



LES CAHIERS DU DSF
1
2000

La
San
des
Fo

**FRANCE
1999**

Bilan Annue

tions, mais sans avoir un impact très fort sur la défoliation. Pour le pin d'Alep, l'agent de chancre (*Crumenulopsis sororia* [P. Karsten] Groves) a encore été observé sur une tige sur deux, mais l'amélioration de l'état des cimes de cette essence s'est confortée en 1999.

On peut également noter l'abondance du gui (*Viscum album*) sur le pin sylvestre dans les Alpes, signalé sur plus de 20 % des tiges.

Facteurs phénologiques une très forte fructification a été signalée, pour le hêtre principalement, dans les plaines du Nord-Est, et dans une moindre mesure dans le Massif central et les Alpes. Une telle fainée induit souvent une moindre taille (microphyllie) et une moindre densité des feuilles. L'augmentation du déficit foliaire dans les régions citées peut vraisemblablement être imputée en partie à ce phénomène ■

Les activités de suivi des dommages forestiers sont coordonnées par le DSF, et financées par la Commission Européenne (règlement 3528/86 "Protection de la forêt contre la pollution atmosphérique") et le Ministère de l'agriculture et de la pêche ; les différents organismes parties prenantes (ONF, CRPF, services de l'État) y contribuent par la mise à disposition de leurs agents.

Remerciements : nous tenons à remercier l'équipe de formateurs qui s'est constituée autour de Yves Mathieu, Jean-Michel Letz et Albert Depierre, pour la formation des notateurs et leur participation au contrôle des placettes, ainsi que l'ensemble des notateurs du réseau européen.

■ **Bouhot-Delduc L., Lévy A.** (1994). Rôle de la chenille processionnaire du pin dans les dépârissements du pin maritime landais en 1990 et 1991. *Rev. For. Fr.* 46(5), pp. 431-436

■ **Landmann G., Pierrat J.-C., Nageleisen L.-M.** (1999). 1995-1997 : période de réajustement à la hausse de la notation de l'état des cimes des arbres forestiers en France. *Les Cahiers du DSF, 1-1999* (La Santé des Forêts [France] en 1998), Min. Agri. Pêche (DERF), Paris, pp. 63-66

■ **Nageleisen L.-M.** (2000). Quelques indicateurs de la santé des forêts françaises (1989-1999). *Les Cahiers du DSF, 1-2000* (La santé des forêts [France] en 1999), Min. Agri. Pêche (DERF), Paris, ce vol.

■ **Schérer J.-C., Fleisch M.-R.** (1997). Les sécheresses 1996 et 1995 comparées à quelques sécheresses marquantes du siècle. *Les Cahiers du DSF, 1-1997* (La santé des forêts [France] en 1996), Min. Agri. Pêche (DERF), Paris, pp. 15-17

Synthèses et évaluations

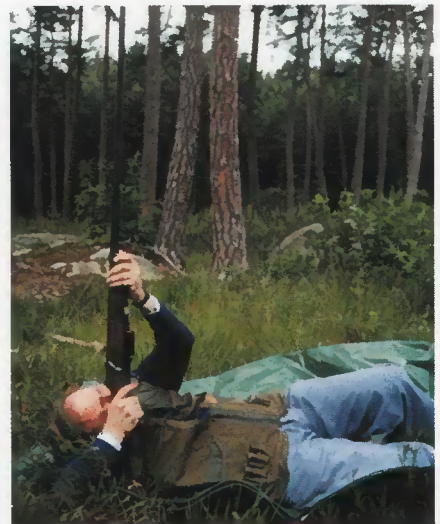
BILAN DE CINQ ANNÉES D'ANALYSES FOLIAIRES SUR LES PLACETTES RÉNÉCOFOR, ET PREMIÈRES ANALYSES CROISÉES AVEC LA CHIMIE DES SOLS, LA CROISSANCE ET LA DÉFOLIATION

Luc Croisé, ONF Fontainebleau,
Catherine Cluzeau, IFN Nancy,
Erwin Ulrich et Marc Lanier,
ONF Fontainebleau,
Alain Gomez, INRA Bordeaux



