

# Effet de l'apport de phosphore, de carbonate de calcium et d'oligo-éléments (Cu, Mn, Zn, B) à trois sols sableux acides sur la croissance et la nutrition de semis de *Pinus pinaster* Soland in Ait. II. Nutrition en oligo-éléments

E Saur

INRA, station d'agronomie, centre de recherches de Bordeaux, 33140 Pont-de-la-Maye, France

(Reçu le 8 septembre 1988; accepté le 3 octobre 1989)

**Résumé** — Le but de cette étude est de mesurer l'évolution de la composition minérale de semis de *Pinus pinaster* Soland in Ait, après une saison de végétation sur 3 types de sols acides sableux ayant reçu des apports de phosphore, de carbonate de calcium et d'oligo-éléments (Mn, Cu, Zn, B), en vue de mieux connaître la nutrition oligominérale de cette espèce.

La nutrition en éléments mineurs est caractérisée par :

- la propension du pin maritime à absorber et accumuler préférentiellement l'aluminium par rapport au fer;
- la diminution des teneurs des parties aériennes en Cu, Zn, et surtout Mn et l'augmentation de celles de B lorsqu'on élève le pH par apport de carbonate de calcium;
- l'accumulation préférentielle de Mn et B dans les parties aériennes alors que Cu reste bloqué au niveau du système racinaire;
- l'effet favorable du phosphore sur la nutrition en Zn et Mn des plants, et son effet défavorable sur celle en B et Cu.

**phosphore / carbonate de calcium / oligo-élément / pin maritime / Fe / Al / analyse foliaire**

**Summary** — Effect of phosphorus, calcium carbonate and trace element fertilization (Cu, Mn, Zn, B) on growth and nutrition of *Pinus pinaster* Soland in Ait seedlings in three acid sandy soils. II. Trace element nutrition. Two hundred day-old pine seedlings were grown on 3 acid sandy soils in plastic pots under greenhouse conditions in order to investigate the micronutrient uptake resulting from phosphorus, calcium carbonate and micronutrient fertilization. The 3 soils differed in their organic matter level. Mineral content (Fe, Mn, B, Cu, Zn, Al) of seedlings were measured.

The main results regarding trace element uptake (table I, II) were the following: a decrease in Cu, Zn and Mn uptake and an increase in B uptake as soil pH increased; Mn and B accumulation in aerial tissues and Cu accumulation in root tissues; an antagonism between P-nutrition and Cu, B-nutrition; a synergism between P-nutrition and Zn, Mn-nutrition.

**phosphorus / calcium carbonate / micronutrient / maritime pine / Fe / Al / foliar analysis**

## INTRODUCTION

Le but de ce travail est d'étudier la composition minérale de jeunes semis de pin maritime sur des sols sableux issus des Landes de Gascogne, en s'attachant à suivre tout particulièrement la nutrition en Mn, Cu, Zn, B, Fe et Al. En effet, la nutrition oligominérale des semis de conifères a fait l'objet de peu d'études jusqu'à ce jour.

Sur semis de *Pinus cembra*, Neuwinger et Schinner (1980) ont montré que l'effet favorable du sulfate de cuivre sur la croissance est lié à son action sur les micro-organismes. Par ailleurs, Lambert et Weidensaul (1982) ont établi les besoins en cuivre de semis de *Picea pungens*, *Pseudotsuga menziesii*, *Abies procera* et *Pinus strobus* cultivés sur un substrat de tourbe et vermiculite. Egalement, Mac Grath et Robson

(1984) ont étudié l'effet de la fertilisation en zinc sur la nutrition azotée et phosphatée de semis de *Pinus radiata*. Une étude très complète sur la dynamique et la répartition des éléments minéraux dans des plantules de *Pinus radiata* (Lachica *et al*, 1979) a abouti à la fixation de teneurs optimales pour chaque élément.

