

Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF)

I - Définitions et méthodes

par G. GAGNON, C. GRAVEL, R. OUMET,
N. DIGNARD, R. PAQUIN et G. ROY

Ce mémoire contient un errata
à la page iv du document



Gilles GAGNON a obtenu en 1966 un diplôme de bachelier ès sciences appliquées (génie forestier) de la Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval. En 1972, le même établissement lui décernait le diplôme de maître ès sciences (écologie et pédologie). À l'emploi du ministère des Terres et Forêts à partir de 1966, il est d'abord affecté au Service des inventaires forestiers puis, en 1967, au Service de la recherche nouvellement formé, à titre de chargé de recherche en écologie végétale. En 1978, il devient secrétaire exécutif du Conseil consultatif sur les réserves écologiques du ministère des Terres et Forêts, rattaché en 1979 au nouveau ministère de l'Environnement. A la fin de 1984, il revient à la Recherche forestière comme responsable des projets liés au dépérissement de la forêt.

Clément GRAVEL a été à l'emploi du Service de la recherche appliquée à partir de 1967; il y a terminé sa carrière en 1994 comme technicien forestier principal.

Rock OUMET est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1983. En 1986, il a reçu une maîtrise ès sciences de la sylviculture de l'*University of New Brunswick*. De 1986 à 1989, il a été chargé de recherches en chimie du sol et nutrition des plantes à l'Université Laval. Depuis 1989, il est à l'emploi du Service de la recherche appliquée comme chargé de recherches sur la fertilité des sols forestiers et la nutrition des forêts. Il termine à l'Université Laval une thèse de doctorat sur les désordres nutritionnels des érablières affectées par le dépérissement.

Depuis de nombreuses années, chacun des Mémoires et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique du Canada ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche forestière remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère des Ressources naturelles.

Norman DIGNARD est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1981. En 1987, le même établissement lui décernait le titre de maître ès sciences forestières (écologie et pédologie forestières). Il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière depuis octobre 1987 à titre de chargé de recherches en écologie et en botanique forestière.

Raynald PAQUIN est ingénieur forestier, bachelier ès sciences (aménagement des ressources forestières) de l'Université Laval depuis 1986. Ce même établissement lui décernait en 1990 le diplôme de maître ès sciences. À l'emploi de la Direction de la recherche forestière depuis 1993, il est chargé de recherches en protection des forêts (effets des stress environnementaux sur les écosystèmes forestiers) et poursuit des études de doctorat.

Gabriel Roy est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1981. En 1989, ce même établissement lui décernait le diplôme de maître ès sciences en foresterie. De 1981 à 1983, il a travaillé à l'aménagement des forêts des Îles de la Madeleine, tout en poursuivant des études en biologie forestière à l'Université Laval. Depuis 1983, il est à l'emploi de la Recherche forestière et s'occupe principalement du dépérissement des érablières. Depuis 1991, il poursuit des études de doctorat à l'Université de Sherbrooke.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à *tirage limité* et à *diffusion restreinte*. Adresser toute demande à la :

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles du Québec
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
Canada G1P 3W8

LE RÉSEAU DE SURVEILLANCE DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS (RESEF)

I - DÉFINITIONS ET MÉTHODES

LE RÉSEAU DE SURVEILLANCE DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS (RESEF)

I - DÉFINITIONS ET MÉTHODES

par

Gilles GAGNON, ing.f., M.Sc.

Clément GRAVEL, techn.for.

Rock OUMET, ing.f., M.Sc.

Norman DIGNARD, ing.f., M.Sc.

Raynald PAQUIN, ing.f., M.Sc.

et

Gabriel ROY, ing.f., M.Sc.

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 115

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES
DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

1994

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche 051390 :
Étude de la dynamique et des mécanismes de fonctionnement des principaux écosystèmes forestiers soumis à différents stress environnementaux et anthropiques.

ERRATA

page - parag. - ligne

v	2	8	Le laboratoire des sols et tissus s'appelle maintenant : Laboratoire de chimie inorganique du MRN
13	1	4	...Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations
28	1	1	... : à la fin de la saison de végétation, ...

ISBN 2-550-29736-9
ISSN 1183-3912
Dépôt légal - 1994
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© Gouvernement du Québec 1994

REMERCIEMENTS

De nombreux intervenants ont collaboré à la mise sur pied du Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) et à son exploitation. Nos remerciements s'adressent d'abord à plusieurs chefs d'Unité de gestion du ministère des Ressources naturelles pour leur collaboration dans le choix des places d'étude. Nous remercions aussi les organismes suivants de nous avoir permis d'installer des places d'étude sur leur territoire : la compagnie DOMTAR, le Groupement forestier de l'Est du lac Témiscouata, l'institut Jos-Rhéaume, la Direction de la conservation et du patrimoine écologique du ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF), les directions des parcs du Mont-Orford, de la Gaspésie et du Saguenay, la Commission de la Capitale nationale et le Centre de recherche acéricole du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

La Direction des réseaux atmosphériques du MEF est un partenaire important dans ce projet par son implication dans la collecte et l'analyse des données climatiques et de la qualité de l'air ambiant. La collaboration de la Direction de la conservation du MRN est aussi fort appréciée pour son engagement dans la cueillette et l'analyse des polluants gazeux à Duchesnay. Nous témoignons également notre reconnaissance à nos dévoués collaborateurs qui exécutent les travaux sur le terrain et la compilation des résultats : messieurs Benoît Toussaint, Guy Brousseau, Carlo Gros-Louis, Jacques Martineau, Jean-Marc Boivin, Sylvain Saint-Laurent, Jean-Guy Laflamme, Jean Gagné et Mario Saint-Germain. Les analyses de sol et de feuilles sont effectuées par le laboratoire des sols et des tissus du MRN; nous remercions ceux qui collaborent à ces analyses. Nos sincères remerciements également à monsieur Raymond Castonguay pour sa participation dans la confection des figures, à madame Sylvie Bourassa pour la dactylographie de ce texte et à monsieur Fabien Caron pour la révision et l'édition de ce document.