Evaluation of the first five years of foliar analyses in the RÉNÉCOFOR network, and the first crossed analyses with soil chemistry, growth and defoliation – Despite the acknowledged value of foliar analysis to assess the nutritional status of the trees, many sources of variability and unclearly defined thresholds for adults trees make their interpretation somewhat difficult. However, between 1993 and 1997, no clear deficiency was observed on the RÉNÉCOFOR plots, but some values above the optimum occurred, in particular for nitrogen, and induced a nutritional imbalance which could, in turn, induce indirect deficiency. No general trend appeared during this period, mostly because of the roughly similar variability between years and plots. Long-term trends for foliar concentrations need a longer period of monitoring to be described. Relations between nutrient concentrations in the soil and in the foliage are mostly weak. No more than 60 % of the variability was explained by the linear regressions depending on the elements, species and soil layers under consideration. No clear relation could be observed between diameter growth and foliar nutrients, nitrogen excepted. In the same way, correlations between the percentage of defoliation and the foliar nutrient concentrations are rare, probably because of the low level of defoliation.

Les trois objectifs principaux de ce suivi sont :
- l'évaluation de l'état nutritionnel des arbres et de ses relations avec l'alimentation minérale, la croissance et l'état sanitaire des arbres,
- l'évaluation de certaines sources de variabilité,
- l'identification des tendances éventuelles au cours du temps de l'état nutritionnel des arbres.
Une première synthèse des résultats a été réalisée en 1999 sur les données 1993-97 (Croisé et al., 1999).



Prélèvement foliaire au fusil dans une placette du réseau RÉNÉCOFOR

Les analyses foliaires constituent une approche précieuse pour évaluer l'état nutritionnel des arbres mais présentent deux difficultés : des sources de variabilité nombreuses, et une interprétation délicate par rapport à des seuils dont la pertinence pour les arbres adultes reste à préciser

■ L'interprétation des résultats des analyses foliaires est compliquée par un grand nombre de sources de variabilité. Les protocoles de prélèvement et d'analyse ont été établis de manière à réduire ou à contrôler, selon les cas, certaines de ces sources (hauteur et exposition des échantillons, date de prélèvement, introduction d'échantillons de référence et de blancs de contrôle dans les séries d'analyse, ...). La variabilité intraplacette a été évaluée en 1997 en analysant les échantillons individuels par arbre (8 par placette), tandis qu'un échantillon composite par placette a été analysé les autres années.

■ Depuis 1993, des analyses foliaires portant sur 13 éléments (N, P, K, Ca, S, Mg, Cl, Mn, Fe, Cu, Zn, Na et Al) ont été réalisées chaque année sur les 102 placettes du réseau RÉNÉCOFOR.

■ L'interprétation des teneurs foliaires en nutriments a été réalisée par rapport à des valeurs de référence pour chaque essence qui correspondent soit à un fonctionnement biologique satisfaisant, soit à une perte de croissance.