A notre connaissance, la nutrition oligominérale du pin maritime n'a pas donné lieu à des études de ce type; les seules données concernant cette espèce ont pour objet la description de symptômes de carence et de toxicité en manganèse (Seillac, 1966) ou de toxicité en fer, bore, cuivre et zinc (Seillac, 1971) observées en culture hydroponique.

Notre étude porte sur 3 types de sols représentatifs des grandes formations pédologiques de l'aire d'extension sylvicole du pin en Gascogne : sol de lande humide, sol de lande sèche et sable dunaire. Chaque sol a subi 8 traitements faisant intervenir des doses croissantes de phosphates destinées à favoriser la croissance des plants et donc l'apparition d'éventuelles carences induites : en effet, les 3 sols étudiés sont très pauvres en phosphore assimilable. On a également cherché à les provoquer en apportant des

doses croissantes de carbonate de calcium pour élever le pH du sol et bloquer ainsi l'absorption de certains éléments. Un mélange d'oligo-éléments (Cu, Zn, B, Mn) a été ajouté dans le cas des doses fortes de phosphore et de carbonate de calcium afin de suivre une éventuelle réaction de la plante.

La croissance et la nutrition en éléments majeurs des semis de cet essai sont présentées dans Saur, 1989b.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les caractéristiques initiales des sols expérimentés ainsi que le protocole de l'essai ont été décrits dans Saur (1989b). Les différents traitements sont présentés dans le tableau I (P : ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; Ca : t CaO/ha); le mélange d'oligo-éléments noté «+0» représente 2,1 ppm Cu, 1,0 ppm Zn, 0,9 ppm B, 10,8 ppm Mn.

Les analyses de végétaux ont porté sur :

- l'aluminium, dosé par colorimétrie du complexe Al-ériochromocyanine (Juste, 1965) dans les minéralisats après ajustement du pH à 3,2.
- le bore dosé à l'auto-analyseur par une colorimétrie faisant intervenir la réaction entre l'azométhine-H et le bore en milieu faiblement acide (Rodier, 1984).

**Tableau I.** Teneurs en éléments mineurs des parties aériennes (A) et racinaires (R) exprimées en PPM de matière sèche. Deux valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Bonferroni).

