



RENECOFOR

(Réseau National de suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers)

MANUEL DE REFERENCE N° 6 POUR L'ECHANTILLONNAGE FOLIAIRE, LA PRÉPARATION DES ECHANTILLONS ET L'ANALYSE

**Placettes de niveau 1
(Level II plots within the European Union)**

Deuxième version

Juin 1994

Département des Recherches Techniques
Boulevard de Constance 77300 FONTAINEBLEAU
Tél : (1) 64 22 18 07 Fax : (1) 64 22 49 73

SOMMAIRE

1. Introduction	1
2. Objectifs de l'opération	2
3. Périodes de prélèvement.....	3
4. Prélèvement sur le terrain	6
4.1. Conditions météorologiques	6
4.2. Choix des arbres à échantillonner	6
4.3. Prélèvements foliaires à l'aide d'un fusil de chasse.....	7
4.3.1. Description du fusil.....	7
4.3.2. Les munitions	7
4.3.3. Transport du fusil.....	10
4.3.4. Montage du fusil.....	10
4.3.5. Consignes impératives de sécurité.....	10
4.3.6. Le tir.....	10
4.3.7. Le choix du rameau.....	11
4.3.8. Nettoyage du fusil.....	11
4.4. Choix de l'échantillon sur le rameau	19
4.4.1. Chêne et hêtre.....	19
4.4.2. Epicéa, sapin, douglas	19
4.4.3. Pin sylvestre, pin maritime, pin laricio	23
4.4.4. Mélèze	23
4.5. Répétition et séparation des prélèvements sur les arbres "échantillons"	23
4.5.1. Orientation des rameaux sur l'arbre	23
5. Préparation des échantillons et envoi au laboratoire.....	25
6. Réception au laboratoire d'analyse.....	26
7. Travaux préparatoires avant l'analyse	30
7.1. Stockage des échantillons avant leur manipulation	30
7.2. Précautions à prendre pour éviter la contamination au laboratoire	30
7.3. Préparation des échantillons pour l'analyse	30
7.3.1. Constitution de l'échantillon moyen pour l'analyse	30
7.3.1. Détermination de la masse foliaire	31
7.4. Lavage exceptionnel des échantillons	31
7.5. Broyage des échantillons	31
8. Analyses chimiques	32
8.1. Utilisation d'étalons de référence et intercalibration internationale.....	32
8.2. Transmission des résultats d'analyse	32
8.3. Définition des méthodes analytiques utilisées par le laboratoire français.....	32
8.4. Archivage du reste des échantillons	32
9. Fiche d'accompagnement des échantillons	34
10. Check-list pour le terrain : matériel nécessaire pour l'échantillonnage.....	36
11. Coordonnées du personnel du Département des Recherches Techniques.....	37
12. Le diagnostic foliaire (Maurice Bonneau, 1988).....	38

Ce manuel se base sur le "Submanual on sampling and analysis of needles and leaves" du "Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests", sous-manuel élaboré en 1992 et 1993, par le groupe d'experts sur l'analyse foliaire de l'ICP-Forest (UN-ECE) sous la présidence de Maurice BONNEAU (INRA, Centre de Recherches Forestières de Nancy).

Le manuel a été adapté aux besoins du RENECOFOR par Erwin ULRICH, Michel ADRIAN et Marc LANIER.

Pour toute remarque concernant l'amélioration de ce document veuillez écrire ou téléphoner à :

Office National des Forêts
Département des Recherches Techniques
A l'attention de E. Ulrich ou M. Lanier
Boulevard de Constance
77300 FONTAINEBLEAU
Tél : (1) 64 22 18 07 Fax : (1) 64 22 49 73

1. Introduction

Le Réseau National de suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers, RENECOFOR, résulte des réflexions menées à l'échelle européenne sur la pollution atmosphérique transfrontière à grande distance, sous l'égide des Nations Unies. L'objectif est de suivre très finement l'état de santé d'un certain nombre de peuplements (une centaine) tout en observant les facteurs climatiques, et autres, susceptibles d'influer sur leur état sanitaire.

La nutrition des arbres joue un rôle essentiel pour leur santé. Il semble donc évident de la suivre en continu, afin de connaître sa variation annuelle et de pouvoir y lier certains phénomènes observés.

Une nutrition limitée peut être la cause d'une dégradation de la santé des arbres. Elle peut également aggraver les effets de la pollution atmosphérique sur la forêt. Par contre, une forte concentration d'un certain nombre d'éléments dans les feuilles ou aiguilles pourrait signaler une intoxication ou un excès des dépôts arrivant sous trois formes possibles dans l'écosystème concerné : humide, aérosols ou gazeuse.

Le suivi annuel de la nutrition des arbres permettra d'identifier une évolution vers une dégradation, une amélioration ou une stabilité dans le temps. La liaison de la nutrition avec la pluviosité est évidente (elle influence la possibilité de faire circuler les éléments à partir du sol vers le feuillage) et le suivi régulier permettra de connaître l'influence aussi bien d'années bien arrosées que d'années de sécheresse sur la variation annuelle des concentrations en éléments.

Il est prévu d'établir un catalogue français décrivant la fourchette de concentrations possibles dans le feuillage d'arbres sains pour les 10 essences principales. Ce catalogue pourrait déjà être établi après 5 ans de suivi.

Le présent manuel regroupe toutes les informations nécessaires pour le bon déroulement de cette opération.

2. Objectifs de l'opération

Afin de pouvoir faire des interprétations valables sur l'évolution de la nutrition des peuplements étudiés, nous procédons à un échantillonnage et une analyse annuelle des feuilles et aiguilles. Les échantillons seront pris individuellement sur 8 arbres par placette. Sur les conifères, on distinguera selon le niveau d'observation les aiguilles de l'année courante ou celles des deux dernières années. Sur la seule placette de mélèze (F.C. de Champcella, Hautes-Alpes) on ne prélèvera par contre que les aiguilles de l'année courante, mais elles seront prélevées sur le rameau de l'année précédente.

Après séchage, le laboratoire constituera un mélange moyen en prenant en compte en quantité égale chacun des échantillons des 8 arbres.

Dans les placettes de niveau 3 (level III plots within the European Union) on procédera tous les 5 ans, en plus de l'analyse de l'échantillon moyen, à une analyse individuelle des 8 échantillons, afin d'avoir une information sur la variabilité des concentrations entre les arbres d'un peuplement.

Sur les échantillons seront analysés les éléments totaux : azote, phosphore, soufre, calcium, magnésium, potassium, sodium, chlore, zinc, manganèse, fer, cuivre, aluminium et le poids sec de 100 feuilles ou 1 000 aiguilles.

Dès leur validation, les résultats d'analyse seront diffusés à tous les participants du réseau et seront également publiés régulièrement de manière synthétique avec une interprétation des tendances.

Dans la mesure du possible, le reste des échantillons sera stocké sous forme de poudre à la pédothèque, afin de faire, si nécessaire, des analyses complémentaires ultérieurement.

3. Périodes de prélèvement

L'échantillonnage foliaire se fera annuellement. Afin de prélever des échantillons dans une période de l'année, où les concentrations en éléments totaux sont les plus stables (voir article de Maurice Bonneau au chapitre 12), on fera l'échantillonnage :

- dans les placettes de feuillus et de mélèze entre le 15 juillet et le 31 août ;
- dans les placettes de résineux (sauf mélèze) dans une période débutant le 1er ou le 15 octobre et se terminant le 15 décembre ou le 15 janvier (ces dates dépendant de la situation géographique et de l'altitude).

Attention : Dans tous les cas, il faut prélever pendant une période (même à l'intérieur de celles indiquées ci-dessus) durant laquelle le feuillage des feuillus est complètement développé et qui précède le jaunissement estival et/ou la chute des feuilles en été ou en automne.

Pour les résineux, le prélèvement doit se faire dans une période pendant laquelle les arbres se trouvent en période de repos, mais hors temps de gel.

Les **tableaux 1a et 1b** indiquent la période d'échantillonnage prévue pour chaque placette.

Tableau 1a : Période d'échantillonnage par placette

Sections Techniques Interrégionales	Code placette	Début de la période	Fin de la période
STIR Nord-Ouest	CHP 59	15 juillet	31 août
	CHS 27	15 juillet	31 août
	CHS 60	15 juillet	31 août
	CHS 61	15 juillet	31 août
	CPS 77	15 juillet	31 août
	DOU 61	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	HET 02	15 juillet	31 août
	HET 14	15 juillet	31 août
	HET 60	15 juillet	31 août
	HET 76	15 juillet	31 août
	PS 61	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 76	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 78	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
STIR Nord-Est	CHP 55	15 juillet	31 août
	CHS 51	15 juillet	31 août
	CHS 57a	15 juillet	31 août
	CHS 57b	15 juillet	31 août
	CPS 67	15 juillet	31 août
	CHS 68	15 juillet	31 août
	CHS 88	15 juillet	31 août
	EPC 08	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 88	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	HET 54a	15 juillet	31 août
	HET 54b	15 juillet	31 août
	HET 55	15 juillet	31 août
	HET 88	15 juillet	31 août
	PS 67a	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 67b	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 88	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 57	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 68	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
STIR Ouest	CHP 18	15 juillet	31 août
	CHP 49	15 juillet	31 août
	CHS 18	15 juillet	31 août
	CHS 35	15 juillet	31 août
	CHS 41	15 juillet	31 août
	CHS 72	15 juillet	31 août
	CHS 86	15 juillet	31 août
	HET 29	15 juillet	31 août
	PL 41	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
financée par la région	PM 17	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PM 72	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
financée par la région	PM 85	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 35	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 41	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 44	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 45	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier

