

Alimentation minérale du Cèdre de l'Atlas

par Maurice BONNEAU

**Voici un article qui complète
fort bien ce qui avait été jusqu'à
présent publié sur la nutrition
minérale du cèdre de l'Atlas.
L'auteur, ancien professeur
à l'Ecole forestière de Nancy,
et qui a écrit de nombreux articles
dans notre revue,
insiste dans cette synthèse,
sur l'importance à accorder
aux différences observées
entre les deux sortes
d'aiguilles du cèdre.**

L'alimentation minérale de *Cedrus atlantica* a suscité beaucoup moins de recherches que celle des grandes essences résineuses tempérées, Épicéa commun, Pin sylvestre ou Douglas. Néanmoins, on trouve dans la littérature marocaine et française un certain nombre d'études qui permettent de se faire une assez bonne idée tant de l'optimum de composition foliaire à différents âges que de quelques cas très nets de malnutrition. D'autres travaux non encore publiés apportent aussi de l'information. Cependant, l'ensemble de ces connaissances concerne surtout les éléments majeurs, N, P, K, Ca et Mg, mais beaucoup moins les oligo-éléments, comme c'est aussi le cas pour les espèces tempérées.

Optimum de composition foliaire

Deux remarques préalables sont nécessaires. Le mot "optimum", dans son sens strict, désigne, pour un élément donné, la teneur des feuilles pour laquelle la croissance est maximale lorsque les autres éléments sont fournis en suffisance et n'atteignent pas un niveau toxique. On ne peut donc approcher l'optimum que dans des cultures expérimentales où sont comparés plusieurs niveaux d'alimentation minérale. Comme de tels travaux sont rares sur le Cèdre, le mot "optimum" sera employé ici de manière moins stricte et désignera un niveau d'alimentation minérale correspondant à des arbres en bonne santé (feuillage abondant et de couleur normale) et à croissance convenable mais n'atteignant pas forcément le maximum possible permis par le génotype et le climat.

Par ailleurs, il faut rappeler que le Cèdre possède deux types d'aiguilles :

1 - des aiguilles en bouquet, portées par des rameaux courts insérés sur les pousses des années précédentes ; les plus récentes de ces aiguilles "en rosettes" se développent les premières au printemps sur la pousse de l'année précédente ;

2 - des aiguilles insérées directement sur la pousse longue de l'année et qui se développent, en même temps que cette pousse, assez tardive-

ment au printemps, après les aiguilles des nouvelles rosettes. La pousse longue porte aussi des ébauches de rameaux courts, avec de toutes petites aiguilles en rosettes ; ces ébauches de rameaux se développeront l'année suivante en donnant naissance à des rosettes d'aiguilles véritables. Ces deux types d'aiguilles ont des compositions légèrement différentes (Cf. Tab. I), de sorte que la définition d'un optimum de composition devrait préciser à quel type d'aiguilles on se réfère et que des conventions internationales à ce sujet seraient même souhaitables. Les aiguilles les plus propres à la définition d'un état d'alimentation minérale seraient, à notre avis, les aiguilles en rosettes pour les deux raisons suivantes : elles sont généralement plus abondantes que les aiguilles des pousses longues, ce qui facilite le prélèvement ; développées les premières en saison, elles sont plus strictement les homologues des aiguilles de la pousse annuelle des résineux à pousse unique et à un seul type d'aiguilles (Pin sylvestre, Epicéa...) qui sont normalement prélevées pour caractériser l'alimentation minérale de ces espèces. Malheureusement, beaucoup de travaux sont publiés sans donner de précision sur le type des aiguilles analysées.

Semis

En ce qui concerne l'optimum nutritionnel des semis, nous nous référerons aux travaux de LEPOUTRE (1963) dans le Moyen Atlas marocain et dans le Rif (Cf. Tab. II). A titre indicatif, les valeurs de la dernière ligne de ce tableau peuvent être adoptées comme valeurs de référence. Le Cèdre semble donc assez proche des résineux à petites aiguilles des régions tempérées, avec des exigences qui semblent moindres en azote et en potassium mais supérieures en phosphore et en magnésium. Mais il faut rappeler qu'il ne s'agit pas d'un optimum physiologique réel qui pourrait éventuellement se situer à un niveau plus élevé pour certains éléments, le potassium notamment. Ainsi pour C. ARGILLIER (comm.pers), cet optimum est compris entre 10 et 13 mg de potassium par g de m.s.