	Mn (A)	Mn (R)	Fe (A)	Fe (R)	Zn (A)	Zn (R)	Cu (A)	Cu (R)	B (A)	B (R)	Al (A)	Al (R)
<b>Le Porge</b>												
T	557 d	92 d	26 b	15 c	73 b	113 c	7.4 c	10 a	51 cd	9 ab	225 d	2763 c
P50	534 d	82 cd	63 d	16 cd	79 c	104 bc	3.2 b	11 a	43 c	7 a	338 f	3235 d
P100	684 e	71 bc	17 b	16 cd	86 cd	105 bc	2.4 a	14 ab	27 b	7 a	254 e	2700 c
P250	509 d	71 bc	14 a	10 a	65 ab	142 e	2.2 a	18 b	14 a	10 ab	171 c	2361 bc
P250+0	1 421 c	458 f	13 a	11 b	98 d	275 f	2.6 a	82 d	70 e	15 cd	160 c	2800 c
P50 Ca0.5	407 b	61 b	34 c	10 a	62 ab	92 ab	2.8 b	14 ab	56 d	10 abc	128 b	1675 b
P50 Ca2	132 a	31 a	15 a	16 d	53 a	79 a	3.2 b	10 a	27 b	17 d	66 a	818 a
P50 Ca2+0	395 b	139 e	20 b	15 c	76 bc	94 ab	3.6 b	40 c	166 f	69 e	79 a	789 a
<b>Sore</b>												
T	413 d	66 b	25 d	9 b	64 a	75 ab	3.8 b	11 bc	39 e	8 a	151 c	877 a
P50	514 e	77 b	21 c	12 c	77 ab	114 c	2.6 a	12 c	27 d	8 a	182 de	1098 ab
P100	492 e	62 b	15 b	17 d	77 ab	114 c	2.6 a	8 ab	22 c	8 a	199 e	1535 d
P250	423 d	56 b	14 ab	7 a	85 bc	145 d	3.0 a	8 ab	14 b	9 a	168 cd	1122 abc
P250+0	1 013 f	76 c	11 a	6 a	95 c	163 d	3.4 b	18 d	39 e	21 c	116 b	1009 ab
P50 Ca2	243 c	31 a	20 c	15 d	71 a	55 a	3.8 ab	6 a	29 d	9 a	62 a	2073 e
P50 Ca6	68 a	33 a	15 b	11 c	67 a	55 a	3.0 a	6 a	7 a	8 a	54 a	1236 bc
P50 Ca6+0	184 b	70 b	16 b	11 c	72 ab	92 bc	3.0 a	22 e	30 d	18 b	69 a	1318 cd
<b>Pierroton</b>												
T	364 c	132 d	24 bc	11 bc	63 bc	128 d	6.0 d	9 bc	33 d	11 b	101 b	1385 ab
P50	409 c	81 c	18 ab	14 d	76 d	73 b	4.6 c	6 ab	36 d	6 a	169 c	2230 cd
P100	547 d	57 b	19 ab	18 e	80 de	68 b	2.6 ab	8 bc	26 c	6 a	229 d	3008 e
P250	549 d	58 b	21 b	9 ab	87 e	71 b	2.0 a	7 ab	12 a	6 a	280 e	2455 de
P250+0	835 e	131 d	25 bc	10 ab	73 cd	94 c	1.4 a	12 c	27 c	10 b	181 c	1587 bc
P50 Ca4	99 b	25 a	15 a	10 ab	51 a	46 a	4.0 c	6 ab	29 c	9 b	59 a	865 a
P50 Ca8	19 a	23 a	29 c	13 cd	58 ab	42 a	3.4 bc	5 a	18 b	9 b	63 a	865 a
P50 Ca8+0	50 ab	36 a	16 a	9 a	60 ab	48 a	3.6 bc	6 ab	44 e	22 c	72 a	1069 ab

– Mn, Zn, Fe et Cu dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique en flamme après minéralisation par voie sèche et reprise des cendres à l'acide chlorhydrique.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### *Éléments mineurs des végétaux : teneurs et quantités absorbées (tableaux I et II)*

#### Fer

Le fer est réparti de manière homogène entre les parties aériennes et racinaires des semis. Les teneurs sont globalement très faibles (15-25 ppm), comparées aux seuils de carence de 30-40 ppm déterminés par Woods (1983) pour *Pinus radiata* ou de 104 ppm par Gessel *et al* (1979) pour les semis de *Picea sitchensis*. Les concentrations dans la racine sont par ailleurs très faibles par rapport à celle existant dans le sol, ce qui témoigne : d'une part, d'une pollution très limitée par les résidus terreux et, d'autre part, d'une faible aptitude du pin à absorber le fer dont la biodisponibilité dépend, bien sûr, de sa concentration ionique dans la solution du sol, fonction du produit de solubilité des combinaisons ferriques (hydroxydes, silicates).

#### Aluminium

Parmi les éléments étudiés, l'aluminium est le plus fortement retenu dans le système racinaire, où sa concentration varie entre 800 et 3 000 ppm, pour des teneurs de 50 à 300 ppm dans les parties aériennes (soit 3-18% de l'aluminium total de la plante), valeurs qui confirment l'aptitude de cette espèce à accumuler l'aluminium (Juste, 1965; Saur, 1989a). Ce comportement se distingue fondamentalement de celui observé pour le fer, les rapports Al-racine/Fe-racine étant en moyenne 20 fois plus élevés que les rapports Al-sol/Fe-sol.