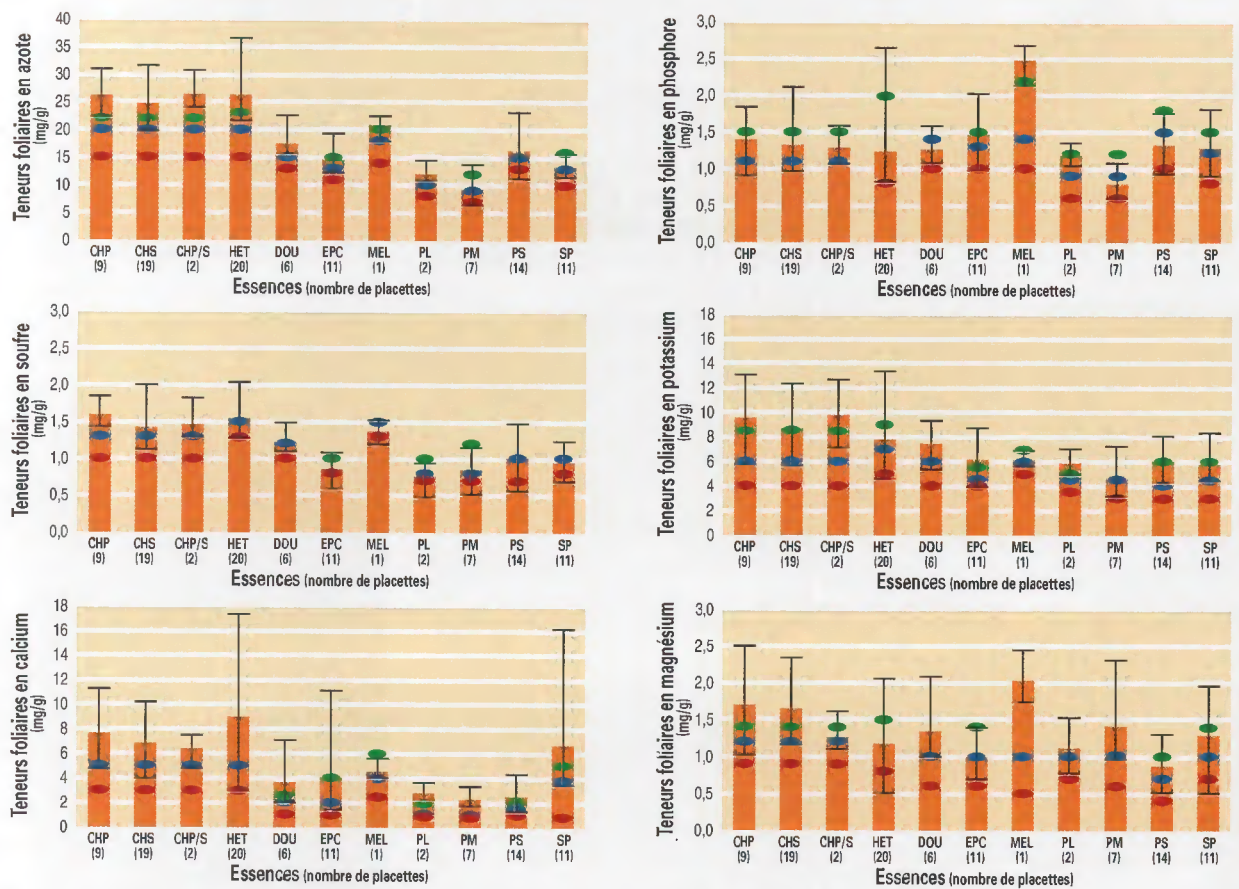


Fig. 44 : Teneurs foliaires moyennes et amplitude minimum-maximum pour N, P, S, K, Ca et Mg sur 5 ans (1993-97) par essence pour les 102 placettes du réseau RÉNÉCOFOR (les barres représentent l'erreur type), et comparaisons avec les teneurs optimales (vert), critiques (bleu) et de carence (rouge) (adaptées d'après Bonneau, 1995 et van der Burg, 1990). L'absence de point correspond à des seuils non définis.

Code des essences : CHP = chêne pédonculé, CHS = chêne sessile, CHP/S = chêne pédonculé et sessile (en mélange), HET = hêtre, DOU = douglas, EPC = épicéa, MEL = mélèze, PL = pin laricio, PM = pin maritime, PS = pin sylvestre, SP = sapin

Foliar contents (mean and minimum-maximum range) for N, P, S, K, Ca and Mg between 1993 and 1997 for each species in the 102 RÉNÉCOFOR network plots (standard error is shown by bars), and comparison with optimum concentrations (green), critical threshold (blue) and deficiency threshold (red) (after Bonneau, 1995 and van der Burg, 1990). When no thresholds are defined, no points are indicated. Species codes : CHP = pedunculate oak, CHS = sessile oak, CHP/S = mixed stands of pedunculate and sessile oaks, HET = beech, DOU = Douglas fir, EPC = spruce, MEL = larch, PL = black pine, PM = maritime pine, PS = Scots pine, SP = fir

ce ou des symptômes foliaires : défoliation, jaunissement (valeurs adaptées d'après Bonneau, 1995 et van der Burg, 1990). Cependant ces valeurs ont été le plus souvent proposées pour de jeunes plants forestiers, or il est connu que l'utilisation et les phénomènes de remobilisation internes des nutriments sont différents chez les jeunes arbres et chez les arbres adultes, ce qui oblige à vérifier la validité de ces seuils pour les arbres du réseau.