Plantations

Référence sera prise ici dans les plantations du sud du département de l'Aude, lors de l'étude comparative de plantations malvenantes et vigoureuses (BONNEAU et COUHERT, non publié). Le tableau I donne les résultats d'analyses foliaires d'une plantation du Rialsesse. Les autres cèdres bienvenants analysés se situaient au voisinage et sur même sol que des cèdres qui manifestaient des carences. Leur composition foliaire, même si elle ne s'accompagne pas de carences visibles, ne peut donc pas être retenue comme une référence valable.

Les données du tableau I concernent d'une part les rosettes développées au printemps à partir des ébauches de la pousse de l'année précédente (voir plus haut) et prélevées en automne, et d'autre part les aiguilles des pousses longues de l'année.

Les rosettes et les aiguilles des pousses longues diffèrent donc légèrement dans leur composition : les teneurs sont assez voisines pour N, P, K et Mg, mais diffèrent nettement pour Ca, Zn, Mn et B. Bien que les différences ne soient significatives que pour le calcium et le bore, on peut admettre une forte probabilité de plus forte teneur des rosettes en manganèse et zinc, car la comparaison n'a porté que sur cinq plantations. Mais chaque valeur ayant servi à calculer les moyennes est en réalité le résultat d'un échantillon composite d'aiguilles de 10 jeunes cèdres au moins et, pour ces deux élé-

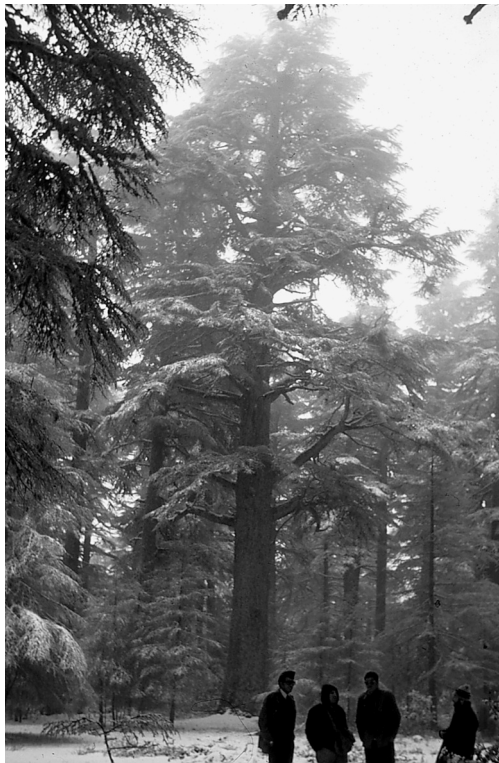


Photo 1 :

Cédraie du Moyen Atlas marocain, sous la neige, près d'Azrou. Le Cèdre Boudy (du nom du fondateur du service forestier marocain, au début du protectorat)

	mg/g de matière sèche (m.s.)						mg/kg de m.s.			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu
Pousses longues	14,4	1,35	6,6	5,2	1,5	1,2	460	18	12,4	4
fourchette	1,45-1,65	0,09-0,13	0,50-0,70	0,45-0,60	0,11 -0,22	0,12-0,13	300 -2600	18-29	12 -24	3 - 5
écart-type	0,086	0,027	0,105	0,041	0,046	0,009	1068	5,52	5,37	0,84
Rosettes	12,8	1,22	7,6	9,3	1,6	1,1	620	25	20,8	4
fourchette	1,45 - 1,85	0,08 - 0,12	0,40 - 0,75	0,70 - 0,90	0,09 - 0,16	0,12 - 0,13	50 - 340	25 - 38	17 - 35	3 - 4
écart-type	0,224	0,024	0,19	0,153	0,040	0,010	1397	9,24	7,83	1,09
Degré de signification	NS	NS	NS	0,001	NS	NS	NS	NS	0,001	NS