Relativement au traitement P<sub>50</sub>, l'apport de carbonate de calcium diminue très fortement l'accumulation de l'aluminium dans la plante sauf dans les racines pour le sol de Sore sans doute par insolubilisation du métal sous forme d'hydroxydes.

#### Manganèse

On note une forte propension des plantules à concentrer le manganèse dans les parties aériennes : 453 ppm en moyenne (soit 85% du manganèse total de la plante), alors que la concentration moyenne est de 87 ppm dans les

**Tableau II.** Quantités d'éléments mineurs des parties aériennes (A) et racinaires (R) exprimées en 10<sup>-6</sup>g/plant.

	Mn (A)	Mn (R)	Fe (A)	Fe (R)	Zn (A)	Zn (R)	Cu (A)	Cu (R)	B (A)	B (R)	Al (A)	Al (R)
<b>Le Porge</b>												
T	511	102	23	16	67	125	6,8	11	46	10	206	3084
P50	539	120	64	23	80	151	3,2	16	43	10	343	4697
P100	757	107	19	24	95	160	2,6	21	29	11	281	4032
P250	834	66	23	9	106	133	3,6	17	23	9	280	2204
P250+0	2058	403	18	10	141	242	3,8	72	101	13	232	2482
P50 Ca0,5	445	85	36	14	67	129	3,0	19	61	14	139	2362
P50 Ca2	162	39	18	21	65	101	3,9	13	32	21	81	1043
P50 Ca2+0	446	183	23	19	86	124	4,0	52	188	90	89	1042
<b>Sore</b>												
T	664	99	40	13	102	114	6,1	17	62	12	244	1319
P50	867	134	34	20	130	201	4,3	21	46	15	307	1920
P100	1013	104	30	28	160	190	5,3	14	45	14	412	2567
P250	1000	92	33	10	201	237	7,0	13	33	15	396	1828
P250+0	2400	229	25	9	224	256	8,0	28	93	33	275	1537
P50 Ca2	416	54	34	26	122	94	6,5	10	49	15	106	3571
P50 Ca6	161	56	36	19	155	94	7,0	10	17	14	125	2102
P50 Ca6+0	422	131	38	21	165	172	6,8	41	69	33	157	2467
<b>Pierroton</b>												
T	1043	181	68	15	181	176	17,0	12	95	14	290	1912
P50	1825	387	81	68	341	348	20,5	30	163	31	755	10524
P100	1941	202	69	65	282	242	9,2	30	92	22	817	10689
P250	2037	214	77	35	324	256	7,3	27	45	22	1039	8916
P250+0	3605	524	107	41	314	375	6,0	46	116	42	781	6338
P50 Ca4	648	119	98	48	336	214	26,2	28	191	43	385	3999
P50 Ca8	147	104	219	57	443	190	25,8	22	136	43	484	3901
P50 Ca8+0	314	140	102	34	374	185	22,4	24	278	84	455	4089

racines pour une teneur du sol de 10 ppm. Le manganèse est donc, d'une part, très fortement absorbé par le végétal (3-18% du manganèse du sol à pH 4), d'autre part, très facilement transféré vers les parties aériennes : les faibles teneurs dans les racines montrent en effet que cet élément passe efficacement dans le système xylémique pour être utilisé et stocké dans les feuilles.

L'apport de phosphore dans les 3 sols favorise l'absorption du manganèse du sol par le végétal, comme celle, vue par ailleurs, du potassium; mais l'effet positif du phosphore sur la croissance des semis, sur l'exploration du sol par le système racinaire et par là sur la nutrition minérale globale n'explique pas à lui seul ce résultat (effet de synergie ?).

La nutrition en manganèse est fortement dépendante des doses de carbonate de calcium apportées au sol. L'augmentation du pH qui en résulte affecte très significativement les teneurs du système aérien et, dans une moindre mesure, celles des racines. Le prélèvement du manganèse par la plante entière décroît alors spectaculairement avec l'accroissement du pH jusqu'à atteindre seulement 20% en moyenne de sa valeur initiale (11% pour Pierroton) au pH le plus élevé.