RÉSUMÉ

Différents organismes internationaux ont démontré l'importance de connaître l'impact des différents stress environnementaux sur la dynamique des écosystèmes forestiers et leur état de santé. Ce projet a donc pour objectifs de fournir des données de référence essentielles à toute analyse comparative, de suivre la dynamique à long terme des écosystèmes, d'évaluer les changements climatiques et leur importance dans l'évolution de l'écosystème forestier et d'analyser les liens qui existent entre les critères écologiques et les facteurs de stress naturels et d'origine anthropiques. Ce projet a nécessité l'implantation du Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) et du Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole du Québec (REMPAFAQ). Les divers peuplements climaciques choisis sont étudiés en mettant l'accent sur leur productivité, leur croissance, leur statut nutritif et leur état de santé. L'établissement de 31 places d'étude couvre les principaux types d'écosystèmes forestiers du Québec. La mise sur pied du réseau d'échantillonnage de la qualité de l'air et des données climatiques de même que la cueillette et la compilation des données sont sous la responsabilité du ministère de l'Environnement et de la Faune. Dix-sept postes d'échantillonnage sont en fonction pour les études en milieu forestier. D'autres données climatiques et de qualité de l'air sont fournies par le Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec (REPQ) et le Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air (RCEPA).

ABSTRACT

Several international organizations have demonstrated the importance of knowing the impact of different environmental stresses on the dynamics and vigor of forest ecosystems. The objectives of this research project are to provide basic information essential to any comparative analysis, to follow long-term dynamics of ecosystems, to assess climatic changes and their importance on forest ecosystem evolution and to analyse existing relationships between ecological criteria and factors of natural stresses or of anthropic origins. This project implied the establishment of a network for the observation of forest ecosystems (RESEF : Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers) and a network for measuring atmospheric pollutants in Quebec forest and agricultural environments (REMPAFAQ : Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole du Québec). The study of different selected climax stands focuses on their productivity, growth, nutritious status and vigor. The network of 31 study areas covers the main forest ecosystems in Quebec. The establishment of the network on air quality and climatic data as well as collection and treatment of information are under the responsibility of Quebec's Ministère de l'environnement et de la Faune. Seventeen sampling sites are in operation for studies in forest environments. Other climatic and air quality data are provided by the Quebec sampling network on precipitation (REPQ : Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec) and the Canadian sampling network on precipitation and air (RCEPA : Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air = CAPMoN : Canadian Air and Precipitation Monitoring Network).

TABLE DES MATIÈRES

	page
REMERCIEMENTS	v
RÉSUMÉ	vii
ABSTRACT	vii
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES FIGURES	xiii
INTRODUCTION	1
1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE	1
1.1 Objectifs	1
1.2 Dispositif expérimental	2
2. CRITÈRES DE SÉLECTION DES PLACES D'ÉTUDE	4
3. MÉTHODE D'ÉTABLISSEMENT DES PLACES D'ÉTUDE	4
4. NIVEAUX D'INTENSITÉ DES ÉTUDES	5
5. PARAMÈTRES ÉTUDIÉS : OBJECTIFS ET DESCRIPTION	7
A. POUR L'ENSEMBLE DES PLACES D'ÉTUDE (NIVEAU 1)	7
5.1 Description générale de la place d'étude	7
5.2 Données sur la végétation	8
5.3 Données sur le statut nutritif du peuplement	9
5.3.1 Échantillonnage foliaire	9
5.3.2 Relevés pédologiques	9

	page
5.4 Données sur l'état de santé des peuplements	10
5.4.1 Le dépérissement	10
5.4.1.1 Essences feuillues	10
a) Dépérissement des branches	10
b) Densité du feuillage	11
c) Feuillage rabougri	11
d) Décoloration du feuillage	11
5.4.1.2 Essences résineuses	12
5.4.2 Défauts de la tige (peuplements feuillus)	12
5.4.3 Relevés des insectes et des maladies	12
5.5 Analyse de la qualité de l'air ambiant et des précipitations	12
5.6 Données climatiques	13
B. POUR LES PLACES D'ÉTUDE DE DUCHESNAY (NIVEAU 2)	13
5.7 Échantillonnage des sols	13
5.8 Échantillonnage de l'eau	13
5.9 Échantillonnage de la qualité de l'air	14
5.10 Échantillonnage de la litière	14
6. OPÉRATIONS PRÉVUES ET PÉRIODICITÉ	14
BIBLIOGRAPHIE	17
ANNEXE 1. Méthode d'étude dendrochronologique dans le RESEF	19
ANNEXE 2. Méthode d'inventaire de la végétation des places d'étude permanentes du RESEF	23
ANNEXE 3. Méthode d'échantillonnage foliaire dans le RESEF	25
ANNEXE 4. Méthode d'étude pédologique des stations du RESEF	31
ANNEXE 5. Liste des défauts de la tige, des insectes et des maladies relevés dans le RESEF	39

LISTE DES TABLEAUX

	page
Tableau 1. Codes et valeurs médianes pour les relevés de régénération	9
Tableau 2. Classes de pourcentage du dépérissement, de la densité du feuillage et du feuillage rabougri	11
Tableau 3. Opérations prévues et périodicité	15

LISTE DES FIGURES

	page
Figure 1. Localisation des places d'étude du réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF)	3
Figure 2. Place d'étude permanente des peuplements feuillus	6
Figure 3. Place d'étude permanente des peuplements résineux	6
Figure 4. Zone de protection et ses limites	7
Figure 5. Localisation des pédons dans les stations de feuillus et de résineux du RESEF	34
Figure 6. Identification des faces du pédon. Celui-ci a 1 m de long sur 1 m de large et jusqu'à 1 m de profondeur. Les trois échantillons d'un même horizon sont espacés en moyenne de $\sqrt{2 \times (50 \text{ cm})^2} \approx 70 \text{ cm}$	35

INTRODUCTION

Au cours de l'été 1986, le ministère de l'Énergie et des Ressources a entrepris d'établir progressivement un Réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). La mise sur pied d'un tel réseau permanent vient combler certaines lacunes constatées lors de l'étude du dépérissement des érablières, entre autres, le peu d'informations objectives et à long terme sur le climat, sur le statut nutritif des peuplements et sur la qualité de l'air qui ne peuvent être obtenues que par un suivi intensif et continu de leurs divers paramètres. Aussi, la connaissance des effets des divers stress environnementaux qui affectent les écosystèmes forestiers contribue à mettre en oeuvre la Stratégie de protection des forêts et le suivi des effets réels préconisés par le ministère des Ressources naturelles.

