



HAL
open science

Le diagnostic foliaire

Maurice Bonneau

► **To cite this version:**

Maurice Bonneau. Le diagnostic foliaire. Revue forestière française, 1988, 40 (Spécial), pp.19-28.
10.4267/2042/25930 . hal-03424707

HAL Id: hal-03424707

<https://hal.science/hal-03424707>

Submitted on 10 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.

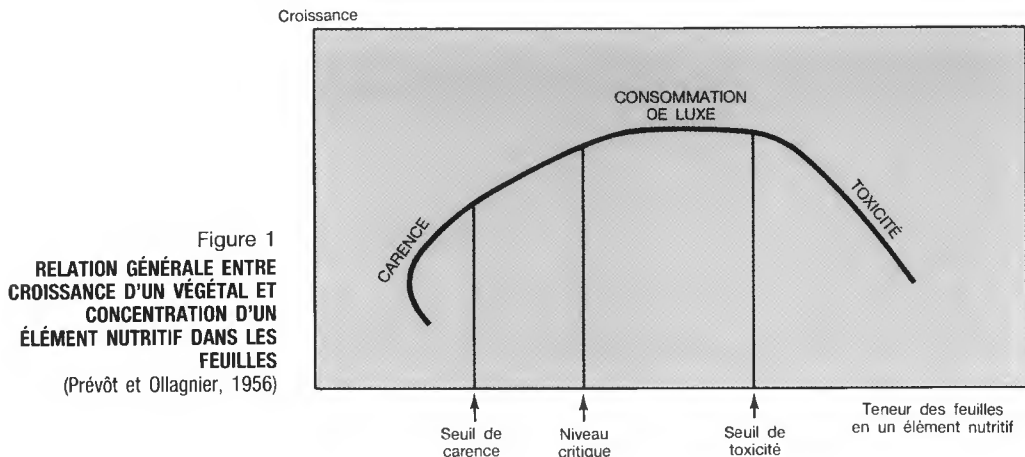
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE DIAGNOSTIC FOLIAIRE

M. BONNEAU

Le diagnostic foliaire, pratiqué à partir de l'analyse foliaire (dosage des éléments, en général totaux, d'un échantillon de feuilles) est un bon moyen de savoir si l'alimentation minérale d'un peuplement est satisfaisante.

Il repose sur l'existence d'une relation assez précise entre la concentration (ou taux, ou teneur) d'un élément donné dans la feuille et la croissance. L'allure de cette représentation a été précisée par Prévôt et Ollagnier (1956) et est illustrée par la figure 1.



La croissance maximale correspond à une valeur plus ou moins précisément déterminée, la « **teneur optimale** ». Le « **niveau critique** » est celui au-dessous duquel la croissance est nettement déprimée (en principe moins de 90 % de la croissance maximale), c'est-à-dire au-dessous duquel la correction de la malnutrition apportera un gain technique (pas forcément économique)

significatif. Au-dessous du « **seuil de carence** » le végétal manifeste, outre une réduction importante de croissance, des symptômes visibles, les « **symptômes de carence** » (coloration anormale du feuillage, déformations, nécroses, dessèchement de rameaux, etc...).

Cependant, pour être fiable, le diagnostic foliaire exige un prélèvement correct de l'échantillon à analyser, afin de minimiser l'effet de différents facteurs, autres que la richesse du sol, agissant sur la composition foliaire. L'interprétation de l'analyse pose ensuite quelques problèmes qui seront évoqués brièvement.

