier :  
1976 - 4,2  
1977 + 0,1
- Moyenne des maxima de juillet :  
1976 + 29,7  
1977 + 26,5

Les données pluviométriques relevées à Aups, située à la même altitude (500 m) et à une quinzaine de kilomètres de distance, sont donnés au Tableau I, pour les années 1967 à 1976. La pluviométrie totale est relativement élevée au cours de ces dix années, notamment en 1971, 1972 et

1976. Le minimum estival, bien que nettement marqué, n'est pas très bas. Au cours de la période 1968-1976, qui intéresse directement l'essai, les fluctuations de pluviométrie totale ont été faibles. Si on les met en parallèle avec la croissance (figure 1), il ne semble pas qu'elles aient eu une influence sur l'accroissement qui a été régulièrement accéléré depuis la création de la plantation. L'année 1971, la seule où une légère dépression de croissance puisse être notée, a eu une pluviométrie totale supérieure à la moyenne et une pluviométrie printanière (avril-mai-juin-juillet) qui est la plus forte des 10 années relevées.

Tableau I. — Pluviométrie mensuelle en mm à Aups.

	janv.	févr.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Total
1967.....	7,1	39,3	15,8	24,3	33,7	71,5	1,0	12,7	42,6	58,2	118,3	28,5	453,0
1968.....	10,0	117,4	21,1	50,8	90,4	45,1	3,4	84,1	87,6	57,7	86,5	75,8	729,9
1969.....	77,6	78,3	100,5	39,3	61,0	48,9	43,8	62,3	98,4	3,4	63,7	68,7	745,9
1970.....	79,8	42,1	74,8	23,3	42,2	61,5	30,0	21,6	14,4	143,0	91,6	93,9	718,2
1971.....	96,6	21,4	97,3	143,8	150,6	60,6	19,6	61,9	15,3	3,2	179,1	66,0	915,4
1972.....	75,8	215,0	94,9	80,2	31,1	63,9	34,9	45,3	106,1	114,5	26,1	112,6	1 000,4
1973.....	59,8	36,4	29,0	51,2	20,4	28,1	95,6	53,6	47,7	110,5	27,3	184,5	744,1
1974.....	89,1	185,4	97,7	110,4	108,0	23,7	5,0	75,6	124,0	14,8	46,1	26,1	905,9
1975.....	26,5	131,9	132,7	45,7	80,8	39,0	11,8	47,4	145,0	27,4	104,6	65,2	858,0
1976.....	51,5	83,6	45,9	74,1	51,7	22,1	206,7	77,1	103,5	250,2	72,8	70,7	1 109,9
Moyenne décenn.....	57,4	95,1	71,0	64,3	67,0	46,4	45,2	54,2	78,5	78,3	81,6	72,2	818,1

## 2. Description de l'expérience

En 1967, des bandes de 5 m de large, séparées par des interbandes de 4 m ont été ouvertes dans le taillis. Sur les bandes le sol a été sous-solé au rooter et grossièrement épiercé. Dans chaque bande ont été plantées, en mars 1968, deux lignes de Sapin de Céphalonie (*Abies cephalonica*).

L'essai de fertilisation est un dispositif factoriel 2<sup>3</sup> portant sur la présence ou l'absence des éléments N, P et K et comporte donc 8 traitements : T (témoin), N, P, NP, K, NK, PK, NPK. Ces 8 traitements sont répétés 8 fois, par blocs incomplets (2). Les apports élémentaires sont les suivants :

N : 3,4 g en surface autour de chaque plant, au printemps 1969 (2<sup>e</sup> année), 6,8 g au printemps 1970, 3,4 g en 1971, puis 5 g au printemps 1975 (8<sup>e</sup> année), chaque fois sous forme d'ammonitrate à 34%.