Globalement, entre 1993 et 1997, on n'a pas identifié de carences nettes pour les placettes RÉNÉCOFOR, mais des valeurs parfois au-delà des teneurs optimales qui pourraient induire des déséquilibres nutritionnels à moyen terme

Les teneurs foliaires moyennes par essence pour les 5 premières années d'analyse sont généralement proches des

valeurs optimales en ce qui concerne les éléments majeurs : N, P, S, K, Ca et Mg (fig. 44). Ces teneurs sont parfois proches ou légèrement inférieures aux seuils critiques : Mg pour les placettes de hêtre et d'épicéa, K pour les placettes de pin maritime, P pour les placettes de hêtre, de Douglas, de pin maritime et de pin sylvestre, et S pour les placettes de pin laricio et de sapin. Dans d'autres situations moins fréquentes, on observe au contraire des teneurs foliaires supérieures aux valeurs optimales : N pour les placettes de chêne et de hêtre, Mg et K pour les placettes de chêne, et Ca pour les placettes de sapin.

À l'échelle de la placette, peu de sites sont concernés par des teneurs foliaires basses en nutriments. Sur l'ensemble de la période considérée, des teneurs foliaires inférieures aux seuils de carence sont observées pour N dans deux placettes : pin

maritime en Vendée et pin sylvestre dans les Alpes-de-Haute-Provence, pour Mg dans trois placettes : sapin en Moselle, et hêtre dans les Vosges et le Tarn, et pour S dans une des deux placettes d'épicéa du Jura (fig. 45). Inversement, beaucoup de placettes présentent des teneurs foliaires moyennes en N (fig. 45), en Ca, en Mg et en K (non présentées) supérieures à la teneur optimum.

Étant donné les ordres de grandeur des différentes sources de variabilité, aucune évolution globale des teneurs foliaires en nutriments n'est visible entre 1993 et 1997

Durant les 5 premières années de suivi des teneurs foliaires en nutriments, aucune tendance globale n'a pu être mise en évidence (fig. 46). Il faut cependant considérer que la durée d'observation est courte.