Tableau 1b : Période d'échantillonnage par placette

Sections Techniques Interrégionales	Code placette	Début de la période	Fin de la période
STIR Est	CHP 10	15 juillet	31 août
	CHP 70	15 juillet	31 août
	CHP 71	15 juillet	31 août
	CHS 10	15 juillet	31 août
	CHS 21	15 juillet	31 août
	CHS 58	15 juillet	31 août
	DOU 71	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 39a	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 39b	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 71	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	HET 21	15 juillet	31 août
	HET 25	15 juillet	31 août
	HET 52	15 juillet	31 août
	PS 89	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 25	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 39	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
STIR Massif Central	CHS 03	15 juillet	31 août
	DOU 23	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 63	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 87	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	HET 03	15 juillet	31 août
	PS 15	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 63	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 07	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 63	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
STIR Alpes	CHS 01	15 juillet	31 août
	EPC 73	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 74	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	DOU 69	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	HET 26	15 juillet	31 août
	MEL 05	15 juillet	31 août
	SP 05	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 26	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 38	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
STIR Sud-Ouest	CHP 40	15 juillet	31 août
	CHP 65	15 juillet	31 août
	CHS 81	15 juillet	31 août
	DOU 65	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 81	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	HET 09	15 juillet	31 août
	HET 64	15 juillet	31 août
	HET 65	15 juillet	31 août
	HET 81	15 juillet	31 août
	PM 40a	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PM 40b	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PM 40c	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 09	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
STIR Méditerranée	DOU 34	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	EPC 34	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	HET 04	15 juillet	31 août
	HET 30	15 juillet	31 août
	PL 20	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PM 20	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	PS 04a	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier
	SP 11	1er ou 15 octobre	15 décembre ou 15 janvier

4. Prélèvement sur le terrain

Pour le bon déroulement du prélèvement veuillez consulter attentivement la check-list (paragraphe 10) avant le départ.

4.1. Conditions météorologiques

Pour le prélèvement, on choisira un temps sec, si possible depuis plusieurs jours, pour que le feuillage soit entièrement sec : on minimise ainsi les risques de contamination des échantillons lors de leur manipulation (contact avec le sol par exemple) et de décomposition qui serait favorisée par une plus grande humidité.

Il est également recommandé de faire les prélèvements pendant des jours sans vent fort, sous peine d'avoir des problèmes pour le choix des rameaux sur les arbres.

4.2. Choix des arbres à échantillonner

Dans chaque placette, les STIR ont choisi 16 arbres "échantillon", qui ont été numérotés de 101 à 116 (marquage permanent à la peinture). Ce sont uniquement ces arbres qui serviront à l'échantillonnage foliaire.

Attention : N'utilisez jamais les arbres n° 1 à 36 pour l'échantillonnage.

Parmi les arbres 101 à 116 on choisira 8 arbres. Au début, il vaut mieux prendre les numéros 101 à 108 ou les numéros pairs ou impairs afin d'avoir une meilleure distribution spatiale des arbres échantillonnés sur la placette. Il est essentiel que ces 8 arbres soient :

- non endommagés au niveau des racines par l'échantillonnage des sols ;
- représentatifs de la défoliation ou de la coloration anormale moyenne de la placette (à $\pm 5\%$ près) ;
- exempts d'attaques majeures par des insectes ou champignons.

Il est fortement recommandé d'utiliser chaque année les mêmes arbres. Toutefois, pour des raisons majeures, il est possible d'alterner chaque année entre les arbres n° 101 à 108 et 109 à 116 ou pairs et impairs ou de changer complètement le groupe de 8 arbres pour plusieurs années. Ces raisons peuvent être :

- les houppiers des arbres sont trop peu volumineux pour pouvoir supporter un échantillonnage annuel, c'est-à-dire que celui-ci les dégraderait significativement ;
- les arbres ont été fortement attaqués par des insectes ou des champignons ;
- les arbres ont été endommagés mécaniquement pendant une éclaircie ;
- le degré de défoliation des 8 arbres habituels ne correspond plus à la défoliation ou au jaunissement moyen des arbres n° 1 à 36 (se référer aux observations de l'année précédente).

Si un changement complet est envisagé, il est indispensable de faire un double échantillonnage pendant 2 à 3 ans sur les deux groupes (c'est-à-dire que l'on constitue deux groupes de 8 échantillons individuels dans la placette concernée), en l'indiquant chaque année sur la fiche d'accompagnement pour que le laboratoire puisse comprendre pourquoi il reçoit des échantillons en double. Ceci est nécessaire afin de pouvoir détecter d'éventuelles différences significatives de concentrations, liées au groupe d'arbres utilisé et non à une différence de la nutrition en général.

Cette entreprise ne sera suspendue que si les arbres du groupe à abandonner sont fortement détériorés.

Attention : Chaque année, on documentera le choix des arbres sur la fiche d'accompagnement annuelle. Dans le cas d'anomalies, on les commentera dans la rubrique "Observations".

Il se peut qu'avec les années, les arbres n° 101 à 116, choisis parmi les dominants et co-dominants, changent significativement de classe sociale et deviennent dominés. Il faudra signaler ce changement dans la fiche d'accompagnement, afin de trouver une solution pour l'échantillonnage de l'année suivante.

4.3. Prélèvements foliaires à l'aide d'un fusil de chasse

Les prélèvements foliaires effectués à l'aide d'un fusil de chasse nécessitent une certaine technicité et le respect d'un bon nombre de consignes de sécurité afin d'éviter au maximum les risques d'accidents.

Avant de commencer les prélèvements au fusil sur une placette, on doit s'assurer que le service local forestier a bien été prévenu et que les locataires de la chasse ont été mis au courant quant à la manière d'effectuer ces prélèvements.

Les prélèvements foliaires doivent être faits par une équipe d'au moins deux personnes. Les tirs par mauvais temps sont interdits parce qu'on risque de glisser et de se blesser.

4.3.1. Description du fusil

Le fusil choisi pour effectuer les prélèvements foliaires est une arme de chasse d'un type particulier. C'est une canardière de calibre 12, chambre de 76 avec deux particularités importantes (**Figures 1 et 7**) :

- canon long de 95 cm très choké,
- armement manuel de la culasse.

Le canon long choké (extrémité du canon légèrement rétrécie) permet que la charge de chevrotines reste groupée au maximum : à 30 m, le diamètre de la gerbe est dans ce cas de 50 à 60 cm. Un seul grain de chevrotine permet de casser un rameau de 1 à 1,5 cm de diamètre.

Avec l'armement manuel on évite mieux le risque de tirs involontaires et non contrôlés, car on n'arme le fusil qu'après d'avoir trouvé la bonne position.

4.3.2. Les munitions

Ce sont des chevrotines de 9 à 28 grains qui sont interdites pour la chasse, mais très utiles pour le prélèvement foliaire (**Figure 3**) ; il faut les commander spécialement.

Les cartouches les plus utilisées sont de fabrication belge (Browning, cal 12, 28 B \pm 6,65 mm) ou américaine (Winchester, double zero 12/76, 15 grains ou 12/76 Magnum, 24 grains). Il est aussi possible d'utiliser des balles Brenneke Browning, cal 12, 31 grammes, 67,5 mm.

Les munitions de marque Legia se trouvent à la fabrique nationale Herstal S.A. (Belgique).

Figure 1 : Fusil de chasse spécial, type canardière, avec canon long, pour l'échantillonnage foliaire.



Figure 2 : Système d'armement manuel.

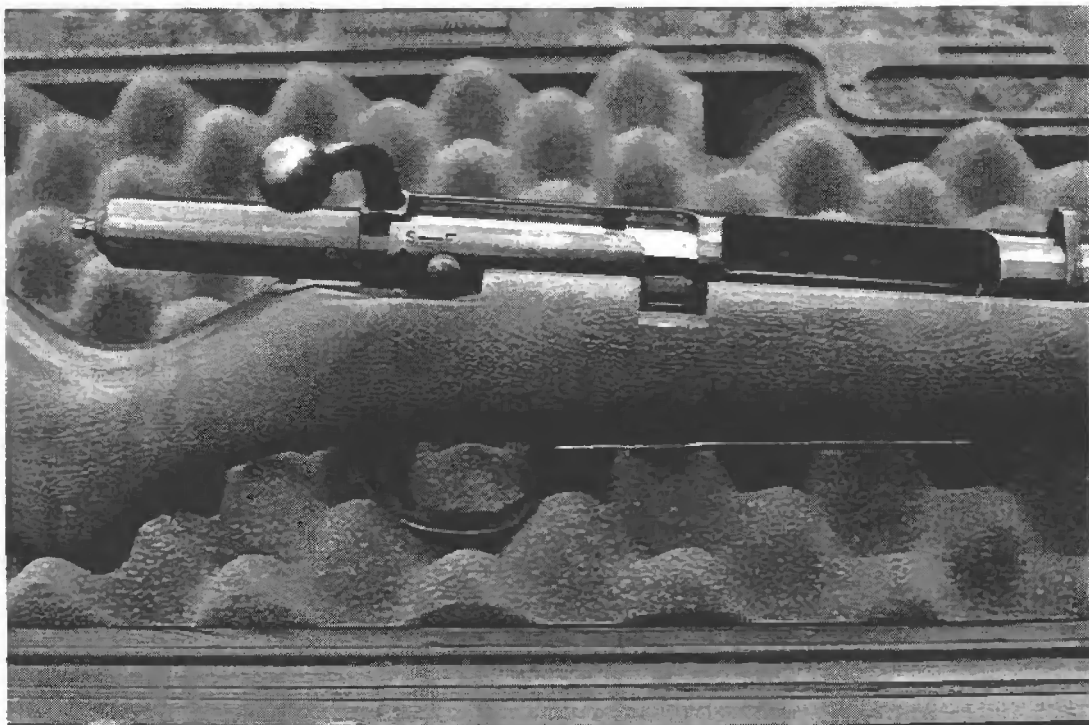


Figure 3 : Cartouche de chevrotine à 28 graines.