P : 22,5 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par plant sous forme de superphosphate triple en 1967, quelques semaines avant la plantation. L'engrais a été légèrement enfoui sur 2 cm de profondeur environ, à l'emplacement prévu pour la mise en place du plant. En 1975, on a complété par 36g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> également sous forme de superphosphate triple, appliqués en surface autour de chaque plant.

K : 12 g de K<sub>2</sub>O en 1967, puis 20 g en 1975, sous forme de sulfate de potasse; le mode d'apport est le même que pour le phosphore.

(1) D'après un relevé de J. Timbal.

(2) En pratique, on a 8 demi-blocs constitués des traitements T, NP, NK, PK et 8 demi-blocs avec les traitements N, P, K, NPK.

3. Résultats

L'interprétation factorielle de l'effet des éléments et de leurs interactions met en évidence un effet largement prédominant du phosphore (3), très constant tout au long de l'expérience. Cependant cet effet, très significatif sur les pousses de 1971 et 1972, diminue en 1973 et 1974 et redevient ensuite significatif à 1 p. mille à partir de 1976. Ceci indique vraisemblablement que la dose initiale n'a eu qu'une efficacité limitée et qu'il a fallu le renouvellement de 1975 pour que l'effet du phosphore s'exprime complètement.

Cet effet s'accompagne d'une interaction positive (4) du phosphore et de l'azote en 1971 et 1972, puis en 1976 et 1977; elle disparaît en 1973, 1974, 1975 et 1978, ce qui conduit à penser que l'effet des apports d'azote de 1969, 1970 et 1971 d'une part, 1975 d'autre part, a été fugace. Il n'y a généralement pas d'effet des éléments N et K.

L'effet des traitements par rapport au témoin correspond à ces deux actions de base. L'importance de l'interaction N x P s'exprime en particulier dans le fait que l'effet du traitement P (phosphore seul) n'a pratiquement jamais d'effet significatif (au contraire donc de l'effet global de l'élément P dans l'ensemble de l'essai) et que ce sont seulement les traitements NP et NPK, associant N et P, qui apportent un gain de croissance appréciable.

Bien que l'effet de l'élément K n'apparaisse jamais dans l'interprétation factorielle, les traitements avec K (NPK et PK) sont toujours légèrement supérieurs à leurs homologues sans K (NP et P). Le traitement PK semble avoir bénéficié au départ d'un avantage peut être forfuit qui rend difficile l'appréciation de son résultat sur la hauteur totale. Il est prudent de ne se référer qu'aux accroissements qui montrent pour ce traitement un effet légèrement moins significatif et moins fort que celui de NP (15% de gain sur la somme des accroissements 1970 à 1978 contre 19%).

Effet de l'ombrage : Les bandes défrichées étant orientées Est-Ouest, il existe dans chacune une ligne de plants située au Sud qui reste à l'ombre une grande partie de la journée, et une ligne Nord plus ensoleillée. Nous avons cherché à voir si cette différence de situation se répercutait sur la croissance. La différence entre les lignes Nord et Sud n'est pas signi-

Tableau II. - Effet de la fertilisation sur la croissance annuelle et la hauteur totale à 11 ans. - Eléments, interactions et traitements significatifs.

	Longueur de la pousse annuelle (en centimètres)								Hauteur totale (cm) Automne 78 (11 ans)
	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	
T .....	5,4	6,0	8,2	9,1	11,3	14,4	20,3	107,9	
N .....	4,7	4,9	8,6	10,9	9,9	11,9	13,9	20,4	107,7
P .....	6,1	6,7	8,8	10,5	10,5	12,2	15,0	22,0	116,2
NP .....	6,5	7,2	9,1	10,3	11,0	14,1	17,3	24,4	126,5
K .....	5,2	6,1	8,6	10,6	9,7	11,7	14,0	20,5	114,9
NK .....	4,2	4,4	7,6	9,8	9,9	11,9	13,6	19,2	103,9
PK .....	6,3	6,9	9,2	11,2	10,5	12,5	16,0	23,8	125,6
NPK .....	7,3	7,8	9,8	11,7	11,6	15,0	18,4	25,7	135,9
ppds à 5 % ...	1,26	1,35	1,29	1,39	1,30	1,70	2,35	2,78	11,11
1 % ...	1,68	1,80	1,73	1,86	1,74	2,27	3,14	5,71	17,97
1 ‰ ...	2,24	2,41	2,30	2,47	2,32	3,03	4,19	4,95	23,96
Traitements significatifs par rapport au témoin									
à 5 % .....			NPK	N K	P PK		NP	PK	PK
à 1 % .....	NPK	NPK		PK	NP	NP	NPK	NP	NP
à 1 ‰ .....				NPK	NPK	NPK		NPK	NPK
Effets des éléments et interactions significatifs									
à 5 % .....	N x P			P	N	N x P	N x P		N x P
à 1 % .....		N x P	P			N			
à 1 ‰ .....	P	P			P	P	P	P	P