Ce réseau vient également satisfaire, du moins en partie, le désir d'organismes internationaux qui ont demandé depuis déjà plusieurs années l'établissement de réseaux permanents de surveillance des forêts afin de recueillir des données de référence fondamentales qui pourraient permettre de découvrir les causes et de trouver des solutions aux problèmes de santé ou de croissance de certains écosystèmes forestiers. Ce réseau vient se joindre à d'autres réseaux implantés en Europe comme le Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) (Ulrich 1993) et le Réseau de la Communauté économique européenne (*Programme Co-ordinating Centres* 1989); il vient aussi compléter ceux établis en Amérique du Nord comme le Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA) au Canada (Magasi 1988) et le *North American Sugar Maple Project* (NAMP) (Millers et Lachance 1989), projet conjoint États-Unis-Canada.

1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1.1 OBJECTIFS

Le RESEF se donne comme objectifs généraux d'évaluer l'importance des différents stress environnementaux et de recueillir un certain nombre de données relatives à la productivité et l'état de santé des forêts afin de :

- déterminer l'effet des maladies et des insectes en tant qu'agents agresseurs naturels;
- déterminer l'importance des facteurs et des accidents climatiques;

- établir des relations entre la quantité et la qualité des polluants atmosphériques et la productivité et l'état de santé des forêts;
- fournir des données de référence essentielles pour des analyses comparatives;
- analyser les liens qui existent entre les critères écologiques et les agents de stress naturels ou d'origine anthropique.

Comme c'est le cas pour le réseau national français (Ulrich 1993), le suivi régulier du plus grand nombre possible de stress environnementaux agissant sur l'état de santé de la forêt et sur sa productivité devrait permettre d'évaluer les variations normales de l'état de santé de la forêt et de les distinguer soit d'une affection de courte durée qui peut être due à un accident climatique, à une attaque parasitaire ou à un niveau de pollution atmosphérique exceptionnel, soit d'une perturbation chronique de l'écosystème évoluant de façon lente et subtile et pouvant être liée, par exemple, à l'effet de l'acidification des sols.

Dans ce présent document, on pourra prendre connaissance de la localisation des places d'étude, des définitions des paramètres mesurés et observés et aussi des méthodes utilisées pour mesurer et analyser ces paramètres. Dans un second document (Gagnon *et al.* 1994), on présentera la description de chaque place d'étude, des données de base et certains résultats.

1.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Pour réaliser les objectifs poursuivis par le RESEF, on a établi un dispositif expérimental comprenant 31 places d'étude permanentes à travers le Québec (figure 1). Ces places d'étude sont accompagnées, pour la plupart, de stations de mesure de polluants atmosphériques et de paramètres climatiques qui sont installées et exploitées par le ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) dans le cadre du Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole du Québec (REMPAFAQ).