Figure 4 : On fixe le canon sur le fût, en respectant le sens du montage.



Pour l'utilisation des balles, il y a tout de même quelques restrictions. Le prix de revient est plus élevé et le danger est surtout plus grand pour les promeneurs en forêt car ces balles retombent souvent très loin, alors que les plombs de cartouches sont inoffensifs.

Dans des cas difficiles, on peut s'appuyer ou utiliser un trépied spécial pour le tir à balle : avec celle-ci, on peut casser une branche plus grosse et surtout plus haute.

4.3.3. Transport du fusil

Le fusil se transporte démonté dans une mallette. En France, la loi interdit de transporter une arme de chasse non enfermée dans une housse ou mieux dans une mallette, celle-ci assurant une bonne protection et facilitant son rangement dans le coffre d'une voiture.

Attention : Ne laissez jamais un fusil sans surveillance dans votre voiture.

4.3.4. Montage du fusil

- Bien fixer le canon sur le fût en respectant le sens du montage et le fixer avec la vis en utilisant une pièce de monnaie de 50 centimes (**Figures 4 et 5**) ;
- s'assurer que la vis de fixation qui verrouille le canon soit bien serrée (un serrage à la main suffit) ;
- introduire la culasse dans le canon (**Figure 6**) ;
- laisser la culasse ouverte ;
- si tout fonctionne, on est prêt pour le tir.

4.3.5. Consignes impératives de sécurité

- Ne jamais charger l'arme avant d'être prêt à tirer ;
- introduire une seule cartouche à la fois dans le magasin ;
- ne jamais se déplacer avec une cartouche dans la chambre ;
- au moment du tir personne ne doit se trouver devant le tireur ;
- le fusil doit être armé au dernier moment ;
- dans le cas où on est amené à se déplacer sans avoir tiré alors que l'on était prêt à le faire, ne pas oublier de désarmer le fusil.

4.3.6. Le tir

Pour tirer confortablement, il est nécessaire de porter un vêtement muni de poches (pour mettre les cartouches) et assez épais au niveau de l'épaule (pour ne pas être blessé par le recul). Il faut également être bien chaussé, afin d'avoir une bonne stabilité au moment du tir et d'éviter de glisser.

On prend la cartouche dans une poche de la veste, on charge et on arme en tenant le canon de l'arme dirigé devant soi, légèrement inclinée vers le sol (**Figures 7 et 8**). On épaule et on vise en serrant fortement la crosse du fusil sur l'épaule afin d'éviter au maximum l'effet de recul.

Les prélèvements au fusil nécessitent de la part du tireur une position particulière qui n'est pas habituelle. Une **première possibilité** et de faire ce que l'on appelle en terme de chasse "le coup du roi" : il faut bien assurer ses pieds au sol (**Figure 9**).

Après avoir choisi l'arbre et la partie du houppier dans laquelle une branche est sélectionnée, on est prêt pour tirer.

Quand on vise, au moment de tirer, ne jamais approcher son œil de la culasse. Il faut plutôt viser normalement en se tenant à une dizaine de centimètres de l'oculaire (**Figure 10**).

Cette position est sans aucun danger au moment du recul de l'arme.

Après chaque tir n'oubliez pas de ramasser la cartouche vide que l'on peut mettre dans sa deuxième poche.

Pendant le tir, ne jamais se départir des règles de prudence. Après le tir, s'assurer que le fusil est bien déchargé et si on doit le poser ou l'appuyer contre un arbre, faire très attention à ce que rien ne puisse tomber à l'intérieur du canon (**Figure 12**).

Une **deuxième possibilité** est de tirer en position couchée sur le sol (**Figure 11**). Cette position a l'avantage que l'on peut mieux viser, car on fixe mieux le fusil. La crosse du fusil ne doit jamais être posée sur une pierre, mais plutôt sur le sol, afin que celui-ci puisse amortir le recul lors du tir.

4.3.7. Le choix du rameau

Le choix du rameau que l'on prélèvera est primordial ; c'est probablement la principale difficulté de cette opération. Le rameau doit :

- être situé dans le tiers supérieur du houppier ; pour les résineux il est **recommandé de choisir un rameau entre le 7ème et le 15ème verticille** ;
- être bien éclairé (partie ensoleillée du houppier) ;
- présenter les mêmes caractéristiques que l'ensemble du feuillage de l'arbre, même croissance, même couleur, même forme et parfois même défoliation ou même jaunissement ;
- être situé de préférence dans une petite trouée afin qu'il puisse tomber sans accrocher les branches basses ;
- être assez grand pour permettre la prise de l'échantillon et avoir un certain poids lui permettant d'arriver au sol.

Dans certains cas, le vent modéré peut être un avantage pour le tireur.

4.3.8. Nettoyage du fusil

A la fin d'une journée de travail, il est nécessaire de nettoyer les différentes pièces du fusil.

Après démontage, passer un goupillon d'acier dans le canon, puis un goupillon de nettoyage, et enfin un goupillon de graissage (**Figures 13 et 14 a et b**).

On astique et graisse les autres pièces de l'arme (**Figure 15 a et b**).

Ne rangez jamais le fusil mouillé dans la mallette. S'il est humide, prenez soin de le sécher avant le rangement.

Le stock de cartouches doit être rangé dans un endroit sec, à l'abri de la chaleur et fermé à clé.

Figure 5 : On visse le canon sur le fût, en utilisant une pièce de monnaie (50 centimes) ; un serrage à la main suffit.



Figure 6 : Introduction de la culasse dans le canon.



Figure 7 : Chargement du fusil. On charge une seule cartouche à chaque fois.

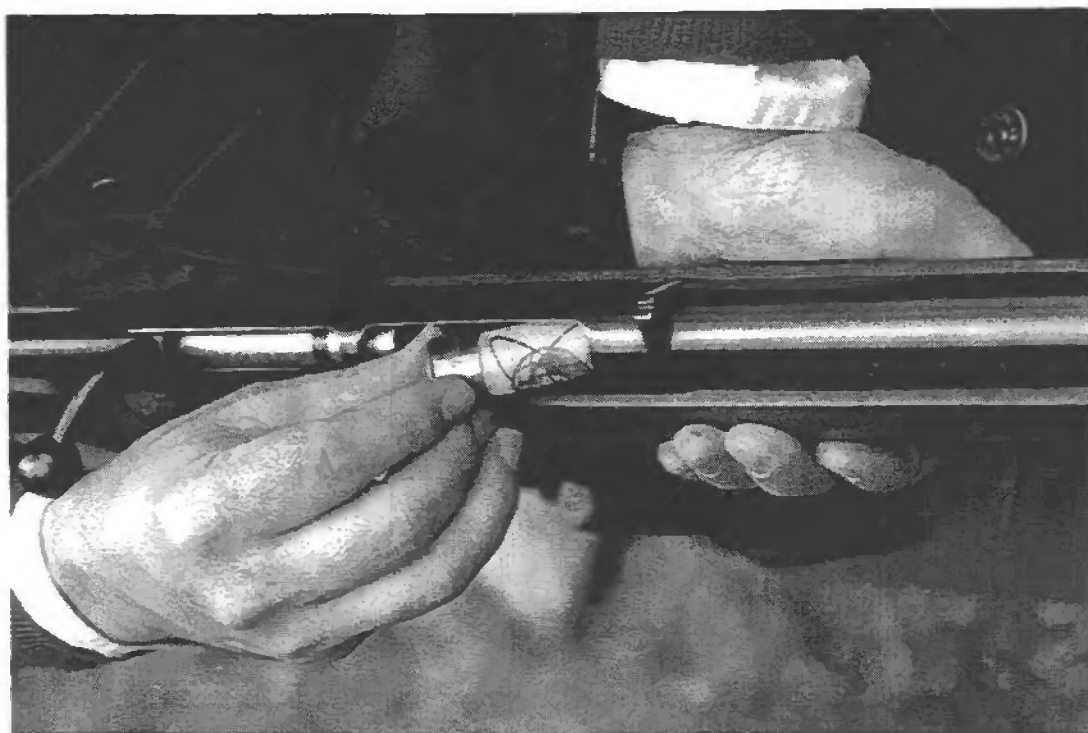


Figure 8 : Chargement du fusil se fait toujours en dirigeant l'arme devant soi, légèrement inclinée vers le sol.



Figure 9 : Pour tirer, on assure bien ses pieds au sol et on s'assure que l'arme est appuyée fermement sur l'épaule.



Figure 10 : Quand on vise on ne doit jamais approcher l'œil à moins de 10 cm de la culasse, sinon on risque de se blesser au moment du tir (recul de l'arme).

Figure 11 : Une autre possibilité est le tir couché, permettant de mieux viser le rameau. Attention de ne pas poser la crosse du fusil sur une pierre (recul !).



Figure 12 : Si l'on appuie l'arme sur un arbre, il faut prendre garde à ce que rien ne puisse tomber à l'intérieur du canon..



Figure 13 : Le nécessaire de nettoyage comprend un goupillon en acier, un goupillon de nettoyage et un goupillon de graissage.