ficative sur les témoins mais l'est sur l'ensemble des traitements NP et NPK en faveur des lignes Sud (moyenne des hauteurs en 1978 des lignes Sud : 135 cm contre 125 cm pour les lignes Nord), ce qui indique que la fertilisation est plus efficace sur les plants ombrés que sur les plants plus exposés au soleil. Ceci se confirme si l'on exploite l'ensemble de l'essai séparément sur les lignes Sud et sur les lignes Nord : le tableau III qui donne l'essentiel des résultats de cette interprétation, montre que sur les lignes Sud (à l'ombre), les effets sont généralement plus nombreux et plus significatifs que sur les lignes Nord. En 1976, on remarque même des effets très différents : le phosphore n'a pas d'action sur les lignes Nord; c'est le potassium et l'azote qui ont un effet positif.

(3) Il s'agit de l'effet moyen de l'élément P dans l'essai, qu'il soit appliqué seul ou en même temps qu'un autre élément. Il ne s'agit donc pas ici de l'effet d'un traitement.

(4) L'effet de l'ensemble N + P est supérieur à la somme des effets de N seul et de P seul.

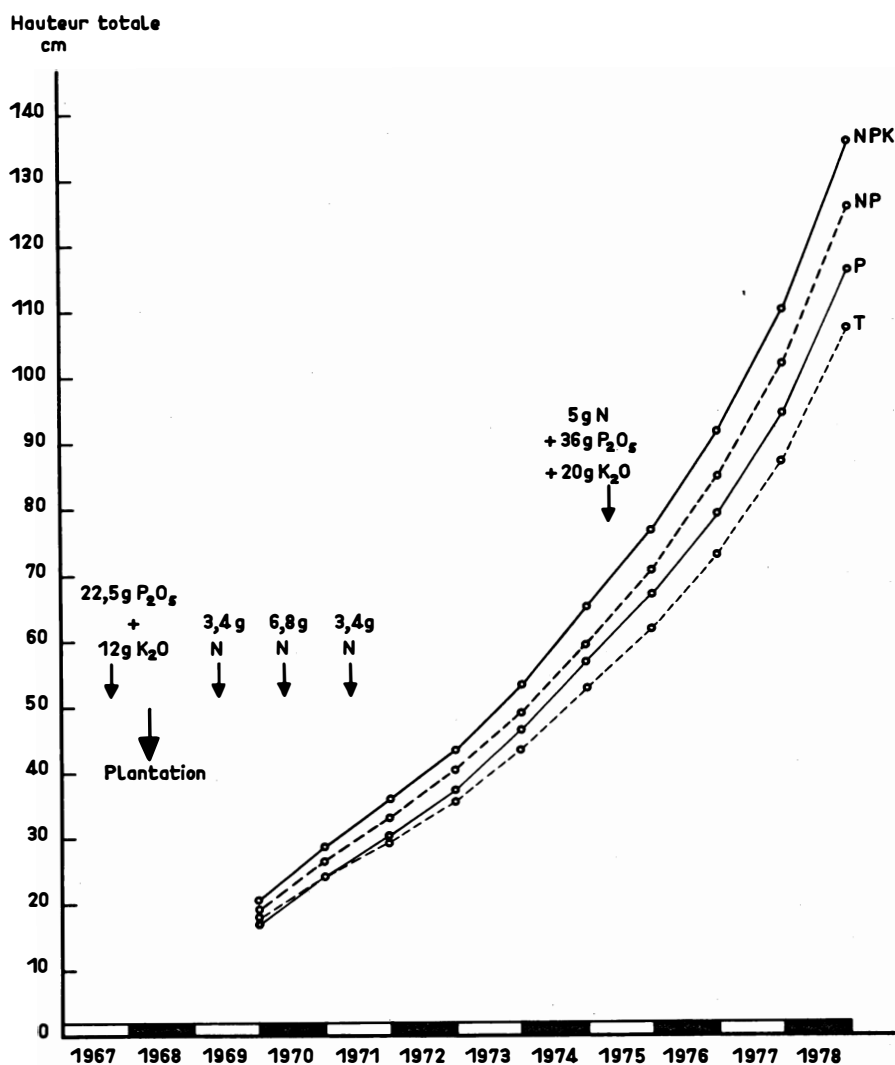


Figure 1. — Evolution de la hauteur totale, en fin d'année de végétation, pour 5 traitements : T, P, NP, PK, NPK.

Tableau III. — Variation des actions et interactions entre lignes Nord (exposées au soleil) et lignes Sud (à l'ombre).

Degré de signification	Pousse 1975		Pousse 1976		Pousse 1977		Hauteur totale 1978	
	Lignes Sud	Lignes Nord	Lignes Sud	Lignes Nord	Lignes Sud	Lignes Nord	Lignes Sud	Lignes Nord
5 % .....		P	N	K	N	N		
1 % .....			N × P	N	N × P		N × P	P
1 % .....	P		P		P	P	P	