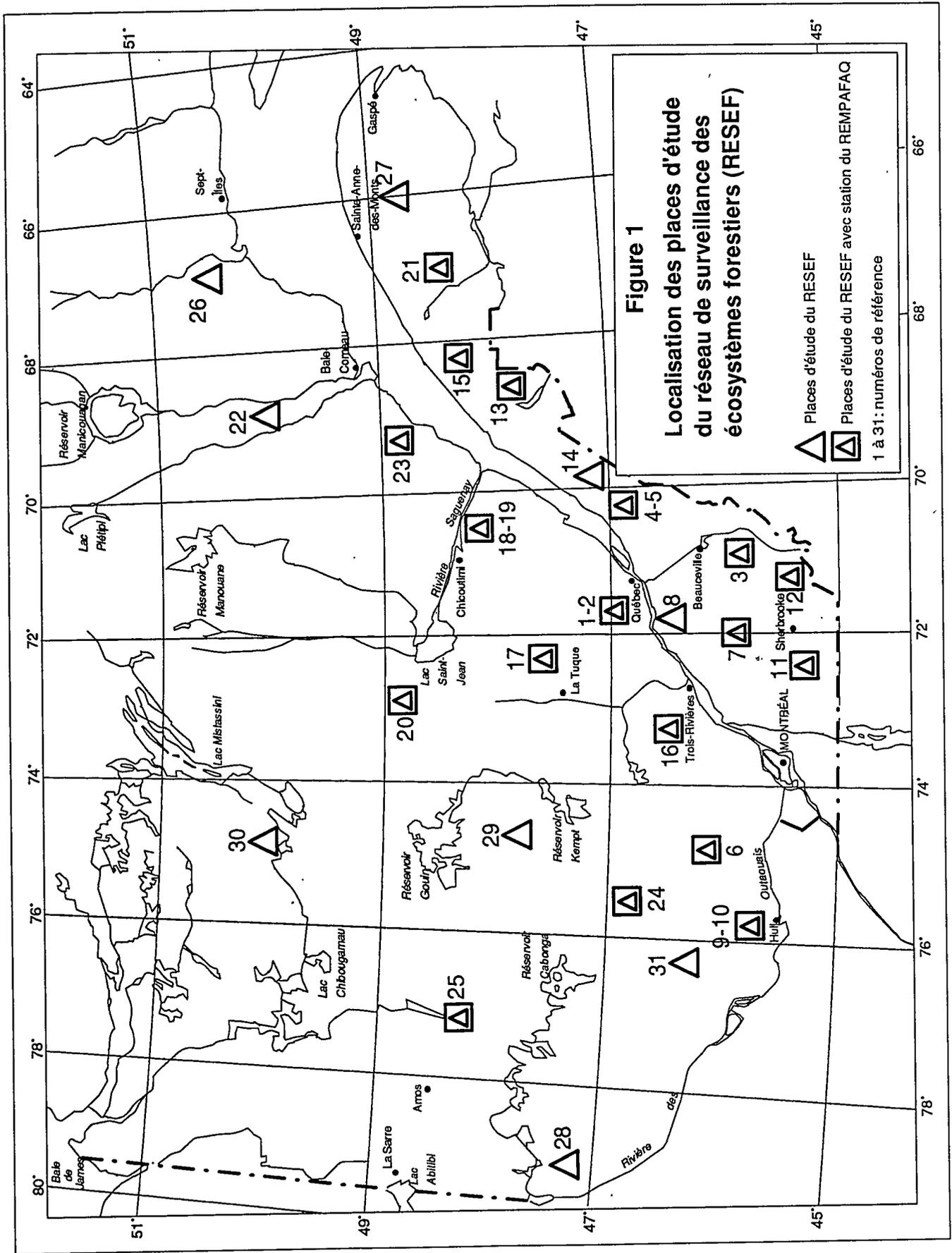


Figure 1
Localisation des places d'étude
du réseau de surveillance des
écosystèmes forestiers (RESEF)

△ Places d'étude du RESEF
 ▢ Places d'étude du RESEF avec station du REMPFAQ
 1 à 31 : numéros de référence

La distribution de ces places d'étude a été planifiée de manière à ce qu'elles couvrent la plupart des grandes régions écologiques du Québec. Afin d'en assurer la pérennité, on les a établies dans des territoires protégés (terres publiques, parcs, réserves écologiques et grandes propriétés privées corporatives). Les places d'étude localisées sur les terres publiques ont reçu le statut de Forêt d'expérimentation; celles qui sont situées dans les parcs, les réserves écologiques et en territoire privé jouissent déjà d'une protection légale ou d'une protection à long terme assurée par une entente avec le propriétaire.

2. CRITÈRES DE SÉLECTION DES PLACES D'ÉTUDE

L'implantation du RESEF suppose d'abord un choix de places d'étude qui témoigne d'une répartition équilibrée dans les principales régions écologiques du Québec. Chaque place d'étude constitue un échantillon de territoire où sont mesurés et observés divers paramètres de l'écosystème. Le choix de ces places d'étude devra donc tenir compte des caractéristiques suivantes :

- elles sont établies dans des groupements climaciques qui leur assure une stabilité et qui permet la comparaison entre les habitats;
- la topographie de la place d'étude est relativement uniforme dans toute sa superficie pour assurer l'homogénéité du peuplement;
- le peuplement forestier est d'âge moyen et en pleine croissance afin de fournir des données sur une longue période (au moins 20 ans);
- enfin, le choix de la place d'étude tient compte des contraintes imposées par la localisation de la station de mesure des polluants atmosphériques et des paramètres climatiques. Entre autres, ces stations sont éloignées de 50 km au moins de sources importantes de pollution et elles sont situées à proximité d'une ligne électrique et d'une ligne téléphonique pour permettre la collecte et la transmission des données.

3. MÉTHODE D'ÉTABLISSEMENT DES PLACES D'ÉTUDE

Les places d'étude ont une superficie d'un demi-hectare (50 x 100 m) dans un peuplement feuillu et d'un quart d'hectare (50 x 50 m) dans un peuplement résineux. Elles sont subdivisées en parcelles d'un centième d'hectare (10 x 10 m) (figures 2 et 3). Des piquets de bois de 1,5 m de

hauteur et de 10 cm de côté sont plantés aux quatre coins de la place d'étude alors que des piquets en matière plastique d'environ 60 cm de hauteur délimitent les parcelles. La méthode concernant l'établissement des places d'étude a déjà été expliquée par Gagnon *et al.* (1989).

À l'exception des places d'étude établies dans les parcs et les réserves écologiques, on a établi une zone de protection de 100 m autour de chaque place d'étude (figure 4). Aucune intervention sylvicole n'est permise dans cette zone, qui sert cependant à prélever des échantillons pour analyser certains paramètres qui risqueraient de perturber la place d'étude. Les études de sol, la détermination de l'âge du peuplement, les études dendrochronologiques, l'échantillonnage foliaire, entre autres, sont des activités qui se déroulent dans cette zone de protection ou autour des places d'étude lorsqu'il n'est pas nécessaire d'établir une telle zone.

4. NIVEAUX D'INTENSITÉ DES ÉTUDES

Le RESEF a été conçu de manière à ce que les paramètres fondamentaux de l'écosystème soient mesurés et observés dans toutes les places d'étude selon une même méthode. Cette opération est qualifiée de niveau 1 ou niveau de base des paramètres étudiés. D'autre part, les places d'étude situées à Duchesnay, non loin de Québec, ont été choisies pour analyser un plus grand nombre de paramètres. Elles permettent de raffiner la méthode de prise de données et d'analyses des paramètres étudiés. Ces places d'étude sont donc considérées de niveau 2.

Plusieurs volets de recherche peuvent être greffés à une ou plusieurs places d'étude du RESEF. La mesure et l'observation de paramètres particuliers dans les places d'étude pourraient être nécessaires pour satisfaire aux exigences de ces études.