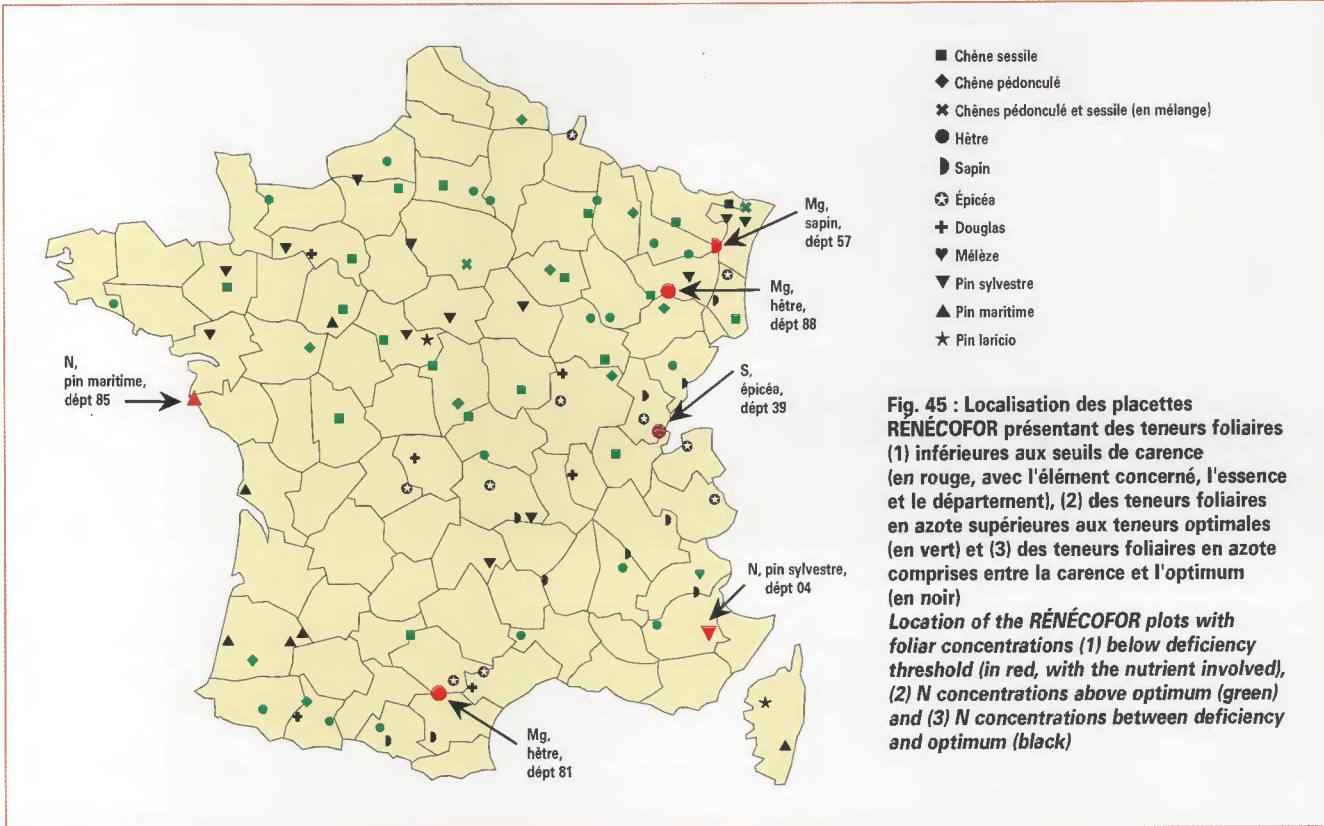


Fig. 45 : Localisation des placettes RÉNÉCOFOR présentant des teneurs foliaires (1) inférieures aux seuils de carence (en rouge, avec l'élément concerné, l'essence et le département), (2) des teneurs foliaires en azote supérieures aux teneurs optimales (en vert) et (3) des teneurs foliaires en azote comprises entre la carence et l'optimum (en noir)

Location of the RÉNÉCOFOR plots with foliar concentrations (1) below deficiency threshold (in red, with the nutrient involved), (2) N concentrations above optimum (green) and (3) N concentrations between deficiency and optimum (black)

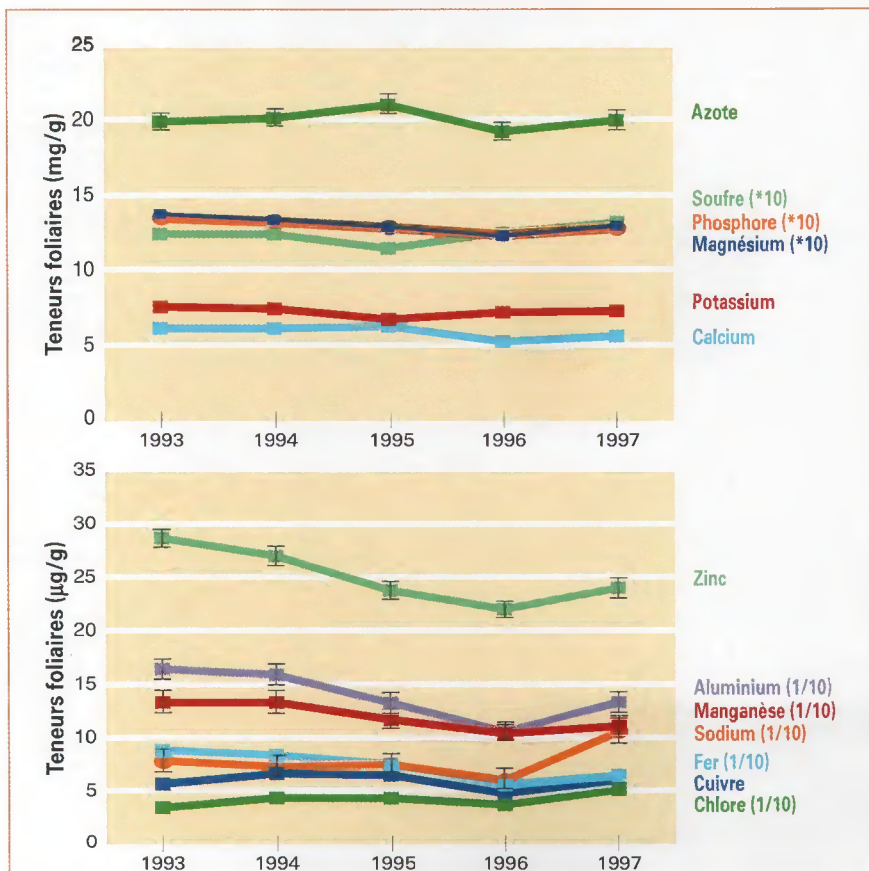


Fig. 46 : Évolution des teneurs foliaires moyennes en macro- et micro-éléments (toutes essences confondues) pour les 102 placettes du réseau RÉNÉCOFOR entre 1993 et 1997 (les barres représentent l'erreur type)
Change in mean foliar contents for macro and micronutrients (all species combined) in the 102 RÉNÉCOFOR network stands between 1993 and 1997 (standard error is shown by bars)