Tab. I (ci-dessus) :
Composition des aiguilles de pousse longue et des rosettes de jeunes cèdres de cinq plantations vigoureuses. Ecarts-types et degré de signification des différences pousses-longues / rosettes.

	mg/g de m.s.					mg/kg de m.s. Mn
	N	P	K	Ca	Mg	
Semis vigoureux sur calcaire dolomite ou quartzite (fourchette)	13-14	2,0-2,1	4,2-5,4	3,3-6,0	3,4-3,8	90-510
Semis sains sur basalte Moyen-Atlas (moyenne)	11,2	2,5	4,5	5,2	3,3	-
Semis sains sur schiste Rif (moyenne)	11,5	2,7	6,3	2,1	2,1	195
Synthèse	12-14	2,0-3,0	4,0-5,5	2,0-6,0	2,0-3,0	100-500

Tab. II (ci-contre) :
Composition de semis sains en éléments nutritifs (Lepoutre, 1963)

ments, les valeurs sont, dans les cinq plantations, plus fortes dans les rosettes. Le test sur le manganèse est en outre pénalisé par la forte variation des teneurs en manganèse d'une plantation à l'autre, ce qui est toujours le cas pour cet élément. Il est donc justifié de prélever exclusivement aiguilles des pousses longues ou aiguilles des rosettes si l'on s'intéresse aux quatre éléments ci-dessus.

Peuplements adultes

Les seules références disponibles sont celles fournies par ALAOUI (1990) pour différents peuplements du Moyen Atlas. Parmi ces peuplements, ceux qui sont établis sur terrains éruptifs (basaltes, cendres volcaniques) ont la plus forte productivité : 4 m³/ha/an, 22 à 32 m de hauteur totale vers 70 ans. On peut donc en première approximation retenir leur composition foliaire comme indicative de l'optimum, pour des prélèvements d'automne : N : 13,4 ; P : 1,3 ; K : 7,2 ; Ca : 3,9 et Mg : 2,3 mg/g de m.s. ; Mn : 200 et Fe : 280 mg/kg de m.s.



Ces valeurs sont proches de celles adoptées pour des résineux tempérés tels que l'Epicéa commun par exemple : N : 15 à 16 ; P : 1,5 à 1,7 ; K : 4 à 6 ; Mg : 1,0 à 1,4 mg/g de m.s.

Les valeurs relevées dans le Moyen Atlas sont cependant biaisées par excès, en ce qui concerne le magnésium, par l'existence de peuplements sur dolomie.

Photo 2 :
Périmètre de reboisement de Belvezet, au nord d'Uzès (Gard), en 1971 (12 ans environ)

Quelques cas d'insuffisance d'alimentation minérale

Moyen Atlas

LEPOUTRE (1963) a analysé des semis sains ou maladifs sur diverses roches-mères. Sans que ce soit systématiquement le cas, les semis maladifs ont souvent des teneurs beaucoup plus faibles en potassium et beaucoup plus élevées en magnésium que les semis sains, comme l'indique le tableau III. Cette situation est souvent liée aux forêts sur calcaire, calcaire dolomitique et, plus nettement encore, dolomie.

La même situation se retrouve pour les adultes (ALAOUI, 1990), mais avec un contraste moindre que dans le cas des semis (Cf. Tab. IV). Le taux de magnésium est néanmoins maximum et le taux de potassium minimum sur dolomie, et cela correspond aussi aux productions les plus faibles : 2,9 m³/ha/an, 16 à 24 m de hauteur totale à 50-80 ans. Les différences d'alimentation en eau participent aussi sans aucun doute à ce déficit de production.

Dans le sud de la France

Sur le Petit Luberon, sur lithosol calcaire, NÈGRE et al. (1972) mettent en évidence de nettes carences en azote et potassium. La déficience en potassium s'atténue avec l'âge, tandis que la teneur en calcium augmente (Cf. Tab. V). Mg et P n'ont malheureusement pas été analysés.