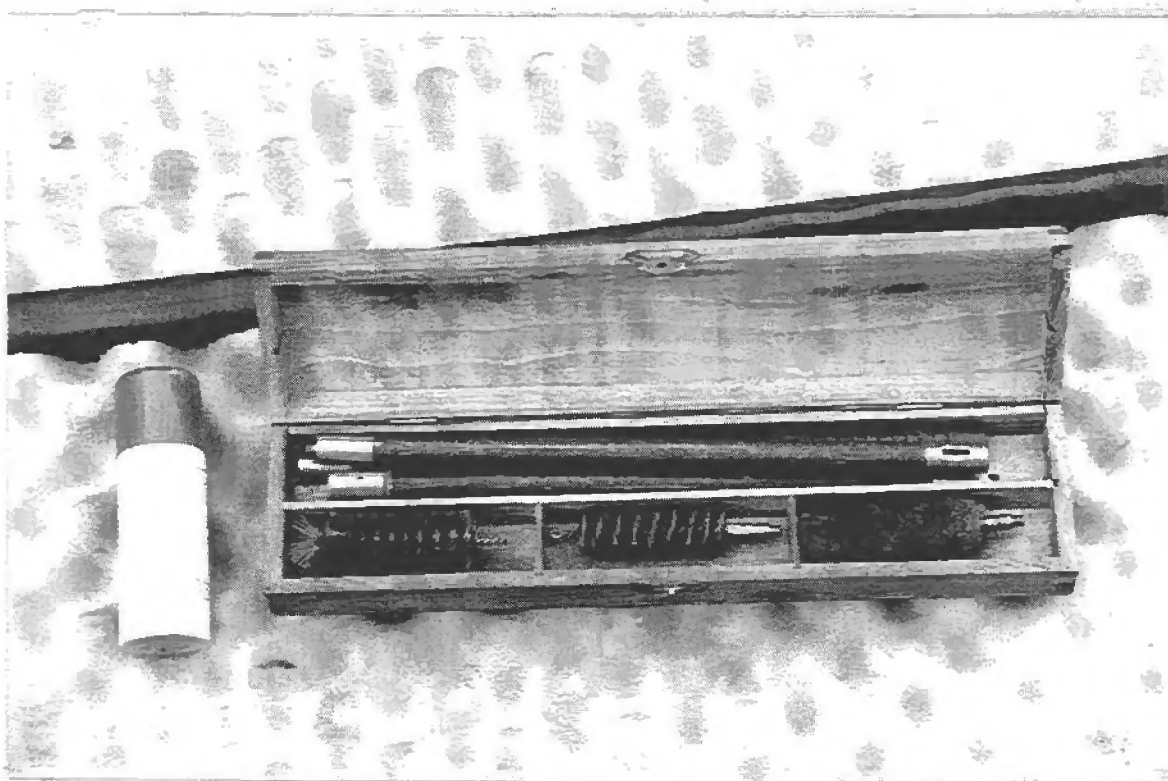


Figure 14a : Au début du nettoyage du canon , on passe le goupillon en acier, aussi bien par l'arrière du canon ...



Figure 14b : ... que par son embouchure.



Figure 15a : A la fin du nettoyage, on graisse aussi bien l'extérieur ...



Figure 15b : ... que l'intérieur du canon.



4.4. Choix de l'échantillon sur le rameau

Une fois le rameau tombé à terre, on procède immédiatement à l'échantillonnage détaillé.

Attention : Avant de prendre les rameaux dans la main, mettez des gants en polyéthylène (sans talc). Par contre, pendant le tir, ne portez pas les gants en polyéthylène car vous les contamineriez avec les débris de poudre. En touchant les feuilles ou aiguilles avec vos mains nues, vous risquez fortement de les contaminer. Ceci est surtout le cas en été, car la sueur contient d'importantes quantités de chlorure et de potassium.

Selon les essences, on procédera aux choix suivants :

4.4.1. Chêne et hêtre

Pour l'échantillonnage on ne prend en compte que les feuilles parvenues à maturité. Ce choix est particulièrement important dans le cas où les arbres ont fait une pousse d'été (chênes). Celle-ci sera donc écartée.

On détache les feuilles individuellement de la branche (Figure 17) et on compte 100 feuilles, sans préférence de taille. On veillera par contre à ne pas prendre des feuilles trouées par des grains de chevrotines, sinon le laboratoire aura des problèmes lors de la détermination du poids sec des 100 feuilles. On met les feuilles dans les sacs en polyéthylène micro-perforés (Figure 16) et préalablement marqués à l'extérieur de la manière suivante :

Code placette - numéro de l'arbre - date de prélèvement (jj/mm/aa) - niveau placette

par exemple : CHS 68 - 103 - 15/08/93 - 2

Veillez bien à individualiser chaque échantillon d'un arbre dans un sac différent.

Attention : Evitez de tasser les échantillons, quand vous les mettez dans les sacs. Ceci facilitera au laboratoire le comptage de feuilles non cassées à leur arrivée.

Si, malgré le choix d'un jour sec pour le prélèvement, les feuilles sont humides (gouttes d'eau), on les séchera grossièrement avec des essuies-tout, en portant toujours des gants en polyéthylène. Ce travail sera plus facile dans une voiture (ou un bistrot).

4.4.2. Epicéa, sapin, douglas

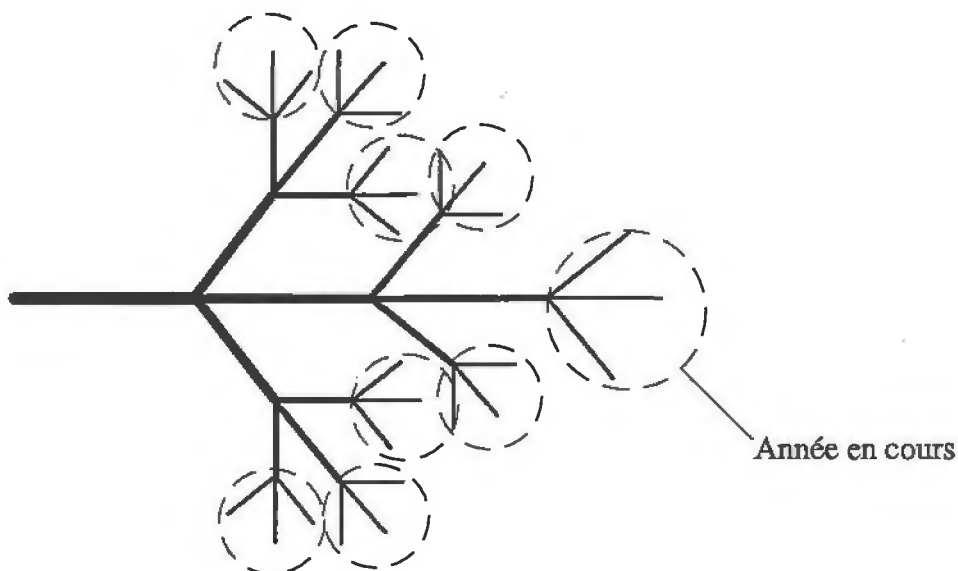
Pour ces essences, il n'est pas nécessaire de détacher les aiguilles ; on coupera au sécateur les rameaux correspondants à l'année à prélever.

Si, malgré le choix d'un jour sec pour le prélèvement, les aiguilles sont humides (gouttes d'eau), ou qu'il y a de la neige sur les branches, on essayera de les égoutter à la main le mieux possible.

Pour le prélèvement, on distinguera deux cas :

1) Placettes de niveau 1

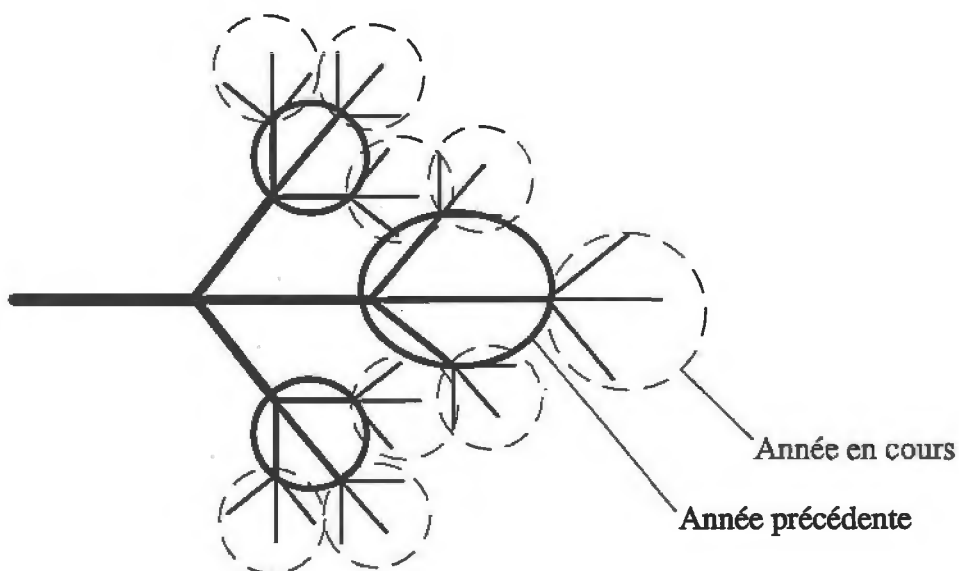
On ne prélève que les rameaux correspondant à l'année courante :



La codification sur les sacs est la même qu'au paragraphe 4.4.1.

2) Placettes de niveau 2 ou 3

On prélève aussi bien les rameaux de l'année courante que les rameaux de l'année précédente (**Figure 18**) :



La codification sur les sacs est :

Code placette - numéro de l'arbre - année du rameau - date de prélèvement - niveau placette

par exemple : DOU 69 - 107 - 1992 - 15/11/93 - 3

Veillez à distinguer aussi bien les échantillons provenant de chaque arbre que les échantillons des deux années différentes (au total 16 sacs individuels).