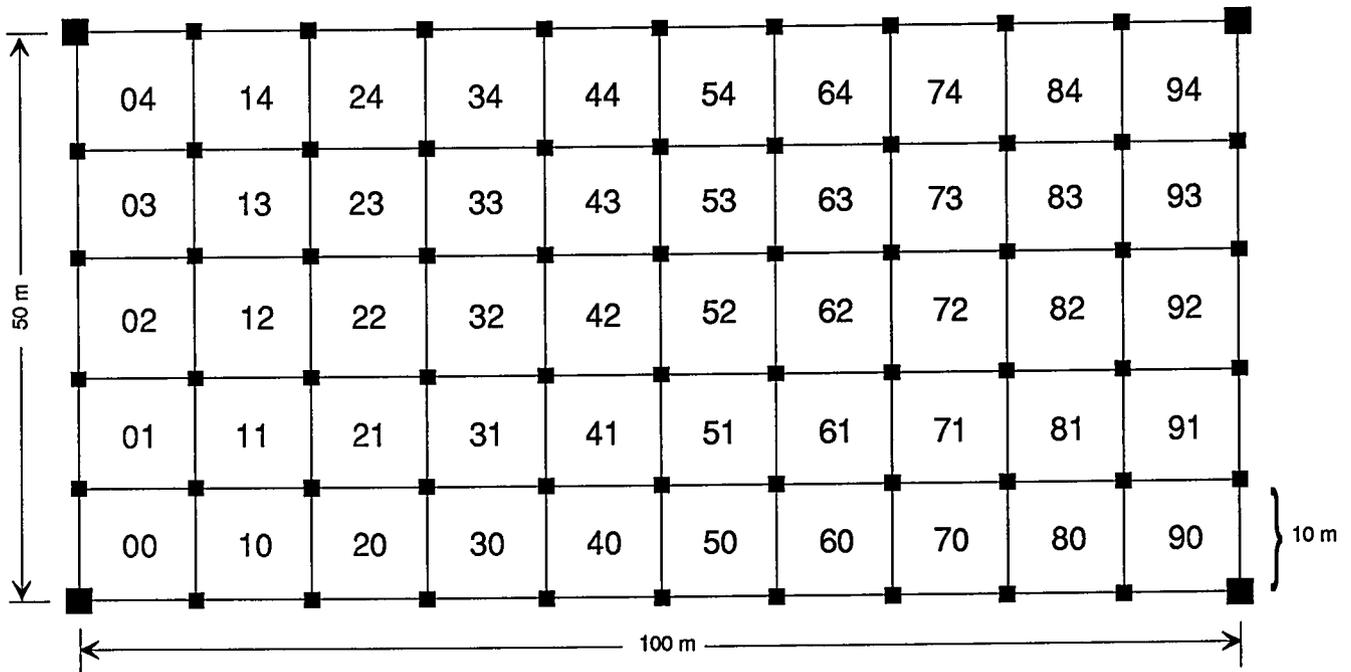


Figure 2. Place d'étude permanente des peuplements feuillus

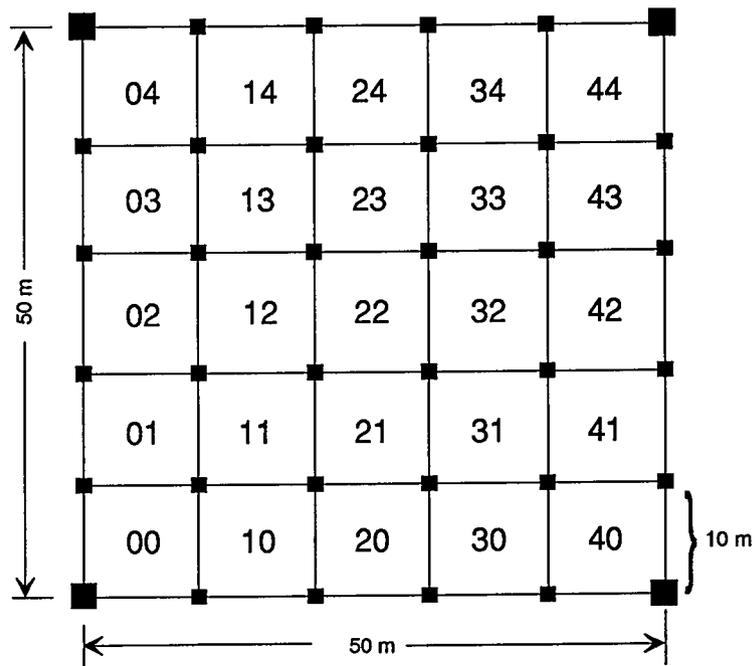


Figure 3. Place d'étude permanente des peuplements résineux

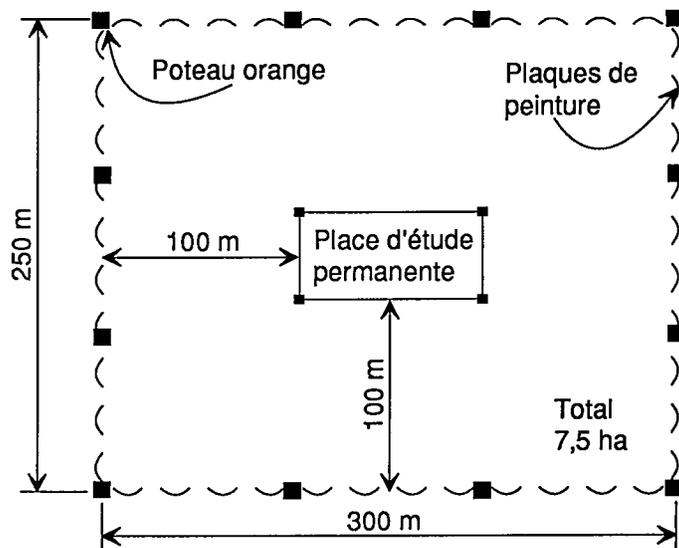


Figure 4. Zone de protection et ses limites

5. PARAMÈTRES ÉTUDIÉS : OBJECTIFS ET DESCRIPTION

Les études effectuées dans le RESEF exigent la mesure, l'observation et l'analyse d'un grand nombre de paramètres.

A. POUR L'ENSEMBLE DES PLACES D'ÉTUDE (NIVEAU 1)

5.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA PLACE D'ÉTUDE

La description de la place d'étude commence par sa localisation dans les unités administratives choisies (région administrative, unité de gestion, parc, réserve écologique, etc..). On indique aussi les coordonnées géographiques (longitude, latitude) et l'altitude.

La place d'étude est identifiée par le numéro de la région administrative où elle est située, suivi d'un chiffre attribué par ordre chronologique d'établissement de la place d'étude. De plus, chaque place d'étude est localisée sur une carte topographique au 1 : 50 000.