Dans la vallée du Rhône et dans le sud du Massif Central (Monts de l'Espinouse) des carences probables en bore ont été détectées. Les symptômes sont variables suivant la gravité de la déficience : si elle est encore limitée, les aiguilles prennent une teinte bleu de Prusse ; si elle s'aggrave, des dessèchements de pousses se produisent et le jeune arbre prend un port en boule. La carence semble s'atténuer lorsque l'âge s'élève (Département de la santé des Forêts, 1995). Dans les Monts de l'Espinouse (forêt des Écrivains combattants), sur des cèdres adultes, on observe, outre le dessèchement des rameaux, la perte quasi-totale des aiguilles de plus de un an. Il ne subsiste qu'un bouquet d'aiguilles terminales vert sombre, charnues. Les analyses ont donné les résultats indiqués au tableau VI. Un cas très typique a été détecté en Haute-Loire, sur gneiss, par le Département de la santé des forêts (LEGRAND, 2001) : les teneurs foliaires descendent au-dessous de 1 mg/kg dans les aiguilles de la pousse annuelle, tandis que la teneur du sol en bore extractible à l'eau bouillante varie de 0,08 à 0,17 mg/kg, donc plutôt nettement inférieures aux seuils de carence avancés dans la littérature (BRADFORD, WILD et LYER, dans STONE, 1968).

Ces carences en bore qui existent sur divers types de substrats : granite (Écrivains combattants), gneiss (Haute-Loire - Legrand,

Photo 3 (en bas, à droite) :
Belvezet : long pivot du Cèdre, sur sous-solage, lui permettant d'être rapidement à l'abri de la sécheresse sur ce sol calcique superficiel. Noter que les plants, élevés en cylindre de plastique, n'ont pas été débarrassés de leur sachet. Probablement une erreur, à moins que cela n'ait favorisé l'allongement du pivot. Noter aussi le développement de longues racines latérales, au-dessus du sachet.

Tab. III :
Composition foliaire de semis sains ou malades sur diverses roches-mères du Moyen Atlas marocain

	N	P	mg/g de m.s.		
			K	Ca	Mg
Semis sains (ensemble de l'étude)	10,9	2,5	5,0	4,2	3,2
Semis maladifs (ensemble de l'étude)	10,7	2,0	2,7	6,6	5,8
Semis sains ou malades sur dolomie	-	-	1,6	11,0	8,9
Semis sains ou malades sur calcaire dolomitique	10,9	2,1	3,5	5,9	4,3
Semis sains ou malades sur calcaire	9,2	1,2	3,5	6,8	2,9
Semis sains ou malades sur basalte	9,5	2,0	5,1	11,0	3,5



	mg/g de m.s.					mg/kg de m.s.	
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe
Sur dolomie (9 peuplements)	11,8 (11,5-13,2)	0,96 (0,9-1,3)	4,2 (3,6-5,0)	4,3 (3,6-10,6)	3,5 (3,0-5,8)	191 (110-260)	299 (290-510)
Sur calcaire dur (2 peuplements)	12,7 (11,8-12,4)	1,24 (1,25-1,30)	5,6 (4,6-5,5)	4,6 (4,2-4,8)	2,3 (1,8-2,4)	650 (480-820)	315 (210-420)
Sur grès (5 peuplements)	11,6 (11,0-11,2)	1,27 (1,20-1,30)	5,9 (5,4-6,5)	4,5 (4,2-4,8)	1,6 (1,0-1,8)	723 (360-710)	323 (95-225)
Sur roche éruptive (5 peuplements)	13,4 (12,4-14,5)	1,32 (1,15-1,45)	7,2 (6,4-8,0)	3,9 (3,2-5,2)	2,3 (2,2-2,6)	201 (110-270)	183 (220-350)

Tab. IV (ci-contre) :
Composition foliaire de
peuplements adultes du
Moyen Atlas dans
diverses conditions
de roche-mère
(Alaoui, 1990)

note DSF), basalte (St-Geniès et St Laurent), atteignent des plantations sur d'anciennes terres cultivées et leur déclenchement est probablement, dans certains cas, en rapport avec un tassement des horizons supérieurs du sol qui entraîne des difficultés d'alimentation en eau. Ces difficultés pourraient éventuellement être surmontées progressivement, au fur et à mesure que les racines parviennent à traverser l'horizon tassé et à pénétrer en profondeur. Cependant le cas des cèdres de Langeac semble lié à une insuffisance en teneur du sol en bore biodisponible.