## 4. Analyses foliaires

Les analyses foliaires (Tableau IV), effectuées sur des aiguilles prélevées à l'automne 1979, font clairement ressortir l'insuffisance de nutrition en phosphore des témoins et la composition plus favorable des plants des traitements P, PK et NPK. La nutrition en azote est également très faible, quel que soit le traitement, ce qui explique l'effet de N en fertilisation et confirme la courte durée de son action. On remarquera, aussi le niveau assez bas du manganèse et du fer. Bien que les exigences du sapin de Céphalonie ne soient guère connues, on pourra rapprocher la composition des plants de l'essai de l'optimum indiqué par REHFUESS (1968) pour le sapin pectiné.

On a procédé aussi à l'analyse des aiguilles de 1978, prélevées en 1979 sur les mêmes rameaux, donc âgées de 2 ans. On note une relative constance de la teneur en azote et en potassium, une nette élévation de la teneur en calcium, une baisse sensible du phosphore.

L'augmentation de la teneur en calcium est classique. Si l'on suppose que les conditions de l'alimentation ont été les mêmes en 1978 et en 1979, les variations constatées pour P et K correspondent assez bien à une migration d'éléments biogènes des aiguilles âgées vers les aiguilles jeunes, donc à une baisse de teneur en début de 2<sup>e</sup> année, compensée ou non par l'absorption dans le courant du 2<sup>e</sup> été, suivant que l'élément est largement offert par le sol (K) ou fait défaut (P). Un mécanisme de ce genre a été avancé par ALTHERR et EVERS (1975) à propos du magnésium. Mais il faut alors admettre que non seulement les témoins, mais aussi les sapins qui ont reçu du superphosphate, sont sous-alimentés. Il faut supposer aussi que cette explication n'est pas valable pour l'azote, constant d'une année à l'autre, peut-être parce que la carence est assez accentuée pour que toute migration soit impossible à partir des aiguilles en début de 2<sup>e</sup> année.