Figure 16 : Pour le prélèvement des feuilles et des aiguilles on utilise des sacs en polyéthylène micro-perforés.

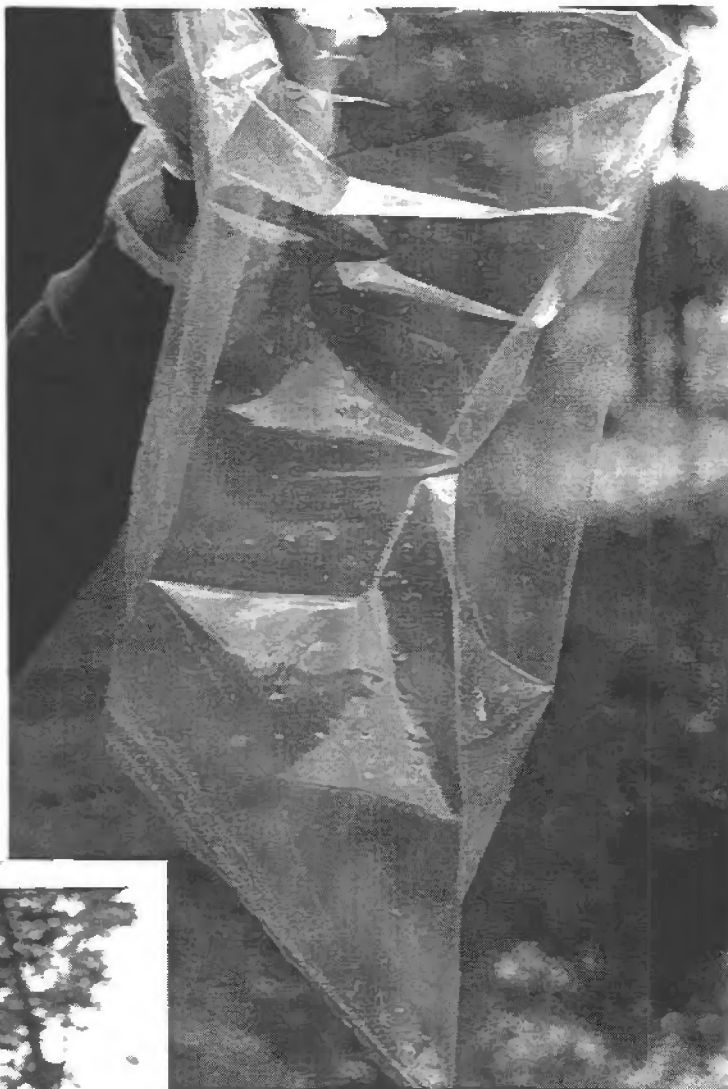


Figure 17 : Les mains gantées, on détache individuellement les feuilles de la branche.

Figure 18 : Chez les résineux on coupe au sécateur les rameaux correspondant à l'année à prélever.



4.4.3. Pin sylvestre, pin maritime, pin laricio

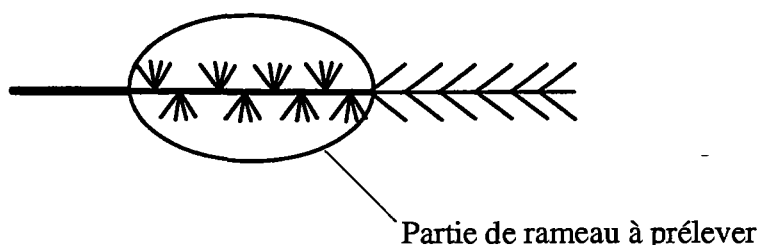
Le mode de prélèvement est exactement le même qu'au paragraphe 4.4.2. Si nécessaire, on détachera les aiguilles sur place, afin de réduire le volume et d'éviter de trop percer les sacs, en raison de la disposition des aiguilles sur la branche.

Chez les pins maritimes, on peut être amené à distinguer les pousses d'été des pousses de printemps, ce qui rend le choix de rameaux plus difficile, car seules les pousses de printemps sont à échantillonner. On peut distinguer ces deux pousses à leur couleur hivernale :

- les **pousses de printemps** sont plutôt **vert foncé** ;
- les **pousses d'été** sont plutôt **vert clair**.

4.4.4. Mélèze

Pour le mélèze, les aiguilles seront choisies sur les rameaux de la pousse de l'année précédente. Veillez bien à ne pas vous tromper :



La codification correspond à celle du paragraphe 4.4.1

4.5. Répétition et séparation des prélèvements sur les arbres "échantillons"

Il est envisagé d'échantillonner environ 15 à 20 grammes de feuilles ou aiguilles fraîches par arbre. N'essayez donc pas de tirer de trop grosses branches. Le nombre de 100 est à peu près adapté pour atteindre ce poids.

Exception : Tous les 5 ans on procédera aussi bien à l'analyse d'un échantillon moyen que des 8 échantillons individuels. Dans ce cas il faudra prélever 100 g (frais) par arbre.

Afin de constituer un échantillon moyen à partir des 8 échantillons individuels d'une placette, le laboratoire procédera au mélange d'un poids sec des 8 échantillons séchés à l'étuve. La séparation des échantillons individuels par arbre est donc essentielle !

Fermez bien les sacs avec un fixe-tout.

4.5.1. Orientation des rameaux sur l'arbre

Dans la mesure du possible, on essaiera de tenir compte de chacun des points cardinaux, en changeant la direction de 90° d'un arbre à l'autre. Au total, on aura donc deux échantillons par direction. Cela sera plus simple dans les forêts de plaine à faible pente (60 placettes avec une pente < 7 %).

Dans les placettes subissant fréquemment des vents forts, dans une direction particulière (surtout placettes en montagne) on ne fera l'échantillonnage que dans la direction opposée aux vents dominants.

On documentera l'orientation choisie pour chaque arbre sur la fiche d'accompagnement.

Afin de ne pas les mutiler sur une seule direction, on changera chaque année la direction sur chaque arbre. Les placettes à forte pente feront certainement exception (18 placettes avec une pente ≥ 25 %). La démarche décrite ci-dessus sera difficile à réaliser, mais on essaiera de faire pour le mieux.

5. Préparation des échantillons et envoi au laboratoire

On envoie les échantillons au laboratoire **immédiatement** après leur prélèvement. En été on mettra les échantillons en permanence à l'abri du soleil, si possible dans l'obscurité totale. Il faut s'organiser de manière à pouvoir expédier les échantillons par la poste au plus tard le lendemain du prélèvement. En hiver, pendant le peu de temps qui séparera l'échantillonnage de l'envoi, on stockera les échantillons dans un endroit froid et dans l'obscurité.

Pour l'**envoi au laboratoire**, on mettra les sacs (bien fermés avec un fixe-tout) dans un carton et on y joindra la fiche d'accompagnement, pour informer le laboratoire des conditions de prélèvement. **Evitez de tasser les sacs !**

On enverra le colis en **COLISSIMO**, recommandé, avec avis de réception.

L'envoi du dernier échantillon sera fait au plus tard 1 jour après la fin de la période d'échantillonnage définie dans le tableau 1.

6. Réception au laboratoire d'analyse

Le laboratoire central d'analyse qui réalisera les analyses foliaires de l'ensemble des placettes du RENECOFOR est l'**INRA-Bordeaux (Laboratoire d'Analyse Végétale** - Monsieur SCHNEIDER (jusqu'à fin 1994) ou GOMEZ (directeur du laboratoire - tél. : 56.84.30.71), Patrice SOULE (responsable réception tél. : 56 84 30 76) - **71, avenue Edouard-Bourleaux, B.P. 81 - 33883 Villeneuve d'Ornon cedex** - Fax : 56.84.30.73).

Le laboratoire d'analyse s'est organisé pour nommer un responsable pour la réception des échantillons venant du RENECOFOR. En été, il recevra les échantillons provenant de 51 placettes (51 x 8 échantillons).

En hiver, il recevra les échantillons de 51 placettes (32 x 8 échantillons des placettes de niveau 1 et 19 x 16 échantillons des placettes de niveaux 2 et 3, sauf cas exceptionnel de double échantillonnage sur certaines placettes).

Afin de pouvoir vérifier, si l'ensemble des échantillons des placettes a été transmis, le laboratoire dispose d'une fiche d'accusé de réception pour les feuillus (envoi d'été) et de deux fiches pour les résineux (envoi d'hiver) (**Tableaux 2a, 2b et 2c**). Cette fiche lui permettra de pointer l'arrivée des échantillons.

Au plus tard le 15 septembre (en été) et le 31 janvier (en hiver) le responsable du laboratoire enverra ces fiches au centre de coordination à Fontainebleau (à l'attention de Erwin ULRICH), afin de l'informer dans les délais du résultat de la réception.

Chaque groupe d'échantillons provenant d'une placette sera accompagné d'une fiche individuelle d'accompagnement (voir chapitre 9). Le responsable de la réception vérifiera chaque échantillon individuellement, afin de savoir s'il est arrivé en bon état (codifié de manière complète, non décomposé, non contaminé par des particules visibles, etc...) et s'il y a bien le bon nombre d'échantillons.

En cas d'anomalie, le responsable de la réception l'indiquera dans la fiche d'accompagnement et contactera immédiatement le centre de coordination du RENECOFOR ou la Section Technique Interrégionale concernée (coordonnées, voir chapitre 11).

Attention : Toute manipulation des échantillons (feuilles ou aiguilles) doit se faire en portant des gants en polyéthylène.