Le fait que des carences en bore n'aient jamais été signalées sur d'autres essences porte à penser que le Cèdre est peu apte à assimiler le bore du sol.

Dans le sud de l'Aude, sur des sols podziques portant des landes à *Calluna vulgaris*, *Erica cinerea* et *Cistus crispus*, sur grès du tertiaire, de graves difficultés de reprise et de croissance ont été constatées dans de jeunes plantations.

Le sol est très pauvre comme le montre le tableau VII.

Tab. V :
Teneurs en N, K, Ca, Fe
de cèdres de divers âges
sur lithosol calcaire du
Petit Luberon

	mg/g de m.s.			mg/kg de m.s.
	N	K	Ca	Fe
10 ans	10,5	2,45	8,1	170
20 ans	10,4	2,70	10,6	180
35 ans	10,4	3,10	20,7	180
100 ans	10,8	4,50	22,1	190

	mg/g de m.s.						mg/kg de m.s.			
	N	P	S	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Cu	B
St Laurent-du-Pape, carencés	14,0	1,8	1,9	9,8	4,0	0,8	780	19	3,7	1,0
St Geniès-en-Coiron, carencés	13,4	1,9	1,5	6,5	6,4	2,1	114	19	5,0	4,3
St Geniès-en-Coiron, sains	14,0	1,7	1,6	8,1	4,0	1,4	105	19	3,7	16,0
Forêt des Ecrivains combattants, carencés	9,4	0,8	-	5,6	2,0	1,1	500	11	3,7	1,0
Forêt des Ecrivains Combattants, sains	11,8	1,3	-	6,6	8,6	2,5	1600	31	4,0	6,0
Langeac, carencés	16,7	1,29	-	6,4	6,9	1,25	-	-	-	<1
Langeac, sains	16,8	1,35	-	8,8	5,6	1,35	-	-	-	1 à 2,6

Tab. VI :
Composition foliaire de divers peuplements de Cèdre du sud de la France : St Laurent-du-Pape (Ardèche), St Geniès-en-Coiron (Ardèche), Ecrivains combattants (Hérault), Langeac (Haute-Loire)

	C/N	pH	P ₂ O ₅ Duchaufour g/kg	Ca éch cmol ⁺ /kg	K éch cmol ⁺ /kg	Mg éch cmol ⁺ /kg
A	21	4,7	0,06	3,5	0,31	0,89
E	22	5,4	0,03	0,7	0,9	0,21
Bs	22	5,4	0,03	0,7	0,09	0,21

éch. : échangeable, C/N : carbone organique/azote total (organique en presque totalité), A, E, Bs : horizons du sol, organo-minéral (A), éluvial (E), spodique(Bs).

Tab. VII (ci-dessus) : Caractéristiques chimiques des sols sur grès tertiaire de l'Aude	Les analyses foliaires ont clairement montré qu'il s'agissait de carences en azote et en phosphore, avec parfois une insuffisance notoire en potassium (COUHERT et BONNEAU, non publié) (Cf. Tab. VII et VIII). Même chez les cèdres bienvenants, l'alimentation en phosphore n'est d'ailleurs pas optimale. En outre, la comparaison entre Pin laricio de Corse et Cèdre montre que ce dernier accumule le calcium bien plus que le premier.
	Plusieurs essais de fertilisation menés en commun par l'Office national des forêts (O.N.F.) et l'Institut national de la recherche agronomique (I.N.R.A.) ont démontré que l'alimentation minérale et la croissance pouvaient être nettement améliorées par une fertilisation complète ou même simplement par des apports d'azote et de phosphore effectués en surface autour des plants.
Tab. VIII (ci-dessous) : Teneur des premières rosettes adultes, prélevées à l'automne, de cèdres, chlorosés ou normaux, dans diverses plantations de l'Aude. Comparaison avec les aiguilles de l'année de Pin laricio de Corse.	Les doses appliquées ont été les suivantes : Azote : 11 g /plant - phosphate d'ammonium ; Phosphore : 38 g /plant - phosphate d'ammonium ; Potassium : 25 g /plant - sulfate de potassium ; Calcium : 58 g /plant - dolomie broyée ; Magnésium : 25 g /plant - dolomie broyée.