Tableau IV. — Analyses foliaires : — aiguilles de 1 an et 2 ans du Sapin de Céphalonie, prélevées en automne; — feuilles de chêne pubescent prélevées en juin.

Essences et traitements	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Mn ppm	Fe ppm
<b>Sapin de Céphalonie</b>							
<b>Aiguilles de 1 an, 1974</b>							
T.....	1,06	0,12	1,24	—	—	—	—
P.....	0,98	0,17	1,37	—	—	—	—
NPK.....	0,93	0,15	1,37	—	—	—	—
<b>Aiguilles de 1 an, 1979</b>							
T.....	0,98	0,12	0,79	0,61	0,09	31	82
P.....	1,09	0,16	0,90	0,54	0,09	35	67
PK.....	1,09	0,18	0,88	0,55	0,09	39	82
NPK.....	1,15	0,16	1,02	0,57	0,09	40	77
<b>Aiguilles de 2 ans, 1979 (formées en 1978)</b>							
T.....	0,97	0,09	0,74	1,07	0,09	—	—
P.....	1,06	0,11	0,86	1,08	0,08	—	—
PK.....	1,03	0,12	0,81	0,95	0,07	—	—
NPK.....	1,08	0,11	0,93	0,98	0,07	—	—
<b>Chêne pubescent non fertilisé. Feuilles de 1978 ...</b>							
	2,82	0,17	1,02	1,15	0,17	296	133

Il ne s'agit ici que d'hypothèses, impossibles à confirmer sans recherches plus détaillées. Une chose est certaine : la connaissance de la variation de composition des aiguilles au cours de leur vieillissement n'ajoute aucun élément positif au diagnostic foliaire effectué à partir de la détermination habituelle de la teneur en éléments nutritifs des aiguilles de 1<sup>re</sup> année.

Une analyse foliaire a également été effectuée sur les chênes pubescents des interbandes, en bordure de lignes non fertilisées. Bien qu'ils n'aient pas bénéficié de l'apport d'engrais, leur teneur en phosphore et azote est nettement supérieure à celle des sapins de Céphalonie, ce qui peut conduire à deux conclusions très différentes :

- ou le chêne pubescent est très exigeant et une teneur de 0,15 à 0,16 % de P, et de 2,3 % de N est insuffisante,
- ou la déficience observée chez les sapins est liée à une exploitation encore insuffisante du sol par les racines, en raison de la jeunesse des plants ou d'un équipement mycorhizien défectueux.

Comme les teneurs en N et P indiquées ci-dessus sont proches de l'optimum du chêne rouvre (BONNEAU et GARBAYE, 1976) et que le sol n'est pas très pauvre, nous penchons plutôt pour la seconde explication. Il se peut donc que dans quelques années la nutrition des sapins s'améliore d'elle-même et que l'effet de la fertilisation s'estompe.



## 5. Conclusions

On peut tirer de cet essai diverses conclusions théoriques ou pratiques :

a. Bien que l'eau soit sans doute le facteur limitant principal de la croissance en région méditerranéenne, l'effet de la fertilisation peut être très positif dans l'étage du chêne pubescent. Le gain de croissance en hauteur observé dans l'essai du Bois Pelenc (17 % pour le traitement NP et 25 % pour le traitement NPK) donne une idée des résultats qu'on peut attendre.

b. Bien que les horizons de surface du sol soient fréquemment desséchés, l'apport superficiel des engrais est efficace. Rien ne permet cependant d'affirmer qu'un enfouissement n'aurait pas eu un effet plus marqué. La logique pousse à le penser : c'est en effet dans les horizons suffisamment pourvus en eau que les racines assurent l'absorption la plus active des éléments nutritifs (BLANCHET, 1978) et en climat méditerranéen, les horizons superficiels sont fréquemment desséchés. Il n'est pas impossible que le faible effet du traitement P et la baisse d'efficacité de l'élément P, entre 1972 et 1976, soient dus au non enfouissement des engrais phosphatés. L'effet plus marqué des engrais dans les lignes ombrées, où le dessèchement des horizons superficiels est sans doute moindre, va aussi dans ce sens.