Tableau 2a : Fiche d'accusé de réception par le laboratoire d'analyse, des échantillons foliaires provenant des placettes feuillues (à envoyer au plus tard le 15 septembre de chaque année au centre de coordination du RENECOFOR, à Fontainebleau).

Code placette	Essence principale	Date de réception (jj/mm/aaaa)	Observations concernant la livraison
CHP 10	Chêne pédonculé		
CHP 18	Chêne pédonculé		
CHP 40	Chêne pédonculé		
CHP 49	Chêne pédonculé		
CHP 55	Chêne pédonculé		
CHP 59	Chêne pédonculé		
CHP 65	Chêne pédonculé		
CHP 70	Chêne pédonculé		
CHP 71	Chêne pédonculé		
CHS 01	Chêne sessile		
CHS 03	Chêne sessile		
CHS 10	Chêne sessile		
CHS 18	Chêne sessile		
CHS 21	Chêne sessile		
CHS 27	Chêne sessile		
CHS 35	Chêne sessile		
CHS 41	Chêne sessile		
CHS 51	Chêne sessile		
CHS 57a	Chêne sessile		
CHS 57b	Chêne sessile		
CHS 58	Chêne sessile		
CHS 60	Chêne sessile		
CHS 61	Chêne sessile		
CPS 67	Chêne sessile		
CHS 68	Chêne sessile		
CHS 72	Chêne sessile		
CHS 81	Chêne sessile		
CHS 86	Chêne sessile		
CHS 88	Chêne sessile		
CPS 77	Chêne sessile		
HET 02	Hêtre		
HET 03	Hêtre		
HET 04	Hêtre		
HET 09	Hêtre		
HET 14	Hêtre		
HET 21	Hêtre		
HET 25	Hêtre		
HET 26	Hêtre		
HET 29	Hêtre		
HET 30	Hêtre		
HET 52	Hêtre		
HET 54a	Hêtre		
HET 54b	Hêtre		
HET 55	Hêtre		
HET 60	Hêtre		
HET 64	Hêtre		
HET 65	Hêtre		
HET 76	Hêtre		
HET 81	Hêtre		
HET 88	Hêtre		
MEL 05	Mélèze		

Tableau 2b : Fiche d'accusé de réception par le laboratoire d'analyse, des échantillons foliaires, provenant des placettes résineuses (à envoyer au plus tard le 31 janvier de chaque année au centre de coordination du RENECOFOR, à Fontainebleau).

Code placette	Essence principale	Date de réception (jj/mm/aaaa)	Observations concernant la livraison
DOU 23	Douglas		
DOU 34	Douglas		
DOU 61	Douglas		
DOU 65	Douglas		
DOU 69	Douglas		
DOU 71	Douglas	a)	
		b)	
EPC 08	Epicéa	a)	
		b)	
EPC 34	Epicéa		
EPC 39a	Epicéa		
EPC 39b	Epicéa		
EPC 63	Epicéa	a)	
		b)	
EPC 71	Epicéa		
EPC 73	Epicéa		
EPC 74	Epicéa	a)	
		b)	
EPC 81	Epicéa		
EPC 87	Epicéa	a)	
		b)	
EPC 88	Epicéa		
PL 20	Pin laricio	a)	
		b)	
PL 41	Pin laricio		
PM 17	Pin Maritime	a)	
		b)	
PM 20	Pin maritime		
PM 40a	Pin maritime		
PM 40b	Pin maritime		
PM 40c	Pin maritime	a)	
		b)	
PM 72	Pin maritime	a)	
		b)	
PM 85	Pin Maritime	a)	
		b)	

Tableau 2c : Fiche d'accusé de réception par le laboratoire d'analyse, des échantillons foliaires, provenant des placettes résineuses (à envoyer au plus tard le 31 janvier de chaque année au centre de coordination du RENECOFOR, à Fontainebleau).

Code placette	Essence principale	Date de réception (jj/mm/aaaa)	Observations concernant la livraison
PS 04	Pin sylvestre		
PS 15	Pin sylvestre		
PS 35	Pin sylvestre		
PS 41	Pin sylvestre		
PS 44	Pin sylvestre	a)	
		b)	
PS 45	Pin sylvestre		
PS 61	Pin sylvestre		
PS 63	Pin sylvestre		
PS 67a	Pin sylvestre	a)	
		b)	
PS 67b	Pin sylvestre		
PS 76	Pin sylvestre	a)	
		b)	
PS 78	Pin sylvestre		
PS 88	Pin sylvestre		
PS 89	Pin sylvestre		
SP 05	Sapin pectiné	a)	
		b)	
SP 07	Sapin pectiné		
SP 09	Sapin pectiné		
SP 11	Sapin pectiné	a)	
		b)	
SP 25	Sapin pectiné	a)	
		b)	
SP 26	Sapin pectiné		
SP 38	Sapin pectiné	a)	
		b)	
SP 39	Sapin pectiné		
SP 57	Sapin pectiné	a)	
		b)	
SP 63	Sapin pectiné		
SP 68	Sapin pectiné	a)	
		b)	

7. Travaux préparatoires avant l'analyse

7.1. Stockage des échantillons avant leur manipulation

Si les échantillons ne peuvent être traités immédiatement après leur réception, on les stockera au réfrigérateur (entre 0 et 4°C), **mais pas plus de deux semaines**.

Il est cependant préférable de procéder au séchage définitif en étuve de tous les échantillons le plus rapidement possible, afin d'éviter toute évolution chimique et ainsi leur dégradation.

7.2. Précautions à prendre pour éviter la contamination au laboratoire

Le laboratoire se chargera de prendre toutes les précautions pour éviter que :

- les échantillons circulent dans des locaux poussiéreux ;
- les échantillons puissent être contaminés par de fortes concentrations de gaz dans l'air (SO_2 , NO_x , etc...) entraînant un dépôt à la surface des feuilles ou aiguilles ;
- des fumées puissent atteindre les locaux de manipulation ou d'analyses des échantillons ;
- les échantillons soient au contact d'une éventuelle corrosion de surfaces métalliques.

Avant de procéder à la préparation des échantillons, le responsable du laboratoire chargé du suivi de la préparation et des analyses des échantillons inspectera les lieux destinés à cet usage pour détecter d'éventuelles sources de contamination.

Attention : De vieilles peintures sur les murs ou au plafond sont également des sources de contamination.

Il est recommandé d'essuyer chaque jour les surfaces sur lesquelles on travaille. Ceci est surtout important dans le cas où l'on travaille avec des sels concentrés pour faire des extractions. Les cristaux secs de sel représentent une source de contamination concentrée. De même, le contact des mains avec de tels cristaux est une source de contamination fréquente.

Pour éviter la contamination par des matériaux plastiques ou de la verrerie mal lavés, le laboratoire se soumettra aux exigences des normes françaises et européennes sur les bonnes pratiques en laboratoire.

7.3. Préparation des échantillons pour l'analyse

7.3.1. Constitution de l'échantillon moyen pour l'analyse

Afin de constituer un échantillon moyen à partir des 8 échantillons individuels d'une placette, le laboratoire procédera au mélange d'un poids sec des 8 échantillons séchés à l'étuve. Le poids sec du mélange devra être suffisant pour permettre de faire au maximum 3 analyses complètes.

On séchera les échantillons à une **température maximale de 40°C pendant 24 à 48 heures**, puis on les pèsera.

7.3.1. Détermination de la masse foliaire

Avant de sécher les échantillons **feuillus**, on compte 100 feuilles parmi les 8 échantillons en prenant 12 ou 13 feuilles par arbre sans privilégier une taille de feuille, pour constituer un deuxième échantillon moyen basé sur le nombre de feuilles. On essaiera par contre au mieux d'écarter les feuilles trouées par des chevrotines.

Les feuilles séparées à cet effet seront séchées à l'étuve séparément du reste de l'échantillon, afin de pouvoir déterminer leur poids sec.

Il est recommandé de procéder rapidement à la séparation des feuilles pour la pesée, après la réception des échantillons. Ceci évitera que les feuilles ne soient trop cassantes, ce qui rendrait le comptage difficile.

Pour les **résineux**, il est nécessaire de les sécher à l'étuve avant le comptage, sinon on ne pourra pas enlever les aiguilles des branches.

Le comptage des aiguilles se fera manuellement en prenant par exemple 50 aiguilles de chaque échantillon individuel. On obtiendra ainsi $50 \times 8 = 400$ aiguilles, dont on déterminera le poids sec qu'on extrapolera pour obtenir le poids sec de 1000 aiguilles. Lors du comptage on ne prendra en compte que les aiguilles non cassées, sur lesquelles on peut encore distinguer la base par laquelle elles étaient attachées au rameau.

7.4. Lavage exceptionnel des échantillons

Dans un premier temps le laboratoire procède de la manière suivante :

- les échantillons sont séchés à 40°C pour permettre la séparation des aiguilles sur les rameaux ;
- chaque échantillon est divisé par la méthode des quartiers ;
- un quartier est prélevé pour constitution de l'échantillon non-lavé ;
- le quartier opposé est prélevé pour constitution de l'échantillon lavé ;
- l'échantillon à laver est placé dans une bassine en présence de 3 litres d'eau déminéralisée ;
- la suspension est agitée manuellement pendant 1 ou 2 minutes ;
- les aiguilles sont essorées sur plusieurs couches de papier Joseph superposées ;
- les échantillons sont ensuite placés à l'étuve à 40°C pour séchage et broyage.

7.5. Broyage des échantillons

Afin d'obtenir une poudre fine, aussi homogène que possible, les échantillons moyens seront broyés.

Attention : Le laboratoire d'analyse doit s'assurer qu'il n'utilise pas de broyeur pouvant contaminer les échantillons avec Mn, Fe, Cu, Al ou Pb.