5.2 DONNÉES SUR LA VÉGÉTATION

La végétation demeure l'élément intégrateur de plusieurs paramètres de l'écosystème. Il est donc important de connaître adéquatement tous ces paramètres. C'est pourquoi on effectue les opérations suivantes :

- identification et numérotation des tiges de 1,1 cm et plus;
- positionnement de chacune de ces tiges à l'intérieur de la parcelle de 10 x 10 m;
- mesure du diamètre à hauteur de poitrine (dhp) en millimètres, au moyen d'un galon circonférenciel ou d'un compas micrométrique;
- mesure de la hauteur des arbres en mètres, au décimètre près; on utilise le clinomètre *Sunto* pour les sujets de haute taille et la règle graduée en centimètres lorsque la hauteur le permet;
- mesure du diamètre des cimes en décimètres sur les arbres vivants de plus de 9,1 cm; on procède par projection au sol de la cime de l'arbre selon les axes nord-sud et est-ouest pour en déterminer le diamètre moyen;
- détermination de l'âge approximatif du peuplement par prélèvement de carottes de sondage sur cinq arbres d'un échantillon parallèle situé dans la zone de protection ou autour de la place d'étude;
- analyse dendrochronologique de carottes prélevées en vue de connaître l'histoire du peuplement du point de vue de sa croissance radiale et d'obtenir un dendrochronogramme par peuplement; la méthode de cueillette et de traitement des échantillons est décrite à l'annexe 1;
- description de la végétation arbustive, herbacée, muscinale et lichénique en vue de déterminer l'association végétale et de suivre l'évolution à court, moyen et long terme de la végétation associée au peuplement; la méthode relative à la description de la végétation est décrite à l'annexe 2;

- description de la régénération à l'intérieur de chaque parcelle pour les essences arborescentes et arbustives. Dans un premier temps, les gaules de 1,30 m et plus de hauteur et de moins de 1,1 cm de dhp sont dénombrées; par la suite, on estime la présence des individus de moins de 1,30 m de hauteur dans chacune des parcelles au moyen d'un code d'abondance-dominance basé sur le pourcentage de recouvrement de l'espèce à l'intérieur de la parcelle. Pour avoir le pourcentage de recouvrement d'une ou de plusieurs espèces à l'intérieur de la place d'étude, on calcule la moyenne de leur valeur médiane (tableau 1).

Tableau 1. Codes et valeurs médianes pour les relevés de régénération

CODE	% DE RECOUVREMENT	VALEUR MÉDIANE
0	nul	0
1	moins de 1 %	0,5
2	1 à 25 %	13,5
3	26 à 50 %	38,0
4	51 à 75 %	63,0
5	76 à 100 %	88,0

5.3 DONNÉES SUR LE STATUT NUTRITIF DU PEUPEMENT

5.3.1 Échantillonnage foliaire

Des échantillons foliaires sont prélevés afin de connaître l'état nutritif des différents peuplements et de déterminer ses variations en relation avec la fertilité du sol et son évolution. Ces analyses pourront servir comme données de base afin de déterminer les seuils de carence dans les écosystèmes perturbés. On échantillonne 20 individus de l'essence principale et, si possible, cinq individus de chaque essence compagne. La méthode d'échantillonnage foliaire est décrite à l'annexe 3.

5.3.2 Relevés pédologiques

Des relevés pédologiques sont effectués tous les cinq ans dans chacune des places d'étude. Six profils de sol sont décrits et échantillonnés dans les stations feuillues tandis que quatre le sont dans les stations résineuses.

Les profils de sol sont décrits selon la méthode proposée par Bernier et Carrier (1977). Idéalement, chaque horizon est échantillonné sur les trois faces du pédon afin de connaître la variation des propriétés physico-chimiques à l'intérieur de chaque profil. Les principaux horizons font également l'objet d'un échantillonnage volumétrique afin d'évaluer la densité apparente des différents horizons du sol. Des études sur la litière viendront compléter la connaissance des sols.

Le type pédogénétique est déterminé selon le Système canadien de classification des sols (Comité d'experts sur la prospection pédologique d'Agriculture Canada 1987). L'analyse des propriétés physico-chimiques à différents intervalles va permettre de déterminer les variations éventuelles des sols. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont décrites à l'annexe 4.

5.4 DONNÉES SUR L'ÉTAT DE SANTÉ DES PEUPELEMENTS

5.4.1 Le dépérissement

À l'exception d'épidémies d'insectes qui se manifestent de façon cyclique ou sporadique, le plus gros problème de santé de la forêt depuis une quinzaine d'années est celui du dépérissement.

5.4.1.1 Essences feuillues

a) Dépérissement des branches

Le dépérissement est caractérisé par la mort de ramilles puis de branches depuis l'extrémité vers le centre de l'arbre. L'évaluation du dépérissement consiste à estimer le pourcentage de feuillage perdu dans le houppier à la suite de la mort prématurée des branches. Les branches mortes à l'intérieur du houppier ou dans sa partie inférieure sont présumées mortes à partir de la tige, c'est-à-dire éliminées par élagage naturel.

Dans les places d'étude permanentes, tous les arbres de 9,1 cm et plus de dhp sont observés et évalués. L'évaluation du dépérissement est exprimée par le pourcentage moyen de feuillage manquant dans la cime pour chaque arbre, en prenant soin de se déplacer autour de l'arbre de façon à voir sa cime sous tous les angles, de la base vers le sommet. Elle est effectuée par deux observateurs munis de lunettes d'approche. Généralement, ces mêmes observateurs retournent dans les places d'étude vers les mêmes dates d'une année à l'autre.

On donne le pourcentage réel de dépérissement lorsque les arbres ont moins de 2 % de perte de feuillage; lorsque celle-ci est supérieure à 2 %, l'évaluation est déterminée en classes de 5 %. Notons que 0 % signifie qu'il n'y a aucun dépérissement alors que 100 % signifie que l'arbre est mort (tableau 2).

b) Densité du feuillage

La densité du feuillage est estimée par la quantité de ciel visible à travers la partie feuillée des branches. L'estimation du degré de défoliation se fait selon les mêmes classes que pour le dépérissement (tableau 2).