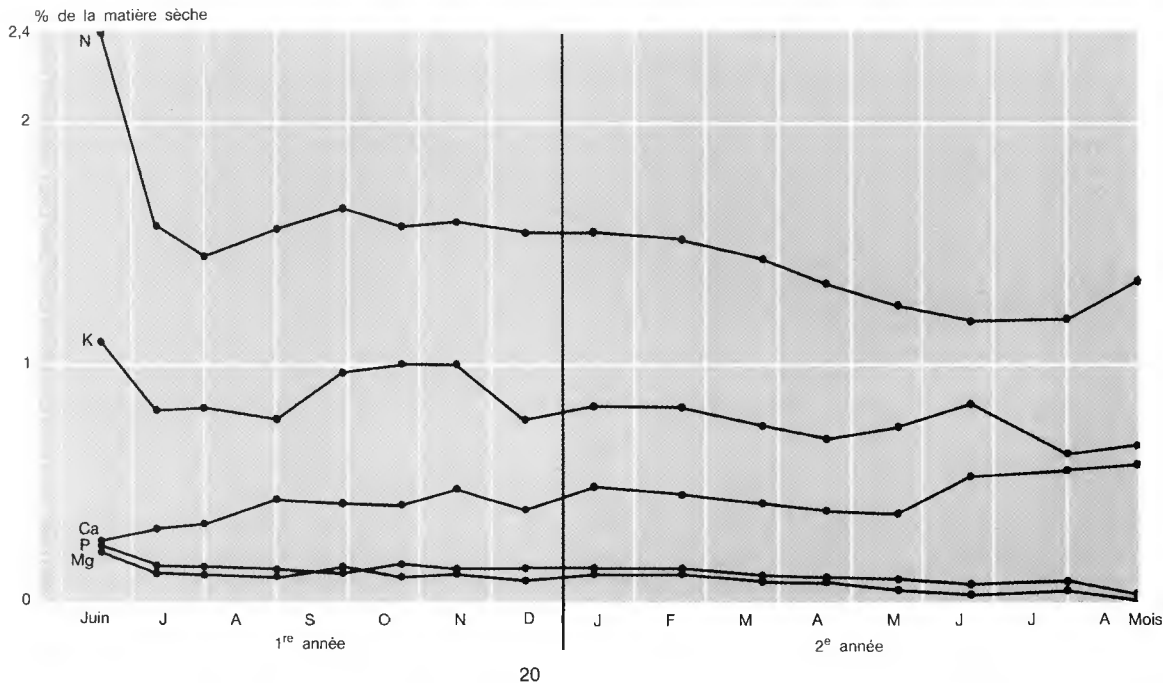
Enfin il est nécessaire de préciser que le diagnostic foliaire est propre à détecter, tout aussi bien que les insuffisances d'alimentation minérale en éléments biogènes, l'excès d'éléments divers, biogènes ou non, susceptibles de devenir toxiques au-delà d'une certaine teneur.

FACTEURS DE VARIATION DE LA COMPOSITION FOLIAIRE

L'époque de l'année

Très élevée au moment du débourrement dans les nouvelles feuilles ou aiguilles de l'année, la concentration en éléments baisse ensuite rapidement au fur et à mesure que la masse foliaire se développe, remonte ensuite légèrement, pour diminuer ensuite avant l'abscission en fin d'été (feuillages caduques) ou au cours de l'hiver (essences à feuillage permanent), lorsque les éléments migrent dans les bourgeons qui vont donner naissance aux nouvelles pousses (figures 2 et 3).

Pour que le résultat de l'analyse ne soit pas influencé gravement par la date de prélèvement, il faut choisir une période de relative stabilité de la composition des feuilles : sous nos climats, mi-octobre à mi-novembre pour les essences à feuillage pérenne ; 10 au 31 août pour les essences à feuilles caduques.



Âge des feuilles

Chez les espèces à feuillage permanent, les teneurs en éléments se modifient généralement d'année en année, plus ou moins selon l'élément : baisse assez notable du potassium et du magnésium, moindre de l'azote et du phosphore, augmentation du calcium et du manganèse. Il est convenu, pour les diagnostics habituels, de se référer aux feuilles ou aiguilles de première année. Cependant une forte diminution de concentration (ou une trop faible augmentation pour Ca et Mn) entre première et deuxième année peut être indicatrice de difficultés d'alimentation ; dans des études approfondies, il peut donc être utile d'analyser plusieurs années de feuillage, par exemple première, deuxième et quatrième année.

Variation intra-peuplement

À l'intérieur d'une même station et d'un même peuplement, la composition des feuilles varie d'arbre à arbre en raison du statut social, des variations génétiques, des microvariations de fertilité du sol. Pour minimiser l'effet de ces variations, il est nécessaire de faire porter les prélèvements sur au moins dix arbres (les feuilles seront mélangées pour constituer un échantillon moyen à soumettre à l'analyse), dominants ou co-dominants dans le cas d'un peuplement fermé, moyens dans le cas d'un peuplement jeune encore ouvert.