La réponse positive du végétal à l'apport du mélange d'oligo-éléments, qui se traduit par une accumulation de manganèse, décroît du sol du Porge à celui de Pierroton et avec l'élévation du pH. Les fortes teneurs en matière organique et les pH élevés sont donc les deux facteurs principaux limitant la biodisponibilité du manganèse apporté par le mélange d'oligo-éléments, ce qui confirme les connaissances à ce sujet.

## Bore

A l'instar du manganèse, le bore est accumulé préférentiellement dans les parties aériennes du végétal, où les teneurs moyennes sont de 37 ppm pour 13 ppm dans les racines, 85% en moyenne du bore mobilisé par la plante entière étant dans les parties aériennes.

L'augmentation de la concentration de la solution du sol en phosphate consécutive à l'apport de fertilisant apparaît inhiber l'absorption du bore par la plante entière (sauf à Pierroton P<sub>50</sub>); l'effet négatif croissant avec la dose d'apport amène, à P<sub>250</sub>, à une réduction moyenne de 40% du prélèvement par rapport à celui du témoin.

L'augmentation de l'absorption du bore consécutivement à l'apport du mélange d'oligo-éléments est importante et diminue avec la richesse du sol en matière organique, que les oligo-éléments aient été apportés au sol très enrichi en

phosphore ou chaulé. Mais l'élévation du pH jusqu'à 7,0 accroît relativement plus cette augmentation, qui est ainsi quintuplée pour Le Porge, la proportion d'anions borate dans la solution du sol étant accrue dans ces conditions.

## Zinc

Les plantules de pin maritime sont capables de concentrer dans leurs tissus le zinc extrait du sol : les teneurs moyennes suivantes ont été notées : 86 ppm dans les végétaux pour 5 ppm dans le sol (soit 3,6% en moyenne du zinc total du sol prélevé par les plantes).

Si les plantules ont tendance à fortement concentrer le zinc dans les racines, le transfert vers les parties aériennes se fait beaucoup moins facilement que celui de Mn et B. Les racines contiennent 49 à 64% du zinc total absorbé.

L'apport de carbonate de calcium diminue l'accumulation du zinc dans les racines et favorise son transfert vers les parties aériennes.

La biodisponibilité du zinc apporté par le mélange d'oligo-éléments diminue avec la richesse en matière organique et l'élévation du pH du sol. Il est remarquable de noter que, pour le traitement Pierroton P<sub>250</sub>, l'apport du mélange d'oligo-éléments fait baisser significativement de 16% les quantités de zinc des parties aériennes alors que les teneurs racinaires augmentent. Dans ce cas, une interprétation possible serait une compétition s'exerçant au niveau du transfert entre les différents métaux présents dans le mélange (compétition entre Mn et Zn).

L'addition de phosphore entraîne, dans le cas de Pierroton, une baisse de la teneur en zinc des racines et une tendance à l'accroissement des teneurs dans les parties aériennes, ce qui peut être interprété dans le cas précis de ce substrat comme un effet positif du phosphore sur le transfert du zinc.

## Cuivre

Le cuivre est fortement accumulé dans les racines de pin maritime (14,8 ppm en moyenne) à partir d'un sol relativement pauvre (1,4 ppm).

En tenant compte des quantités de cuivre absorbées, de leur répartition dans le végétal et du cuivre total des différents sols de chaque pot, on observe que, dans les traitements sans oligo-éléments :

– les semis mobilisent en moyenne 1,2% du cuivre total du sol, soit le pourcentage le plus faible des réserves comparativement aux autres oligo-éléments,

– 69% en moyenne du cuivre absorbé par la plante entière sont présents dans la racine; or, comme c'est le sol organique de Pierroton qui conduit à la meilleure utilisation du cuivre total du sol par les plantules (1,5%) et aux rapports des quantités Cu racine/Cu plante entière les plus faibles, on ne peut pas considérer que l'approvisionnement en cuivre est plus difficile dans le sol le plus riche en matière organique.