Tableau 2. Classes de pourcentage du dépérissement, de la densité du feuillage et du feuillage rabougri

<u>Classe de pourcentage</u>	<u>Écart</u>
0	0 (arbre sans dépérissement)
1	estimation réelle
2	estimation réelle
5	2,6 à 7,5
10	7,6 à 12,5
15	12,6 à 17,5
---	-----
99	97,6 à 99,9
100	arbre mort

c) Feuillage rabougri

Une feuille est jugée rabougrie lorsque sa taille est inférieure à la moitié de la grandeur de la feuille d'un arbre vigoureux situé à proximité. La présence de feuilles rabougries sera estimée selon les mêmes classes que pour le dépérissement (tableau 2).

d) Décoloration du feuillage

Les arbres qui présentent une décoloration anormale du feuillage sont identifiés.

5.4.1.2 Essences résineuses

Au Québec, le dépérissement des essences résineuses ne s'est pas manifesté encore de façon évidente. Toutefois, des observations sont répétées chaque année afin de détecter une décoloration ou une perte anormale des aiguilles et des variations dans la densité du feuillage.

5.4.2 Défauts de la tige (peuplements feuillus)

Afin de pouvoir expliquer des croissances qui s'écartent de la moyenne du peuplement ou encore d'autres phénomènes, les défauts sur les tiges de plus de 9,1 cm de dhp sont notés lors de l'établissement de la place d'étude, puis chaque année par la suite lors de l'évaluation du dépérissement. La liste et les codes des défauts susceptibles d'être observés apparaissent à l'annexe 5.

5.4.3 Relevés des insectes et des maladies

Lors de l'établissement de la place d'étude dans les peuplements feuillus, puis tous les ans, lors de l'évaluation du dépérissement, on effectue un relevé des insectes, des caries et des autres maladies. La liste et les codes de ces paramètres susceptibles d'être observés apparaissent à l'annexe 5.

De plus, étant donné que les places d'étude feuillues et résineuses du RESEF ont été intégrées au Réseau de stations permanentes d'observation (RSPO) de la Direction de la conservation, elles sont donc visitées tous les ans en vue de constater les dommages présents et de détecter hâtivement les dommages qui pourraient arriver dans les années à venir.

5.5 ANALYSE DE LA QUALITÉ DE L'AIR AMBIANT ET DES PRÉCIPITATIONS

Les postes d'échantillonnage du Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieu forestier et agricole du Québec (REMPAFAQ), installés et exploités par le ministère de l'Environnement et de la Faune, permettent d'obtenir des données sur la nature et la quantité de polluants atmosphériques. La mesure de l'O₃ peut éventuellement déterminer si les photo-oxydants contribuent à des perturbations physiologiques des arbres alors que la mesure des dépôts atmosphériques va déterminer la quantité d'éléments nutritifs ou acidifiants de la pluie et de la neige afin d'interpréter leur influence sur le cycle nutritif des peuplements et sur d'éventuels processus d'acidification du sol.

La plupart des stations d'étude du RESEF sont dotées d'un poste d'échantillonnage du REMPFAQ situé généralement à moins de deux kilomètres de la place d'étude (voir figure 1). Pour celles qui n'en ont pas, on utilise les données des postes du Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec (REPQ) ou encore celles des postes du Réseau canadien des précipitations et de l'air (RCEPA) les plus près.

5.6 DONNÉES CLIMATIQUES

Le suivi du climat local et de son évolution à long terme à proximité de la place d'étude va permettre, d'une part, de déterminer les accidents climatiques qui peuvent contribuer à perturber la croissance et l'état de santé des peuplements et, d'autre part, d'interpréter une éventuelle perturbation à long terme de l'écosystème liée à des phénomènes climatiques. Les données météorologiques comme la température, le vent, le rayonnement solaire, les précipitations et l'humidité relative sont fournies par le REMPFAQ, de même que par quelques stations des réseaux REPQ et RCEPA et quelques stations du réseau météorologique spécifiquement choisies à ces fins.

B. POUR LES PLACES D'ÉTUDE DE DUCHESNAY (NIVEAU 2)

En plus des paramètres décrits pour les places d'étude de niveau 1, les places d'étude de Duchesnay sont l'objet d'étude des paramètres suivants.

5.7 ÉCHANTILLONNAGE DES SOLS

À l'intérieur des deux places d'étude (feuillue et résineuse) une description complète de 18 profils de sol a été effectuée ainsi que l'analyse de ceux-ci afin de connaître les conditions et la disponibilité des éléments présents pour la végétation.

5.8 ÉCHANTILLONNAGE DE L'EAU

Afin d'étudier l'impact des dépôts acides sur les écosystèmes, on a installé différents collecteurs dans les deux places d'étude :

- 44 entonnoirs de 27,1 cm;
- collecteurs d'eau s'écoulant le long du tronc (17 arbres);
- 36 lysimètres à tension nulle et à tension.

5.9 ÉCHANTILLONNAGE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Une analyse des particules sèches est réalisée grâce à un système à haut débit qui aspire l'air à travers un filtre composé d'une trame de fibre de verre recouverte de téflon. Pour ce qui est des polluants gazeux, en plus de l'ozone, on échantillonne le SO₂ et les NO_x.

5.10 ÉCHANTILLONNAGE DE LA LITIÈRE

L'évaluation de la litière fraîche retournant au sol est déterminée à l'aide de 10 collecteurs de 2 m² dans l'érablière à bouleau jaune et de quatre collecteurs de 1 m² dans la sapinière à épinette rouge.

6. OPÉRATIONS PRÉVUES ET PÉRIODICITÉ

Le tableau 3 résume les activités effectuées dans les places d'étude du RESEF de même que dans les postes d'échantillonnage de la qualité de l'air et des paramètres climatiques. Le rythme de prise de données est fonction des paramètres qui y sont observés.