Le laboratoire devra tester le(s) broyeur(s) utilisé(s) en broyant de la cellulose sèche pure en fibre et en analysant la poudre récoltée.

8. Analyses chimiques

D'après la décision du groupe d'expert sur les analyses foliaires de l'ICP-Forest, chaque pays européen est libre d'utiliser les méthodes analytiques qui lui conviennent pour la détermination des éléments totaux. Une liste des différentes méthodes acceptées par l'ICP se trouve au chapitre 13. On déterminera les concentrations totales des éléments suivants : azote, phosphore, soufre, calcium, magnésium, potassium, sodium, chlore, zinc, manganèse, fer, cuivre, aluminium ; et on mesurera le poids sec de 100 feuilles ou 1 000 aiguilles.

8.1. Utilisation d'étalons de référence et intercalibration internationale

Afin de pouvoir comparer les résultats nationaux avec ceux d'autres pays, il est essentiel que le laboratoire central utilise régulièrement pendant l'ensemble des analyses des étalons de référence (le mieux serait d'utiliser les étalons du BCR, Bureau communautaire de référence, de l'Union Européenne).

De plus, le laboratoire d'analyse est tenu de participer à une intercalibration internationale, menée par Maurice Bonneau (INRA - CRF de Nancy). Pour ce faire les laboratoires des différents pays reçoivent des étalons standards de référence, certifiés au préalable par le BCR pour cette étude, et sur lesquels il doit faire un certain nombre de déterminations en plusieurs répétitions.

8.2. Transmission des résultats d'analyse

Chaque année, le laboratoire transmettra les résultats d'analyse **au plus tard le 31 octobre et le 15 mars** (deux mois après la date limite de transmission des échantillons à partir des STIR ou laboratoire). Les données seront transmises au centre de coordination à Fontainebleau (à l'attention de Erwin ULRICH) aussi bien sous forme de fichier informatique (fichier ASCII ou Excel sur disquette 3,5 pouces) que sous forme imprimée.

8.3. Définition des méthodes analytiques utilisées par le laboratoire français

Le laboratoire de l'INRA transmettra une liste contenant la définition de l'ensemble des méthodes utilisées dans le cadre du RENECOFOR, au centre de coordination à Fontainebleau.

Attention : Chaque changement, même le plus minime, dans une des méthodes analytiques sera signalé au centre de coordination du RENECOFOR, en indiquant la date d'effet. Le laboratoire transmettra en même temps la nouvelle définition de la méthode analytique au RENECOFOR. Il est fortement recommandé de ne pas changer de méthode au cours d'une campagne de mesure annuelle, afin de préserver la comparabilité des résultats.

8.4. Archivage du reste des échantillons

La quantité de feuilles ou d'aiguilles recueillie sur le terrain devrait être suffisante pour qu'il en reste après l'analyse. Le reste de l'échantillon moyen de chaque placette, réduit en poudre, sera stocké dans de petits flacons en polyéthylène, sur lesquels on

inscrira le code de la placette. L'ensemble des flacons sera ensuite envoyé au centre de coordination à Fontainebleau, qui les archivera à la pédothèque.

9. Fiche d'accompagnement des échantillons

Il existe une seule fiche d'accompagnement (voir page suivante). Cette fiche servira à documenter annuellement le choix des arbres "échantillons" (leur numéro), l'orientation du prélèvement par arbre, et les problèmes rencontrés.

La fiche d'accompagnement a trois destinataires :

- la STIR, pour archivage et réutilisation l'année suivante (concernant le choix des arbres et les informations sur l'orientation du prélèvement) ;
- le laboratoire d'analyse de l'INRA, en tant que fiche d'accompagnement ;
- le centre de coordination à Fontainebleau, pour archivage et traitement informatique.

Sur la fiche d'accompagnement on notera surtout les points suivants dans la rubrique "Observations", s'ils se manifestent :

- les problèmes de distinction des pousses de printemps des pousses d'été ;
- les problèmes de changement d'orientation pour le prélèvement chez l'un ou l'autre arbre ;
- dans le cas où l'on change de groupe d'arbre, la raison de ce changement ;
- la taille exceptionnelle des feuilles ou aiguilles (beaucoup plus petite ou beaucoup plus grande)
- une attaque éventuelle par des insectes ravageurs ou d'autres causes ; si le Département de la Santé des Forêts a fait un constat, indiquez les nom de(s) (l')insecte(s) ou d'une autre cause principale ;
- s'il s'agit **chez les feuillus** d'une année de glandée ou de fainée, ou **chez les résineux** d'une année de forte production de cônes ;
- un changement de la classe sociale (d'arbres dominants ou co-dominants vers des arbres dominés).

RENECOFOR

FICHE D'ACCOMPAGNEMENT DES ECHANTILLONS FOLIAIRES

Code placette :
 Niveau d'observation :
 STIR :

Date de prélèvement :
 Prélèvement fait par :

Phase 1	a) choix des arbres et de la direction de prélèvement							
	1 ^{er} arbre	2 ^e arbre	3 ^e arbre	4 ^e arbre	5 ^e arbre	6 ^e arbre	7 ^e arbre	8 ^e arbre
N°	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
	Direction de prélèvement (par exemple O ou NE)							
	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Observations :								

Phase 1	b) En cas de prélèvement exceptionnel sur deux groupes d'arbres choix des arbres du deuxième groupe et de la direction de prélèvement							
	1 ^{er} arbre	2 ^e arbre	3 ^e arbre	4 ^e arbre	5 ^e arbre	6 ^e arbre	7 ^e arbre	8 ^e arbre
N°	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
	Direction de prélèvement (par exemple O ou NE)							
	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>
Observations :								

Phase 2 : Envoi des échantillons au laboratoire d'Analyse Végétale de l'INRA Bordeaux
 (joindre copie de la fiche).

Phase 3 : Envoi de la fiche au centre de coordination à Fontainebleau et archivage à la STIR
 (envoi groupé de l'ensemble des fiches de la campagne de prélèvements).

Phase 4 : Réception des échantillons au laboratoire d'Analyse Végétale de l'INRA Bordeaux.
Observations sur l'état des échantillons :

Phase 5 : Saisie de cette fiche au centre de coordination du réseau.
Saisie réalisée par (nom) : Date (jj/mm/aa) :

10. Check-list pour le terrain : matériel nécessaire pour l'échantillonnage

Lors des campagnes de prélèvement, on doit apporter le matériel suivant sur le terrain :

- fusil de chasse spécial démonté dans sa mallette de transport ;
- un caoutchouc mousse épais à mettre sur l'épaule (pour y poser le fusil) ;
- éventuellement une petite bâche, si vous envisagez de tirer couché au sol ;
- munitions :
 - environ 25 cartouches de chevrotines par placette ;
 - quelques cartouches à balles ;
- nécessaire de nettoyage ;
- graisse pour armes ;
- chiffon pour le nettoyage de l'arme ;
- jumelles (si possible) ;
- entre 10 et 20 sacs perforés, en polyéthylène, par placette, **pré-étiquetés** à l'extérieur avec des étiquettes autocollantes et stockés à l'abri de toute poussière ;
- étiquettes autocollantes ;
- sécateur propre ;
- rouleau fixe-tout ;
- gants en polyéthylène ;
- rouleau d'essuie-tout
- marqueur indélébile (type Pentel) ;
- fiches d'accompagnement (fiches vierges) ;
- copie de la fiche d'accompagnement de l'année précédente ;
- crayons de papier ;
- boussole ;
- bac(s) propre(s) pour y abriter les échantillons (ensachés) ;
- canne (pour faire tomber des rameaux accrochés dans le sous-bois) ;
- coussin hémostatique ;
- trousse de secours.

11. Coordonnées du personnel du Département des Recherches Techniques

Centre de coordination

E. ULRICH, B. ROMAN AMAT, M. LANIER
O.N.F. - Département des Recherches Techniques
Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau
Tél. : (1).64.22.18.07 Fax : (1).64.22.49.73

Sections Techniques Interrégionales (STIR)

O.N.F. - STIR Nord-Ouest
B. PILARD-LANDEAU, J. PIAT
3, rue du Petit-Château, 60200 Compiègne
Tél. : 44.40.11.94 Fax : 44.40.36.02

O.N.F. - STIR Nord-Est
G. COLIN, P. SIGAUD, D. CORNEVIN, P. FELIX
Parc de Haye, 54840 Velaine-en-Haye
Tél. : 83.23.40.00 Fax : 83.23.30.18

O.N.F.- STIR Ouest
M.N., M.N.
O.N.F. - Cité Administrative Coligny, 45042 Orléans Cedex
Tél. : 38.62.27.10 Fax : 38.81.76.21

O.N.F. - STIR Est
C. DEMOLIS, D. FRANÇOIS
21, rue du Muguet, 39100 Dole
Tél. : 84.79.07.78 Fax : 84.72.80.19

O.N.F. - STIR Massif Central
P. DEMARCQ, J.-C. BIGET
48, av. Marx Dormoy, 63000 Clermont Ferrand
Tél. : 73.35.36.76

O.N.F. - STIR Alpes
D. LECLERC, J. FAY
64, Quai Charles Roissard B.P. 657, 73006 Chambéry Cedex
Tél. : 79.69.78.45 Fax : 79.96.31.73