L'ordre de grandeur de la variabilité intraplacette et interannuelle montre, dans le cas des macronutriments, que la variabilité intraplacette est plus importante que la variabilité interannuelle estimée entre 1993 et 1997, tandis qu'elles sont du même ordre de grandeur pour les micronutriments (Croisé *et al.*, 1999). La situation apparaît légèrement différente pour les macro- et les micronutriments. Si les premiers restent très stables au cours du temps, les seconds présentent une diminution synchrone entre 1993 et 1996. Cette diminution pourrait résulter, au moins partiellement, d'une dérive analytique, car une évolution du même type a été observée sur les échantillons de référence (Croisé *et al.*, 1999).

Au-delà des problèmes de sources de variabilité, l'absence d'évolution marquée des teneurs foliaires en nutriments peut surprendre par rapport au phénomène d'acidification rapide lié à une perte de cations échangeables, phénomène mis en évidence dans certains sols forestiers du Nord-Est de la France à l'occasion de plusieurs études (voir Bonneau *et al.*, 1997). Le deuxième échantillonnage des sols du réseau RÉNÉCOFOR, 5 ou 6 ans après l'état initial, permettra de confronter pour les mêmes sites l'évolution parallèle de la disponibilité en éléments minéraux dans le sol et des teneurs foliaires en nutriments.



E. Ulrich, ONF

Ensachage des prélèvements foliaires dans une placette RÉNÉCOFOR

Les relations entre les éléments échangeables dans le sol (exprimés en teneurs ou en stocks) et les teneurs foliaires en nutriments sont le plus souvent peu étroites. Elles dépendent de l'élément considéré, de la couche de sol prise en compte et de l'essence. Les relations significatives à 10 % entre les teneurs foliaires et les stocks des mêmes éléments dans différentes couches de sol entre 0 et 40 cm représentent 33 %, 48 %, 50 % et 21 % des régressions calculées, pour respectivement l'azote, le calcium, le magnésium et le potassium. Dans ces situations, on constate en moyenne que 46 %, 48 % et 56 % de la variance totale des éléments dans les feuilles est expliquée par la régression, pour respectivement l'azote (et le magnésium), le potassium et le calcium. Les relations sont généralement encore moins étroites si l'on prend les teneurs des éléments échangeables dans le sol. Ces résultats peuvent être interprétés de deux manières différentes. La première revient à supposer que les éléments n'ont pas été analysés dans la totalité de la zone de sol réellement prospectée par les racines, d'où une erreur dans l'évaluation des stocks, et même des teneurs moyennes. La deuxième interprétation prend en compte l'existence de facteurs de découplage entre les deux variables en raison notamment des phénomènes de remobilisation interne des éléments dans les arbres.

L'absence de phénomène de carence bien caractérisée à l'échelle des placettes RÉNÉCOFOR ne constitue pas une situation favorable pour étudier les relations entre les nutriments foliaires, l'accroissement en diamètre des arbres et leur état sanitaire. Une première analyse de ces relations a toutefois permis de vérifier la cohérence entre les

valeurs seuils utilisées pour caractériser l'état nutritionnel des arbres dans la phase initiale du suivi, et leur croissance et état sanitaire. Mis à part le cas de l'azote, l'accroissement en diamètre des arbres est faiblement corrélé avec les teneurs foliaires en nutriments. Il faut cependant rappeler que la précision des mesures d'accroissement en diamètre est faible sur une période de quelques années, et que la qualité des relations étudiées en a probablement été affectée.