Variation avec la position de la feuille dans l'arbre

La composition des tissus foliaires varie suivant le niveau, dans la cime, du verticille auquel appartiennent les feuilles prélevées. Les verticilles proches de la cime ont généralement des feuilles plus riches en azote, phosphore et potassium que les verticilles situés plus bas. Il en est généralement de même pour le magnésium. Pour le calcium, les variations ne sont pas systématiques.

Sur une même branche, pour des essences comme le Mélèze ou le Cèdre, il existe aussi des différences entre les aiguilles directement insérées sur le rameau long de l'année et les aiguilles

Figure 2

VARIATION, AU COURS DES DEUX PREMIÈRES ANNÉES DE VIE DES AIGUILLES D'ÉPICÉA, DE LEUR COMPOSITION FOLIAIRE (EN % DE LA MATIÈRE SÈCHE)
(Hoehne, 1964)

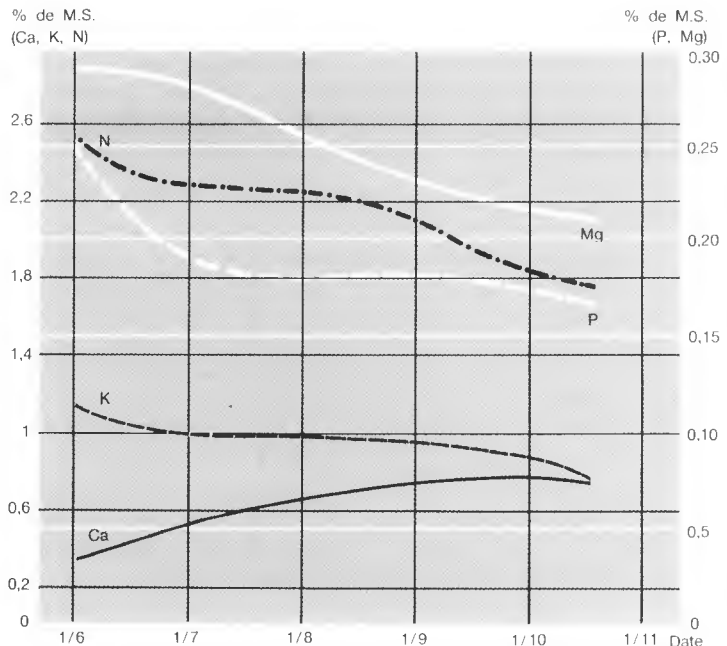


Figure 3

VARIATION DE LA COMPOSITION DES FEUILLES DE CHÊNE SESSILE AU COURS DE L'ANNÉE (EN % DE LA MATIÈRE SÈCHE)
(Leroy, 1968)

en bouquets des rameaux courts développés sur les pousses antérieures. Il en est de même, pour le Chêne par exemple, entre les feuilles de la pousse d'été et celles de la pousse de printemps.

Le tableau I illustre, pour le Mélèze, ces variations liées au niveau dans l'arbre et à la position sur la branche.

Tableau I Variation de la composition des aiguilles de Mélèze en fonction de leur position sur les rameaux et du niveau de la branche dans la cime d'après Hoehne, 1976 (en % de la matière sèche)

	2 ^e verticille	9 ^e verticille
Aiguilles des pousses courtes		
N	2,10	1,60
P	0,20	0,14
K	1,13	0,84
Aiguilles des pousses longues		
N	1,92	1,54
P	0,43	0,14
K	1,80	0,82
Ca	0,57	0,28
Mg	0,25	0,13

Le prélèvement doit porter, chez les résineux adultes, sur le 5^e, 6^e ou 7^e verticille à partir de la cime ; chez les résineux jeunes sur le 1^{er}, 2^e ou 3^e ; chez les feuillus, sur des branches du tiers supérieur de la cime. Pour le Mélèze et le Cèdre, il n'y a pas de règle établie pour choisir entre aiguilles des rameaux longs et aiguilles des rameaux courts. Il semblerait logique, étant donné le développement plus tardif des aiguilles des rameaux longs, et pour que le prélèvement soit homologue de celui effectué sur les autres résineux, de choisir les aiguilles des rameaux courts insérés sur le rameau long de l'année précédente. Pour le Chêne, ainsi que pour le Peuplier, il vaut mieux choisir les feuilles de la pousse d'été si elles sont bien développées car c'est à elle que se sont référés plusieurs auteurs. Chez l'Épicéa, il faut éviter de choisir les aiguilles des pousses d'août, si elles existent, car elles ont une composition légèrement différente de celles développées au printemps (Lévy et Strullu, 1979).