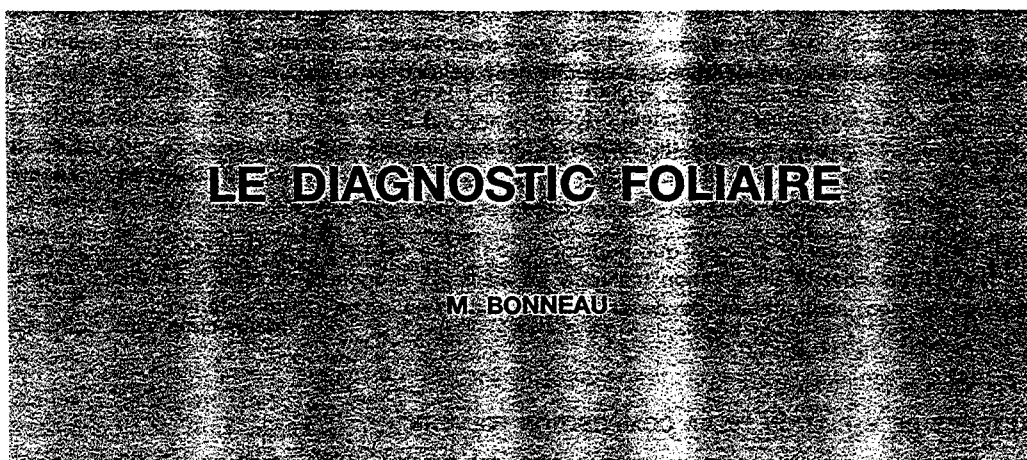
O.N.F. - STIR Sud-Ouest
F. CHOLLET, P. DESPLANCHES, J.-M. DUMAS
23, bis boulevard Bonrepos, 31000 Toulouse
Tél. : 61.62.43.66 Fax : 61.63.77.79

O.N.F. - STIR Méditerranée
B. COUHERT, P. DELON
1175 Chemin du Lavarin, 84000 Avignon
Tél. : 90.89.32.39 Fax : 90.89.85.63

Etude des stations et Pédologie (A. BRETHES)
O.N.F. - Cité Administrative Coligny, 45042 Orléans Cedex
Tél. : 38.62.27.10 Fax : 38.81.76.21

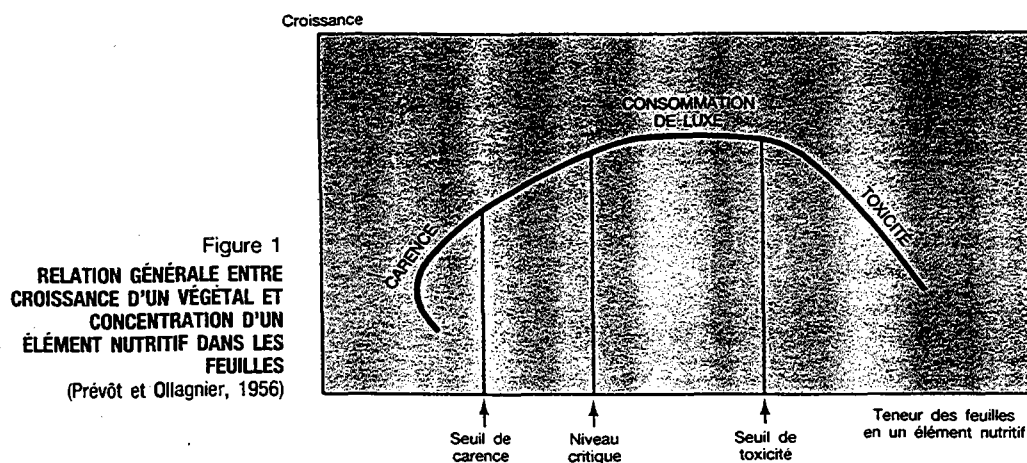
12. Le diagnostic foliaire (Maurice Bonneau, 1988)

Reproduction d'un article paru dans la Revue Forestière Française, avec l'autorisation de celle-ci.



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 définie, 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.

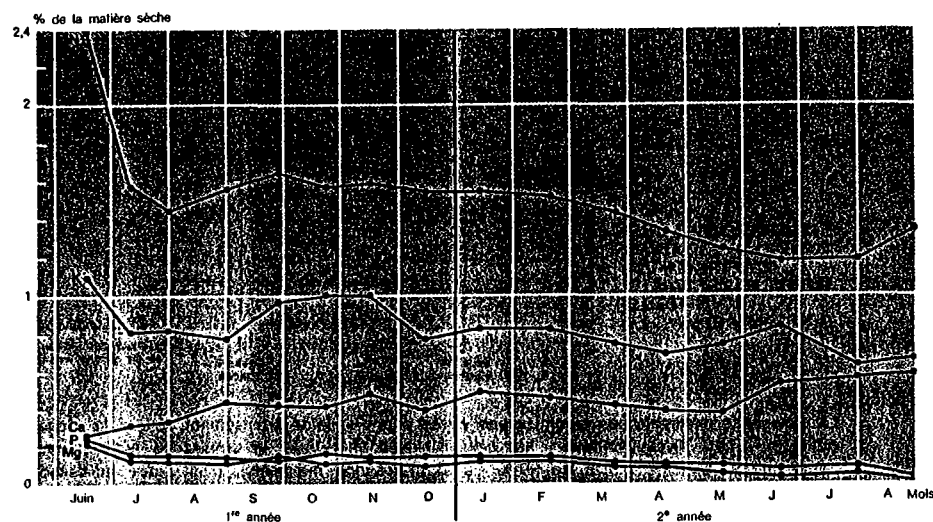
Enfin il est nécessaire de préciser que le diagnostic foliaire est propre à détecter, tout aussi bien que les insuffisances d'alimentation minérale en éléments biogènes, l'excès d'éléments divers, biogènes ou non, susceptibles de devenir toxiques au-delà d'une certaine teneur.

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.



20

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.

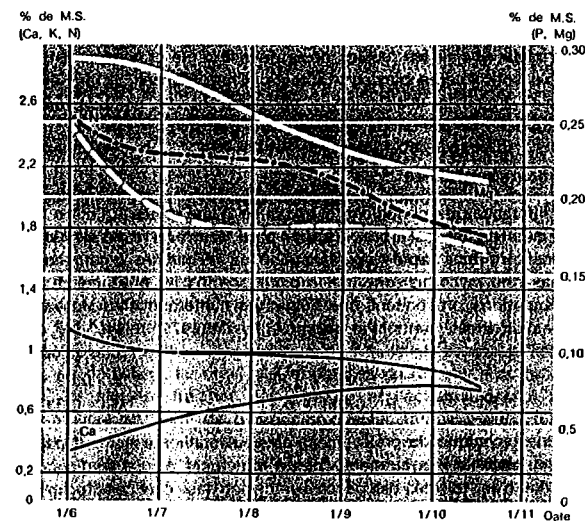
Variation avec la position de la feuille dans l'arbre

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)



21

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, 1978 (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-

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
5 ^e au 7 ^e verticille pour les résineux adultes. 2 ^e au 3 ^e verticille pour un résineux de quelques années. 15 octobre au 15 novembre.	10 arbres au moins par station, les feuilles seront mélangées pour fournir un échantillon moyen : — dominants (peuplement fermé) ; — moyens (peuplement avant fermeture). Feuilles de l'année (sauf cas particuliers).	Tiers supérieur de la cime. 10 au 31 août.

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 ;

— 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 (Rehliuss, 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.

Tableau II Normes de composition foliaire

	N (%)			P (%)			K (%)				Ca (%)			Mg (%)			S (%)			
	Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale	Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale	Seuil de carence	Niveau critique	Teneur optimale		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	0,05 à 0,1		0,10 à 0,12	0,06		0,10 à 0,14		0,12 à 0,18	1		
2	1 à 1,3	1,3 à 1,5	1,5 à 1,9			0,19 à 0,25	0,3 à 0,4	0,4 à 0,5	0,6 à 0,8			0,3 à 0,5						2		
3			2 à 2,3			0,22 à 0,30			0,7 à 0,8			0,6						3		
4		1,5 à 2	2 à 2,5			0,15 à 0,20			0,8 à 1,3			0,5 à 0,8						4		
5	1,5 à 2	2 à 2,5	2,5 à 3			0,25 à 0,30			1,5 à 2			0,6 à 1			0,10 à 0,14		0,17 à 0,20	0,13	0,35	5
	Fe (ppm)			Mn (ppm)			Cu (ppm)				Zn (ppm)			B (ppm)						
1						> 50				5		> 8			10 à 20					
2	40			20		> 50	2,5 à 4		4 à 10	5 à 10		> 20	3 à 8	8 à 10	15 à 30					
3																				
4	40		90			> 100	3 à 5	10 à 20		19			10 à 30		30 à 70					
5	40		90			> 100														

1 : Résineux à grandes aiguilles : P. maritime, P. noir, P. Laricio.

2 : Résineux à petites aiguilles : Épicéa, Sapin, P. sylvestre, Douglas (sauf pour P).

3 : Mélèze.

4 : Feuillus peu exigeants : Hêtre, Chêne, Peuplier trichocarpa (Douglas pour P).

5 : Feuillus exigeants : Bouleau, Erable, Noyer, Aulne.

1 : Résineux à grandes aiguilles : P. maritime, P. noir, P. Laricio.
 2 : Résineux à petites aiguilles : Épicéa, Sapin, P. sylvestre, Douglas (sauf pour P).
 3 : Mélèze.
 4 : Feuillus peu exigeants : Hêtre, Chêne, Peuplier trichocarpa (Douglas pour P).
 5 : Feuillus exigeants : Peuplier, Frêne, Noyer, Aune...

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.

Culvre

— 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 11,8. 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 N P K 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, 1978, 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, 1984, 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, 1958.
- REHFUESS (K.E.). — Über den Ernährungszustand nordbayerischer Tannenbestände. — *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, vol. 87, n° 3, 1968, pp. 129-150.