L'accumulation du cuivre dans les racines est généralement favorisée, comparativement au témoin, par les traitements phosphatés et les amendements calcaires (sauf à Pierroton); le cuivre du sol est donc difficilement transféré vers les parties aériennes. Mais cette accumulation atteint son maximum dans les traitements oligo-éléments et plus particulièrement en sol non chaulé au Porge et à Pierroton où respectivement 94 et 89% du cuivre assimilé sont situés dans la racine. De plus, seules les quantités de cuivre trouvées dans les racines sont affectées, relativement aux témoins correspondants – en augmentant d'une manière importante (jusqu'à 4,6 fois) – et non celles des parties aériennes qui ne varient pas. Ces observations, semblables à celles effectuées par Lastra *et al* (1988) sur des semis de *Pinus radiata* amènent à considérer que le cuivre serait fortement adsorbé sur les parois cellulaires de la racine sans que cela entraîne, pour les doses étudiées, une amélioration de l'absorption «*stricto sensu*» et du transfert du métal vers le système aérien.

Si nous considérons, sur un plan qualitatif, le cuivre des parties aériennes comme le résultat de l'absorption effective de ce métal dans le «pool» métabolique, les teneurs baissent significativement (au seuil de 1% pour Le Porge et Pierroton, et 5% pour Sore) avec l'augmentation des doses de phosphore apportées. Cet antagonisme déjà étudié chez d'autres espèces (avoine : Dekock *et al*, 1971; haricot, maïs, tomate, semis d'oranger : Bingham, 1963) serait lié, d'une part, à des réactions physico-chimiques dans la solution du sol et, d'autre part, à une interférence dans les phénomènes d'absorption active et de transfert des 2 ions. Le simple effet de dilution, lié à une croissance rapide des plants, ne peut suffire à expliquer cette interaction puisque, dans le cas du sol de Pierroton, la baisse de production de biomasse pour les doses P<sub>100</sub> et P<sub>250</sub> n'affecte pas la diminution des teneurs en cuivre des parties aériennes et plus généralement les quantités de cuivre des parties aériennes diminuent avec les apports de phosphates (excepté Sore P<sub>250</sub>).

## CONCLUSION

Ce travail confirme la propension du pin maritime, soulignée à maintes reprises, à absorber et accumuler préférentiellement l'aluminium du sol par rapport au fer, particulièrement dans le système racinaire.

Il met aussi en évidence l'aptitude de cette espèce à extraire et concentrer et donc exploiter la très faible réserve en éléments mineurs existant dans ces formations pédologiques bien particulières.

L'augmentation du pH du sol consécutive à l'apport de doses croissantes de calcaire n'entraîne pas d'effet dépressif sur la croissance attribuable à une carence en oligo-éléments mais diminue les teneurs des parties aériennes en Cu, Zn et Mn et augmente celle en B.

L'apport de phosphore provoque une chute significative du transfert du cuivre et du bore vers les parties aériennes, la teneur en cuivre pouvant atteindre des valeurs critiques dans le cas du sol le plus riche en matière organique. Il favorise, par contre, la nutrition en zinc et en manganèse.

L'apport du mélange d'oligo-éléments sur le sol dunaire pauvre en matière organique entraîne des teneurs très élevées en Mn, Zn et B, pouvant constituer un risque de toxicité pour le végétal. Pour le sol de lande humide, il entraîne une chute de la teneur en zinc dans les parties aériennes, due probablement à une interaction avec le manganèse du mélange, très facilement transféré vers les parties aériennes. Dans ces conditions, l'application de mélanges d'oligo-éléments destinés à se prémunir de tous risques de carence serait donc loin de constituer la solution la mieux adaptée au contrôle d'une carence en un élément déterminé.