Variation avec l'année

Les différences de conditions climatiques d'une année à l'autre entraînent des variations dans la possibilité qu'ont les arbres de tirer parti des réserves d'éléments nutritifs du sol, en raison de la plus ou moins rapide minéralisation de la matière organique, des modifications de l'activité racinaire ou mycorhizienne, de la biomasse foliaire produite, du flux transpiratoire, etc... Toutes ces variations provoquent des fluctuations interannuelles assez considérables des teneurs des feuilles en bioéléments. Par exemple Evers (1972) relève, sur une période de 7 ans, les fourchettes suivantes de composition des aiguilles d'un jeune peuplement d'Épicéa :

N : 0,99 - 1,88 % K : 0,59 - 0,74 %
P : 0,111 - 0,116 % Ca : 0,33 - 0,60 %

Aucune technique de prélèvement ne peut malheureusement pallier ce très sérieux inconvénient qui ne pourrait être surmonté qu'en effectuant plusieurs diagnostics pendant plusieurs années consécutives ou en disposant, grâce à des services techniques suffisamment étoffés, de peuplements régionaux de référence analysés chaque année et dont les caractéristiques permet-

Le diagnostic foliaire

traient de mieux juger des diagnostics effectués dans les mêmes régions. Faute de disposer de ces références il faut bien admettre que les diagnostics effectués en année « favorable » sous-estiment les insuffisances nutritives et que ceux réalisés en année « défavorable » les surestiment. Encore ne sait-on pas clairement ce qu'est une année « favorable » ; pis encore, suivant l'année, le diagnostic risque de mettre l'accent sur des éléments différents. Ceci conduit à dire qu'on ne peut accorder un crédit total à l'analyse foliaire que pour les insuffisances très caractérisées.

En résumé, on trouvera ci-dessous un rappel des principales directives de prélèvement :

Essences à feuillage persistant	Toutes essences	Essences à feuillage caduc
<p>5^e au 7^e verticille pour les résineux adultes. 2^e au 3^e verticille pour un résineux de quelques années.</p> <p>15 octobre au 15 novembre.</p>	<p>10 arbres au moins par station, les feuilles seront mélangées pour fournir un échantillon moyen :</p> <ul style="list-style-type: none"> — dominants (peuplement fermé) ; — moyens (peuplement avant fermeture). <p>Feuilles de l'année (sauf cas particuliers).</p>	<p>Tiers supérieur de la cime.</p> <p>10 au 31 août.</p>

Si l'on cherche à s'éclairer sur les causes d'une mauvaise croissance, le diagnostic est facilité par la comparaison des analyses d'arbres bien-venants et d'arbres mal-venants, aussi proches que possible les uns des autres. Lorsqu'un peuplement présente, dans certaines parties, des symptômes visibles de carence, il est même recommandable de comparer trois catégories d'arbres :

- arbres d'une zone du peuplement où n'existent pas les symptômes (arbres non carencés) ;
- arbres sans symptômes d'une zone où certains arbres présentent des signes de carence (arbres à nutrition probablement insuffisante mais peu sensibles à la carence) ;
- arbres avec symptômes (à nutrition faible et sensibles à la carence).