Les relations entre le pourcentage de défoliation et les teneurs foliaires en nutriments sont le plus souvent faibles ou inexistantes. Ces résultats sont cohérents avec ceux d'études antérieures, réalisées en particulier dans le cadre du programme DÉFORPA (Landmann *et al.*, 1995). Selon les cas, les relations significatives peuvent être soit négatives, ce qui fait penser à des phénomènes de carence (Mg et Mn pour le Douglas, Al pour le chêne pédonculé et le pin maritime), soit positives, et dans ce cas l'interprétation est plus difficile (P pour le chêne pédonculé, Ca et Zn pour l'épicéa). Ce sont probablement d'autres facteurs ou des phénomènes d'interaction qui jouent.

Les conclusions plutôt optimistes sur l'état nutritionnel actuel des arbres des placettes RÉNÉCOFOR et l'absence de dégradation marquée en 5 années de suivi ne sont valables que pour ces placettes et ne doivent pas conduire à des extrapolations abusives à l'échelle de la France. Il faut en effet rappeler que le choix initial des placettes a conduit à sélectionner des sites où les arbres étaient apparemment sains (et donc exempts de carence évidente), que les valeurs seuils utilisées à titre de comparaison ont été propo-

sées pour de jeunes plants et demandent certains ajustements pour être utilisables pour des arbres adultes, et qu'étant donné la variabilité intraplacette des teneurs foliaires, les tendances ne pourront être valablement décrites qu'après un suivi plus long.

Il semble cependant que si des problèmes d'ordre nutritionnel devaient apparaître dans le réseau, ils résulteraient plus de déséquilibres entre nutriments dus à des teneurs élevées, notamment en azote, que de carences de base en certains éléments. D'autre part, cet état nutritionnel – aujourd'hui satisfaisant – ne doit pas masquer la fragilité potentielle de ces sites, liée à l'acidité et à la désaturation importante des sols de la plupart des placettes RÉNÉCOFOR (Ponette *et al.*, 1997). Dans ce contexte, une perte de fertilité, liée en particulier à des dépôts atmosphériques acidifiants, reste à craindre dans les cas où les charges critiques ⁽¹⁾ seraient dépassées (Party, 1999)

■ **Bonneau M.** (1995). Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. ENGREF éd., 367 p.

■ **Bonneau M., Dambrine E., Dupouey J.-L., Lefèvre Y., Thimonier A.** (1997). Appauvrissement rapide des sols forestiers dans le Nord-Est de la France. *Les Cahiers du DSF*, 1-1997 (La santé des forêts [France] en 1996), pp. 63-66

■ **Croisé L., Cluzeau C., Ulrich E., Lanier M., Gomez A.** (1999). RÉNÉCOFOR, Interprétation des analyses foliaires réalisées dans les 102 peuplements du réseau de 1993 à 1997, et premières évaluations interdisciplinaires. Éditeur : Office National des Forêts, Département Recherche et Développement, Fontainebleau, ISBN 2-84207-189-1, 413 p.

■ **Landmann G., Bonneau M., Bouhot-Delduc L., Fromard F., Chéret V., Dagnac J., Souchier B.** (1995). Crown damage in Norway Spruce and Silver fir: relation to nutritional status and soil chemical characteristics in the French mountains, Chapter 1.2, p. 41-81. In "Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains" Landmann G. et Bonneau M. (eds), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 461 p.

■ **Party J.-P.** (1999). Acidification des sols et des eaux de surface des écosystèmes forestiers français : facteurs, mécanismes et tendances. Taux d'altération sur petits bassins versants silicatés. Application au calcul des charges critiques d'acidité. Thèse de 3^{ème} cycle Université de Strasbourg I, 248 p.

■ **Ponette O., Ulrich E., Brêthes A., Bonneau M., Lanier M.** (1997). RÉNÉCOFOR – Chimie des sols dans les 102 peuplements du réseau. Éditeur : Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, Fontainebleau, ISBN 2-84207-100-X, 427 p.

■ **Van der Burg J.** (1990). Foliar analysis for determination of tree nutrient status – A compilation of literature data, 2. Literature 1985-1989. "De Dorschkamp" Institute for Forestry and Urban Ecology, Wageningen, The Netherlands, Rapport n°591, 220 p.

(1) Seuils de contamination par les polluants atmosphériques au-delà desquels des effets nocifs peuvent survenir sur des éléments sensibles de l'environnement