c. Un renouvellement du phosphore semble utile après quelques années. L'effet de l'azote ne se fait pas sentir plus de 3 ans et l'apport d'ammonitrate devrait donc être régulièrement répété.

d. Bien que l'effet du potassium ne soit pas statistiquement significatif et que la nutrition en potassium soit bonne, l'apport de cet élément ne semble pas inutile : l'effet du traitement NPK est nettement plus significatif que celui du traitement NP. Il faudrait bien sûr vérifier par des recherches complémentaires qu'il ne s'agit pas d'une action de l'anion sulfate : rappelons en effet que le potassium a été apporté sous forme de sulfate de potassium et non pas de chlorure (le chlore est mal supporté par les racines des arbres) et il est donc impossible de séparer l'effet de  $K^+$  d'un effet éventuel de  $SO_4^{2-}$ .

e. La comparaison des compositions foliaires du chêne pubescent et du sapin de Céphalonie conduit à penser que lorsque ce dernier aura atteint son plein développement racinaire, sa nutrition phosphatée et azotée, actuellement déficiente, s'améliorera. Il n'est toutefois pas exclu qu'il n'ait pas trouvé dans le sol du Bois Pelenc des partenaires convenables ; dans ce cas, fertilisation se ferait temps. La stagnation de la teneur en des aiguilles des témoins entre 1974 et 1978 va dans ce sens.

M. B.

## Bibliographie

- ALTHERR E., EVERS F.H., 1974. — Unerwarteter Düngungserfolg bei Magnesiummangel in einem jungen Buchenbestand auf mittlerem Buntsandstein des Odenwaldes. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1974, 145 (7), 121-124.
- ARMSOM K.A., 1973. — Soil and Plant analysis techniques as diagnostic criteria for evaluating fertilizer needs and treatment response. Forest Fertilization Symposium Proceedings. U.S.D.A., Forest Service Technical Report, NE 3, 1973.
- BLANCHET R., 1978. — Absorption d'éléments nutritifs et fertilisation localisée. Science du Sol (3), 147-154.
- BLANCHET R., MAERTENS L., BOSC M., 1974. — Principaux facteurs agronomiques déterminant l'absorption des éléments nutritifs par les racines. Science du Sol, n° 2, 69-78.
- BONNEAU M., 1977. — Méthodes d'application des engrais phosphatés pour la fertilisation des plantations. La Forêt Privée, n° 115, 59-72.
- GAGNON J.D., 1973. — Effects of nitrogen fertilization on the radial increment of *Abies balsamea*. Rapport d'information. — Centre de Recherches Forestières des Laurentides, n° QF x 38.
- GALOUX A., 1979. — La fertilisation annuelle continue dans les peuplements résineux. Bulletin Soc. Roy. Forestière de Belgique, mars-avril.
- GAMBI G., 1971. — Experiments on the use of fertilizers in the forest. Annali del Instituto Sperimentale per la selvicoltura, Arezzo, 2, 163-198.
- GAMBI G., STRADAJOLI G., 1972. — Controlling the productivity of *Abies alba* through foliar analysis. Annali del Instituto Sperimentale per la selvicoltura, Arezzo, 4, 91-110.
- GARBAYE J., BONNEAU M., 1975. — Premiers résultats d'un essai de fertilisation sur plantation de chêne rouvre (*Quercus sessiliflora*). Ann. Sci. Forest., 32 (4), 175-183.
- LE TACON F., 1978. — La mycorrhization contrôlée et ses possibilités d'application. — Les progrès réalisés aux Etats-Unis. Revue Forestière Française, XXX (5), 353-362.
- REEMTSMA J.B., 1979. — Nadelanalytische Untersuchungen an Fichte (*Picea abies*) nach Grünästung und Düngung. Schriften aus der forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen forstlichen Versuchsanstalt, vol. 59.