Précautions à observer pour la conservation et l'envoi des échantillons : les sacs contenant les échantillons (polyéthylène de préférence, ou papier kraft si les échantillons ont été un peu séchés à l'avance) doivent être neufs et n'avoir rien contenu auparavant : il ne faut qu'une pollution minime pour fausser totalement l'analyse. Un séchage limité à l'air libre en atmosphère propre, ou en étuve à 40 ou 50°, est utile avant l'envoi pour éviter la fermentation des échantillons et même indispensable pour tout autre matériel que les aiguilles résistantes (Épicéa, Pin, Douglas...). Pour les feuillus, on détachera au préalable les feuilles du rameau. Par contre il est souvent difficile de détacher les aiguilles fraîches des résineux et l'échantillon sera alors constitué de rameaux. Mais il faut faire attention de n'expédier que les rameaux qui conviennent : si on mélange des rameaux de plusieurs années, les aiguilles tombent en cours de route et on ne peut plus analyser que des mélanges d'aiguilles d'âges ou de catégories différentes. Le laboratoire d'analyse doit pouvoir disposer de 5 à 10 g de feuilles sèches, c'est-à-dire 15 à 30 g de feuilles fraîches.

INTERPRÉTATION DES ANALYSES

La gamme des éléments dont les teneurs doivent être déterminées dépend du problème posé. On dosera toujours, en général, les éléments majeurs : azote, phosphore, potassium, magnésium, calcium. Il est opportun d'ajouter la détermination de quelques oligo-éléments peu coûteux : manganèse, cuivre, zinc. Le coût actuel d'une telle analyse est de l'ordre de 200 F TTC par échantillon. Elle peut être effectuée par le laboratoire d'analyses végétales de l'INRA à Bordeaux mais il est préférable de faire transiter les échantillons, avec exposé du problème, par le laboratoire « Sols forestiers et Nutrition » du Centre de Recherches forestières de Nancy qui pourra donner un conseil sur l'analyse à effectuer et renvoyer les résultats accompagnés d'un diagnostic.

D'autres éléments tels que soufre, plomb, bore, chlore sont plus coûteux à analyser et on n'en fera la détermination que s'il y a des raisons de penser qu'ils sont en cause ou si celle des éléments plus courants n'a pas fourni de réponse satisfaisante.

L'interprétation consiste essentiellement à comparer les valeurs fournies par l'analyse, pour chaque élément, aux valeurs-repères de la courbe de Prévôt et Ollagnier, teneur optimale, niveau critique, seuil de carence, dans la mesure où l'on connaît ces valeurs pour chaque essence et pour chaque élément, ce qui, hélas, n'est pas le cas. On peut cependant classer les essences forestières les plus courantes en grands groupes et donner pour chacun d'eux une approche suffisante de ces valeurs, pour les éléments les plus importants (tableau II).

Dans ce tableau, les valeurs les plus basses des fourchettes indiquées s'appliquent plutôt à des arbres adultes, les plus élevées à des arbres jeunes (au-dessous de 15 ans).

Cependant la comparaison des résultats analytiques à ces valeurs de référence ne suffit pas toujours. Le diagnostic se trouve souvent éclairé ou précisé par la considération des équilibres entre certains éléments, par exemple :

- N/P doit être de l'ordre de 10 à 15 ;

Tableau II

Normes de composition foliaire

	N (%)			P (%)			K (%)		
	Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale	Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale	Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale
1	0,8 à 1	1 à 1,2	1,2 à 1,5	0,10 à 0,15	0,08 à 0,1	0,12 à 0,15	0,2 à 0,3	0,3 à 0,4	0,5
2	1 à 1,3	1,3 à 1,5	1,5 à 1,9		0,15	0,19 à 0,25	0,3 à 0,4	0,4 à 0,5	0,6 à 0,8
3			2 à 2,3			0,22 à 0,30			0,7 à 0,8
4		1,5 à 2	2 à 2,5			0,15 à 0,20			0,8 à 1,3
5	1,5 à 2	2 à 2,5	2,5 à 3			0,25 à 0,30			1,5 à 2
	Fe (ppm)			Mn (ppm)			Cu (ppm)		
1				20		> 50	2,5 à 4	3 à 5	4 à 10
2	40				> 50				
3									
4	40		90		> 100				
5	40		90		> 100				

Le diagnostic foliaire

— N/Mg doit être inférieur à 17,5 sinon la teneur en magnésium est insuffisante (Altherr et Evers, 1975) ;

— K/Ca doit être inférieur à 1,3 pour le Sapin pectiné (Rehfuess, 1968) ;

— S/N doit être très voisin de 0,069 : une valeur supérieure traduit une offre d'azote insuffisante ; une valeur égale à 0,069 associée à une déficience d'azote indique une offre trop limitée en soufre ;

En ce qui concerne la toxicité d'éléments, nous citerons simplement quelques seuils de toxicité correspondant aux situations les plus courantes :

— soufre : 0,15 % (intoxication par SO₂) ;

— chlore : 0,35 à 0,40 % pour l'Épicéa, 1 % pour le Tilleul ou le Marronnier (intoxication par du sel de déneigement) ;

— sodium : 0,02 % pour l'Épicéa (sel de déneigement).