		mg/g de m.s.				
		N	P	K	Ca	Mg
Soulatge	Pins laricio bienvenants.....	16,5	1,09	4,7	2,6	0,9
	Cèdres bienvenants.....	17,0	0,99	4,3	8,2	0,9
	Cèdres chlorotiques.....	15,2	0,53	3,8	8,4	0,9
Rouffiac	Cèdres bienvenants.....	14,3	0,75	7,4	9,3	1,1
	Cèdres chlorotiques.....	10,2	0,44	4,4	11,9	1,7
Ferrals	Cèdres bienvenants.....	18,5	0,57	6,3	7,2	1,3
	Cèdres chlorotiques.....	7,1	0,81	4,9	11,4	1,9

Il faut noter cependant que la nutrition azotée se dégrade de nouveau rapidement, sans pour autant que l'effet accélérateur remarquable de la fertilisation sur la croissance cesse. Il est encore net plusieurs années après l'épandage d'engrais.

Le tableau IX donne les accroissements annuels de hauteur et la composition foliaire de plants fertilisés ou non.

Même après fertilisation, les teneurs des aiguilles en azote dans les deux traitements et en phosphore dans le traitement NPKCaMg restent faibles. Une mauvaise mycorhization pourrait être à l'origine de ces carences car, dans les mêmes stations, le Pin laricio de Corse et le Sapin de Nordmann se comportent de manière tout à fait normale. Rappelons que Lepoutre, dans son étude de la cédraie marocaine, avait également fait la même hypothèse pour expliquer l'insuffisance de la régénération naturelle de certains peuplements. Il faut aussi indiquer à ce sujet que des travaux intéressants ont été réalisés en France, sur ce thème, au Centre I.N.R.A. de Clermont-Ferrand et à Montpellier qui montrent que la Truffe blanche (*Tuber albidum*) peut s'associer au Cèdre (CHEVALIER, 1985 ; CHEVALIER et FROCHOT, 1997 ; MOUSAIN et ARGILLIER, in LE TACON et al., 1997).

Conclusion

Le Cèdre de l'Atlas ne se distingue pas très nettement des résineux tempérés tels que l'Epicéa commun, le Pin sylvestre ou le Douglas. L'optimum de composition foliaire, vers dix ans, est à peu près de : N : 13 à 14 ; P : 1,2 à 1,3 ; K : 7,0 à 7,5 ; Ca : environ 9 ; Mg : 1,5 à 1,6 mg/g de m.s. ; Mn : de 300 à 600 ; Fe : 100 à 200 ; Zn : 20 à 25 ; Cu : 4 à 5 ; B : 16 à 20 mg/kg de m.s.

Mais il apparaît comme plus sensible à la carence en bore.

Les valeurs ci-dessus dénotent des exigences un peu moindres en azote et en phosphore, et un peu plus fortes en calcium et magnésium que les autres conifères cités ci-dessus. Il est cependant impossible de dire si sa teneur élevée en calcium reflète une exigence, une tolérance ou une inaptitude à limiter son absorption. On peut rappeler à ce sujet que LÉPOUTRE (1963) avait montré que les sols riches en calcium étaient ceux où le Cèdre se régénérerait le plus abondamment, la régénération étant suffisante à partir de

	Pousses 1995 (cm)	mg/g de m.s.					mg/kg de m.s.	
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Témoins	6,4	1,00	0,56	4,8	16,2	1,85	477	22
Fertilisés NP	20,6	9,4	1,28	4,9	10,5	1,58	336	17
Fertilisés NPKCaMg	22,7	7,4	1,08	6,3	9,8	1,72	313	19

Tab. IX :
Essai de fertilisation de Cubières-sur-Cinoble (Aude). Accroissement annuel en hauteur de jeunes cèdres non fertilisés ou fertilisés l'année précédente. Composition foliaire correspondante.