L'antagonisme P/Cu, déjà mis en évidence sur des plants de pin maritime âgés de trois ans (Saur, 1989a), nous intéresse tout particulièrement dans le contexte du massif forestier landais, où les sols riches en matière organique ont une prédisposition à la carence en cuivre. C'est dans cette voie que nous allons désormais orienter nos recherches sur la nutrition du pin maritime en oligo-éléments.

## REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes de la station d'agronomie (INRA Bordeaux) ont fourni, grâce à leurs compétences respectives, une aide précieuse à ce travail. Il convient donc de remercier particulièrement : M C Juste pour son appui scientifique; M A Gomez pour ses conseils en chimie analytique; MM C Barbot, G Bordessoules,

JC Mounissens pour leur participation à la réalisation technique des essais en serre.

## RÉFÉRENCES

- Bingham FT (1963) Relation between phosphorus and micronutrient in plants. *Soil Sci Soc Am Proc* 27, 389-391
- Dekock PC, Cheshire MV, Hall A (1971) Comparison of the effects of phosphorus and nitrogen on Cu deficient and suffering oats. *J Sci Food Agric* 22, 431-440
- Gessel SP, Steinbrenner EC, Miller RE (1979) Response of Northwest forests to element other than nitrogen. *Proceedings of forest fertilization conference* (Gessel SP, Kenady RM, Aldinson WA eds) University of forest resources. Contribution n° 40, 140-149
- Juste C (1965) Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du Sud-Ouest atlantique : application à leur mise en valeur. Thèse de docteur-ingenieur. Univ Nancy
- Lachica M, Kosche R, Gonzalez C (1979) El *Pinus radiata* D. Don en Chile. Determinación de los índices nutritivos óptimos de las plántulas. *An Edafol Agrobiol* 38, 2142-2157
- Lambert DH, Weidensaul TC (1982) Copper requirement of container grown conifer seedlings. *Can J For Res* 12, 848-852
- Lastra O, Chueca, Lachica M, Lopez Gorge J (1988) Root uptake and partition of copper, iron, manganese and zinc in *Pinus radiata* seedlings grown under different copper supplies. *J Plant Physiol* 132, 16-22
- Mac Grath JF, Robson AD (1984) Effect of nitrogen and phosphorus supply on the response of seedling of *Pinus radiata* D Don to applied zinc. *Aust For Res* 14, 163-173
- Neuwinger I, Schinner F (1980) The influence of compound fertilizer and cupric sulfate on the growth and bio-element content of Cembra Pine seedlings (*Pinus cembra*). *Plant Soil* 57, 257-270
- Rodier J (1984) Dosage du Bore. In : *Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. 7<sup>e</sup> édition, Dunod, 177-185
- Saur E (1989a) Alimentation oligominérale du pin maritime (*Pinus pinaster* Soland in Ait) en relation avec quelques caractéristiques physico-chimiques des sols sableux des Landes de Gascogne. *Ann Sci For* 46, 119-129
- Saur E (1989b) Effet de l'apport de phosphore, de carbonate de calcium et d'oligo-éléments (Cu, Mn, Zn, B) à trois sols sableux acides sur la croissance et la nutrition de semis de *Pinus pinaster* Soland in Ait. I. Croissance et nutrition en éléments majeurs. *Agronomie* 9 (10) pp 931-940
- Seillac (1966) Recherches préliminaires sur la culture des jeunes plants de pin maritime sur le milieu liquide. *C R Acad Sci* série D, 262, 1094
- Seillac P (1971) La toxicité de quelques oligo-éléments pour les jeunes plants de pin maritime cultivés sur milieu liquide. *C R Acad Sci Paris* 272, 411-413
- Woods RV (1983) Trace element problems induced by heavy nitrogen fertilization of *Pinus radiata* in South Australia. *Comm Inst For Fennia* 116, 178-182