SYMPTÔMES DE CARENCE

On trouvera ci-dessous, de manière très résumée, les principaux symptômes de carence. Il peut être utile aux praticiens de les connaître mais il est rare qu'ils soient suffisamment spécifiques pour fournir à eux seuls un diagnostic valable et on ne pourra s'y fier réellement que si la carence est déjà bien identifiée par analyse dans des stations identiques.

Azote, soufre, fer, manganèse

Couleur vert-jaunâtre de l'ensemble du feuillage, y compris les aiguilles de l'année chez les résineux.

Ca (%)			Mg (%)			S (%)			
Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale	Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale	Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale	
0,05 à 0,1		0,10 à 0,12	0,06		0,10 à 0,14	0,13		0,12 à 0,18	1
		0,3 à 0,5			0,1 à 0,3			2	
		0,6			0,2			3	
		0,5 à 0,8			0,1			4	
		0,6 à 1			0,17 à 0,20			0,35	5
Zn (ppm)			B (ppm)						
5 5 à 10		> 8	3 à 8	8 à 10	10 à 20	1 : Résineux à grandes aiguilles : P. maritime, P. noir, P. Lariois. 2 : Résineux à petites aiguilles : Épicéa, Sapin, P. sylvestre, Ouglas (sauf pour P). 3 : Mélèze. 4 : Feuillus peu exigeants : Hêtre, Chêne, Peuplier Trichocarpa (Douglas pour P). 5 : Feuillus exigeants : Peuplier, Frêne, Noyer, Aulne...			
		> 20			15 à 30				
19		10 à 30			30 à 70				

Phosphore

Feuillage sombre, terne ; en cas de forte carence, les aiguilles des résineux ou le limbe entre les nervures chez les feuillus prennent une couleur rouge-violet.

Potassium

— résineux : jaunissement du bout des aiguilles, soit des pousses de 2 ans, soit des pousses de l'année suivant les espèces.

— feuillus : jaunissement, puis dessèchement des bords du limbe.

Magnésium

— résineux : jaunissement de l'extrémité des aiguilles de 2 ans et plus, avec transition brutale entre la partie jaune et la partie verte de l'aiguille.

— feuillus : jaunissement du limbe entre les nervures.

Cuivre

— Douglas : déformation de la pousse terminale qui devient sinueuse et même se courbe à l'horizontale. Dans les cas de carence accentuée, l'arbre reste buissonnant et ne s'élève pas.

Il ne faut pas oublier également que la petitesse des feuilles, une faible masse foliaire, constituent des symptômes importants de malnutrition.

QUELQUES EXEMPLES DE LA VALIDITÉ ET DES DIFFICULTÉS DU DIAGNOSTIC FOLIAIRE

Quelques résultats d'analyses foliaires ont été rapportés au tableau III.

Les exemples 1 et 2 se rapportent à des essais de fertilisation et montrent une excellente concordance entre les insuffisances de nutrition décelables sur les témoins non fertilisés et les gains apportés par la fertilisation : forte carence en azote à Arzenc-de-Randon et effet du traitement N + Ca (Ca favorise la production d'azote minéral et renforce donc l'effet de l'apport de N) ; nette carence en P, faible alimentation en K et Ca à Razès et effet très important du traitement PK Ca.

Les cas 3 et 4 montrent bien le parallèle entre le jaunissement des aiguilles des épicéas adultes dans les Vosges et des sapins de la région de Luchon et les très fortes carences en Mg et K, respectivement.