Photo 4 (à gauche) :
Essai de fertilisation de Cubières-sur-Cinoble (Aude). Jeune cèdre témoin, âgé d'une douzaine d'années.

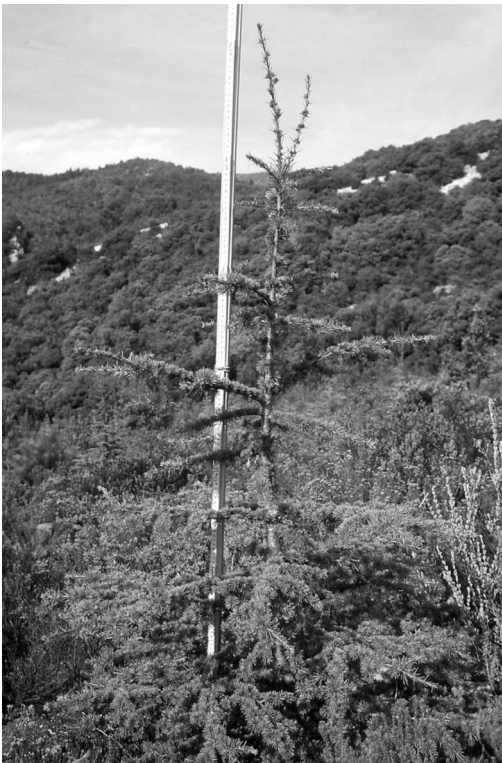


Photo 5 (à droite) :
Essai de fertilisation de Cubières. Jeune cèdre fertilisé NP. La fertilisation a été appliquée en rattrapage, après quelques années de plantation. La flèche du témoin se situerait approximativement au niveau de la partie supérieure de la tache de bruyère.

10 cmol/kg de calcium échangeable dans les horizons minéraux. Cependant les résultats d'ALAOUI (1990) sur adultes ne confirment pas ce caractère accumulateur du calcium, qui serait donc plutôt une caractéristique juvénile, que nous avons également observée dans des plantations du sud de la France, sur des sols acides.

Si des connaissances relativement convenables sur les exigences minérales du Cèdre existent actuellement, certains points res-

tent mal connus. Il y a place encore à des travaux de recherche sur ce sujet, notamment concernant ses exigences réelles en calcium, le niveau souhaitable de nombreux oligoéléments qui n'est pour le moment que très grossièrement approché, de même que la toxicité possible de métaux lourds.

M.B.

Maurice BONNEAU
Ingénieur général
honoraire du GREF
Directeur
de recherche
honoraire
de l'Institut national
de recherche
agronomique
I.N.R.A.,
14 rue Girardet
54000 Nancy

Bibliographie

ALAOUI A. Moulay Youssef, 1990 - Contribution à l'étude du fonctionnement d'un écosystème forestier méditerranéen. Application à la phytosociologie et à la productivité du Cèdre (*Cedrus atlantica*) dans les forêts du Moyen Atlas. Introduction à la nutrition minérale de l'espèce en fonction des facteurs stationnels. *Thèse de Doctorat en Sciences naturelles*. Université de Nancy I - 293 pages.

ChÉVALIER (G.), 1985 - La mycorhization contrôlée en pépinière forestière. Possibilités d'application en conteneurs. *Revue forestière française*, vol. XXXVII, n° 2, pp. 93-106.

ChÉVALIER (G.), FROCHOT (H.), 1997 - La maîtrise de la culture de la truffe. *Revue forestière française*, vol. XLIX, n° spécial, pp. 201-213.

Département de la Santé des Forêts. Échelon technique interrégional Sud-Est, 1995 - Le dessèchement des pousses de Cèdre en Ardèche. *Information technique* n° 25. 4 pages.

LEGRAND (Ph), 2001 - Un cas de carence en bore sur Cèdre en Haute-Loire (soumis pour publication).