Les exemples 5 et 6, tirés aussi d'essais de fertilisation, mettent au contraire en lumière certaines discordances entre les analyses foliaires et les résultats de la fertilisation. A Blois, si la carence en P est très nette, et l'effet d'une fertilisation phosphatée également très clair, on est surpris, malgré la faible teneur en K du témoin et plus encore des semis du traitement P, de voir que le traitement N P K Ca, qui relève nettement la nutrition potassique en même temps que phosphatée et azotée, n'apporte aucun gain de croissance (et même une légère perte) par rapport au traitement « P seul ». Faut-il reconsidérer l'optimum de composition potassique du Chêne sessile ?

Des essais nouveaux vont être entrepris à ce sujet. Ou bien s'agit-il d'une exceptionnelle difficulté d'alimentation potassique l'année où l'analyse a été faite ?

Dans l'essai de Langle, sur Douglas, c'est l'inverse : malgré une nutrition en K apparemment très bonne des plants du traitement P, le traitement PK procure par rapport à P un gain substantiel.

Tableau III Quelques exemples de composition foliaire (en % de la matière sèche) comparés à la croissance (h = hauteur totale, p = pousse annuelle en cm)

	N	P	K	Ca	Mg	h ou p
1. Épicéas - Arzenc-de-Randon (Lozère)						
Témoins	1,09	0,18	0,66	0,45	—	7,4 (p)
Fertilisés N + Ca	1,23	0,17	0,60	0,52	—	11,8 (p)
2. Épicéas - Razès (Haute-Vienne)						
Témoins	1,30	0,11	0,52	0,20	0,08	120 (h)
Fertilisés P K Ca	1,50	0,16	0,60	0,23	0,07	184 (h)
3. Épicéas adultes des Vosges						
Normaux (Saint-Amarin)	1,61	0,20	0,71	0,56	0,10	—
A aiguilles jaunes (Col du Bonhomme) ..	1,58	0,18	0,93	0,10	0,04	—
4. Sapins adultes - Région de Luchon						
Normaux	1,28	0,20	0,53	0,61	0,13	—
A aiguilles jaunes	1,29	0,21	0,30	0,41	0,15	—
5. Semis de chêne - Blois						
Témoins	2,35	0,09	0,52	0,55	0,18	36 (h)
Fertilisés P	2,16	0,19	0,48	0,64	0,18	56 (h)
Fertilisés NPK Ca	2,50	0,21	0,89	0,51	0,15	52 (h)
6. Douglas - Langle (Haute-Vienne)						
Témoins	1,98	0,11	0,84	0,20	0,10	284 (h)
Fertilisés P	1,55	0,15	0,86	0,36	0,11	357 (h)
Fertilisés PK	1,60	0,16	0,96	0,32	0,13	410 (h)
7. Douglas (3 ans) Sol de Barbaroux (Haute-Vienne) - Essai en pots						
Témoins	2,21	0,19	0,92	0,27	—	23 (h)
Fertilisés N	4,50	0,10	0,42	0,30	—	26 (h)
Fertilisés P	2,00	0,32	0,77	0,61	—	33 (h)
Fertilisés NPK Ca	3,60	0,17	0,70	0,49	—	46 (h)

L'exemple 7 illustre un autre genre de difficulté. Les Douglas non fertilisés, cultivés en pépinière sur une terre venant de Barbaroux (Haute-Vienne, sur gneiss) ont une nutrition apparemment optimale en N et P et un rapport N/P très convenable de 11,6. Malgré cela une fertilisation azotée augmente un peu la croissance bien qu'elle induise un déséquilibre N/P très net (N/P = 45 !). Une fertilisation phosphatée augmente encore plus nettement la croissance malgré l'apparition d'un déséquilibre N/P en sens inverse (N/P = 6,25 nettement trop bas) dû surtout à une surconcentration en P. Une fertilisation complète NPK Ca double la croissance, tout en ramenant la composition foliaire à des valeurs relativement proches de celles du témoin, avec cependant un rapport N/P encore un peu trop élevé. On arrive à ce paradoxe de l'existence de deux lots de plants, dont les teneurs foliaires en éléments majeurs sont peu différentes et dont l'un a une croissance deux fois plus forte que l'autre. La seule considération de la composition du témoin ne permettait pas de pronostiquer un effet de P, ni de N. Le seul indice pouvant faire soupçonner l'insuffisance d'alimentation du témoin en azote et phosphore était la teneur relativement forte en K (encore que si l'on considère les résultats de l'essai de Langle ci-dessus, elle n'ait rien eu de réellement pléthorique). Le diagnostic foliaire était dans ce cas en défaut.

CONCLUSIONS

Les exemples précédents montrent que le diagnostic foliaire est un moyen fiable de détecter les anomalies d'alimentation minérale lorsqu'elles résultent d'un déséquilibre de l'offre du sol entre éléments. Le ou les éléments les plus fortement limitants sont facilement identifiés. Les éléments limitants secondaires (qui deviendront limitants lorsqu'on aura corrigé la nutrition par apport des premiers) sont par contre plus difficilement prévisibles. Lorsqu'il y a insuffisance d'alimentation minérale généralisée, le diagnostic foliaire est beaucoup plus difficile, voire impossible à établir, car les teneurs peuvent rester normales (exemple n° 7 ci-dessus). De même lorsque la limitation de croissance est la conséquence de mauvaises conditions physiques, d'un système racinaire traumatisé par une mauvaise plantation, de conditions climatiques particulièrement difficiles, les conclusions du diagnostic peuvent être erronées.

Malgré ces limitations, le diagnostic foliaire mérite d'être largement employé : pour un coût relativement faible, il peut permettre de déceler un besoin de fertilisation et conduire à des gains de production importants. Il est d'une précision bien supérieure à l'analyse de sol (sauf pour la détection des chloroses calcaires), surtout pour les carences en oligo-éléments, tout en étant moins coûteux. L'idéal est évidemment de recourir simultanément aux deux types de diagnostic, ce qui permet de détecter les cas de malnutrition dus à des défauts physiques du sol.

Enfin, il faut signaler qu'il existe des formes plus élaborées de diagnostic foliaire que celles qui ont été exposées ici, notamment par analyse des formes hydrosolubles ou acidosolubles de certains éléments, mais on sort alors des diagnostics de routine faciles à établir.

M. BONNEAU

Laboratoire Sols et Nutrition des Arbres forestiers
CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES (INRA)

BP 35

CHAMPENOUX 54280 SEICHAMPS

BIBLIOGRAPHIE

- ALTHERR (E.), EVERS (F.H.). — Magnesium-Düngungseffekt in einem Fichtenbestand des Buntsandstein Odenwaldes. — *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, vol. 146, n° 12, 1975, pp. 217-224.
- EVERS (F.H.). — Die jährweisen Fluktuationen der Nährelementkonzentrationen in Fichtennadeln und ihre Bedeutung für die Interpretation nadelanalytischer Befunde. — *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, vol. 143, n° 3/4, 1972, pp. 68-73.
- HOEHNE (H.). — Blattanalytische Untersuchungen an jüngeren Lärchenbeständen (*Larix decidua* Mill.). — *Beiträge für die Forstwirtschaft*, n° 3, 1976, pp. 138-147.
- HOEHNE (H.). — Untersuchungen über die jahreszeitlichen Veränderungen des Gewichtes und Elementgehaltes von Fichtennadeln in jüngeren Beständen des Ostgebirges. — *Archiv für Forstwesen*, vol. 13, n° 7, 1964, pp. 747-774.
- LEROY (Ph.). — Variations saisonnières des teneurs en eau et en éléments minéraux des feuilles de Chêne (*Quercus pedunculata*). — *Annales des Sciences forestières*, vol. 25, n° 2, 1968, pp. 83-117.
- LÉVY (G.), STRULLU (G.D.). — Caractères morphologiques et teneurs en éléments minéraux des aiguilles portées sur les différentes pousses (de printemps et « d'août ») chez l'Épicéa commun (*Picea excelsa* Link.). — *Annales des Sciences forestières*, vol. 36, n° 3, 1979, pp. 231-237.
- PRÉVÔT (P.), OLLAGNIER (M.). — Méthode d'utilisation du diagnostic foliaire. In : Analyse des plantes et problème des fumures minérales. pp. 177-192. — Ed. IRHO, 1956.
- REHFUESS (K.E.). — Über den Ernährungszustand nordbayerischer Tannenbestände. — *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, vol. 87, n° 3, 1968, pp. 129-150.