LEPOUTRE (B.), 1963 - Recherches sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. *Annales de la Recherche forestière au Maroc*, tome 6, (rapport 1957-1961), fascicule 2, 1-211.

LE TACON (F.), MOUSAIN (D.), GARBAYE (J.), BOUCHARD (J.), CHURIN (J.L.), ARGILLIER (Ch.), AMIRAULT (J.M.), GÉNERÉ (B.), 1997 - Mycorhizes, pépinières et plantations forestières en France. *Revue forestière française*, vol. XLIX, n° spécial, pp.131- 154.

NEGRE (R.), GHIGLIONE (C.), PUGNET (M.), BATOLLE (R.), 1972 - Évolution de quelques constituants minéraux des feuilles et des litières de Cèdre du Petit Luberon. *Comptes rendus à l'Académie des Sciences*, Paris, tome 274 (24 avril 1972), série D, 2455-2458.

Résumé

Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) a une composition foliaire optimale très voisine de celle des résineux courants à petites aiguilles (Épicéa commun, Sapin pectiné, Pin sylvestre, Douglas) : N : 13 à 14 mg/g ; P : 1,2 à 1,3 ; K : 7,0 à 7,5 ; Ca : environ 9 ; Mg : 1,5 à 1,6 ; Mn : 300 à 600 mg/kg ; Fe : 100 à 200 ; Zn : 20 à 25 ; Cu : 4 à 5 ; B : 16 à 20. En France des carences en azote et en phosphore ont été observées sur grès tertiaires dans l'Aude. De graves carences en bore existent sur basalte dans le sillon rhodanien (Coirons), sur micaschistes dans la forêt des Écrivains combattants (Hérault), et sur gneiss à biotite en Haute-Loire. Des carences en cet élément n'ayant jamais été signalées sur d'autres espèces forestières, on peut supposer que le Cèdre est plus exigeant qu'elles en bore biodisponible du sol.

Summary

Minerals taken up by the Atlas cedar

Atlas cedar (*Cedrus atlantica*) optimum needle composition is not very different from that of other short needle coniferous species (such as Norway spruce, Silver fir, Scots pine, Douglas fir) : N : 13 to 14 mg/g ; P : 1.2 to 1.3 ; K : 7.0 to 7.5 ; Ca : about 9 ; Mg : 1.5 to 1.6 ; Mn : 300 to 600 mg/kg ; Fe : 100 to 200 ; Zn : 20 to 25 ; Cu : 4 to 5 ; B : 16 to 20. In France, severe deficiencies in nitrogen and phosphorus are known on tertiary sandstones in the Aude department. Very severe boron deficiencies were detected on basaltic rocks near the Rhône valley (Coirons), on mica-schistes in the «Écrivains combattants» forest (Hérault) and on biotit gneiss in Haute-Loire department. As similar deficiencies were never detected in other forest species, it seems likely that Cedar is less able than other species to take up bioavailable boron from the soil.

Riassunto

Alimentazione minerale del Cedro dell'Atlante

Il cedro dell'Atlante (*Cedrus atlantica*) a una composizione fogliare ottimale molto vicina di quella dei resinosi correnti a piccoli aghi (Abete rosso commune, Abete bianco, Pino silvestre, Douglas) : N : 13 a 14 mg/g ; P : 1,2 a 1,3 ; K : 7,0 a 7,5 ; Ca : environ 9 ; Mg : 1,5 a 1,6 ; Mn : 300 a 600 mg/kg ; Fe : 100 a 200 ; Zn : 20 a 25 ; Cu : 4 a 5 ; B : 16 a 20. In Francia carenze in azoto e in fosforo sono stati osservati su arenarie terziari dell'Aude. Gravi carenze in boro esistono su basalto nel solco del Rodano (Coirons), su micaschisti nella foresta degli Ecrivains combattants (Hérault), e su gneiss a biotite in Alta Loira. Carenze in questo elemento non essendo stato mai segnalate su altre specie forestali, si può supporre che il Cedro è più esigente di esse in boro biodisponibile del suolo.