Tableau 3. Opérations prévues et périodicité

OPÉRATIONS	PÉRIODICITÉ
<p>A- POUR L'ENSEMBLE DU RÉSEAU (NIVEAU 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Description de la place d'étude : unité administrative, coordonnées géographiques, bassin versant, exposition, pente, rochemère, climat régional, type de peuplement, âge moyen, origine du peuplement ... - Identification, numérotation et positionnement des essences de plus de 1,1 cm de dhp. - Inventaire phytoécologique. - Inventaire de la régénération. - Inventaire des bryophytes et des épiphytes. - Description pédologique. - Diamètre, hauteur, hauteur du fût, hauteur et diamètre de la cime. - Mesures de l'accroissement (bandes verniers et galon circonférenciel) sur le tiers des arbres. - Défoliation, densité du feuillage, nanisme et coloration du feuillage. - Coloration et perte anormale des aiguilles. - Relevé des défauts de tige. - Relevé des insectes et des maladies. - Analyse dendrochronologique de dix arbres de l'essence principale et de cinq arbres pour chacune des essences secondaires par place d'étude. - Détermination des concentrations totales d'éléments dans les feuilles et les aiguilles des arbres (N, P, K, Ca Mg, Mn, B, Fe, Zn, Ca, Al). - Détermination du pH, du carbone organique et des concentrations totales et échangeables des éléments dans le sol (N, P, K, Ca, Mg, Mn, B, Fe, Al, Zn et Cu). - Détermination de la granulométrie et de la densité apparente des sols. - Analyse de l'air ambiant : O₃. - Analyse des précipitations : dépôts humides (pH, H, Ca, Mg, Na, K, NH₄, SO₄, NO_x, Cl, HCO₃). - Analyse du climat : pluviométrie et humidité relative, température (maximum, minimum), vent (direction et vitesse), rayonnement solaire. 	<p>Révision tous les 10 ans</p> <p>5 ans</p> <p>10 ans</p> <p>5 ans</p> <p>10 ans</p> <p>5 ans</p> <p>5 ans</p> <p>Annuel</p> <p>Annuel</p> <p>Annuel</p> <p>Annuel et 5 ans</p> <p>Annuel</p> <p>Début et fin du projet</p> <p>5 ans</p> <p>5 ans</p> <p>Début du projet</p> <p>Horaire</p> <p>Hebdomadaire</p> <p>Horaire</p>

OPÉRATIONS	PÉRIODICITÉ
<p>B. POUR LES PLACES D'ÉTUDE DE DUCHESNAY (NIVEAU 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour les sols, détermination des mêmes éléments que dans les autres places d'étude mais dans 18 profils. - Détermination de la quantité d'eau dans les entonnoirs, les lysimètres et le long des troncs et analyse des paramètres suivants : pH, conductivité, alcalinité, fluorure, acidité, chlorure, nitrites, nitrates, sulfates, phosphates, ammonium, silice, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Al, B, Br, Cu, Mo, P, S, Zn, K et carbone organique dissous. - Analyse de la concentration de SO₄, de NO₃ et des poussières. - Analyse de la concentration de SO₂ et des NO_x. - Détermination de la quantité de litière fraîche et analyse chimique de ces échantillons (mêmes éléments que l'analyse foliaire). 	<p style="text-align: center;">5 ans</p> <p style="text-align: center;">Hebdomadaire</p> <p style="text-align: center;">Hebdomadaire</p> <p style="text-align: center;">Horaire</p> <p style="text-align: center;">Annuellement</p>

BIBLIOGRAPHIE

- BERNIER, B. et L. CARRIER, 1977. *Guide pour la prise des notes au cours des relevés pédologiques en forêt*. Gouv. du Québec, min. des Terres et Forêts, Dir. gén. des forêts, Service de la recherche, Guide n° 2, 2^e éd. 33 p.
- COMITÉ D'EXPERTS SUR LA PROSPECTION PÉDOLOGIQUE D'AGRICULTURE CANADA, 1987. *Le système canadien de classification des sols*. Agriculture Canada, Direction générale de la recherche, Publ. 1646. 170 p.
- GAGNON, G., B. TOUSSAINT et G. BROUSSEAU, 1989. *Guide technique en vue de l'établissement et de l'opération du réseau d'étude d'impact*. Min. de l'Énergie et des Ressources, Dir. de la recherche et du développement, Serv. de la recherche appliquée, Rapport interne n° 311, 23 p. (traduit en anglais)
- GAGNON, G., C. GRAVEL, R. OUIMET, N. DIGNARD, R. PAQUIN et G. JACQUES, 1994. *Le réseau de surveillance des écosystèmes forestier (RESEF) II - Description des places d'étude et données de base*. (en préparation)
- MAGASI, L.P., 1988. *Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides. Guide pour l'établissement et la surveillance des parcelles*. Gouv. du Canada, Service canadien des forêts, Rapport d'information DPC-X-25F. 17 p.
- MILLERS, I. et D. LACHANCE, 1989. *North American sugar maple decline project - Cooperative field manual*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service et Government of Canada, Forestry Canada. 16 p.
- PROGRAMME CO-ORDINATING CENTRES, 1989. *Forest damage and air pollution. Report of the 1988 forest damage survey in Europe*. Prepared with the assistance of the United Nations Environment Programme (UNEP) and the Secretariat of the United Nation Economic Commission for Europe (ECE), Genève. 87 p.
- ULRICH, E., 1993. *Réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers. Brève description*. Office National des Forêts de France. 12 p.

ANNEXE 1

MÉTHODE D'ÉTUDE DENDROCHRONOLOGIQUE DANS LE RESEF

La dendrochronologie est la mesure et l'analyse chronologique de la largeur des cernes annuels d'un arbre. Ces études permettent d'obtenir une valeur précise des conséquences de divers stress sur la croissance radiale et de préciser les effets cumulatifs de ces événements sur la résistance des arbres et des peuplements.

Une étude dendrochronologique est prévue pour toutes les places d'étude permanentes du RESEF. Dans chacune de ces places, l'inventaire écologique et l'examen visuel nous permettent d'identifier l'ensemble des espèces arborées qui composent le peuplement. L'étude consiste à construire une courbe de référence synthèse pour chacune des espèces inventoriées. Dix arbres de l'espèce dominante, comme l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) dans l'érablière ou le sapin baumier [*Abies balsamea* (L.) Mill.] dans la sapinière, sont sélectionnés pour les fins de cette analyse. De plus, cinq arbres par espèce compagne complètent l'échantillonnage dendrochronologique. Le dispositif expérimental prévoit également une seconde période d'échantillonnage, facultative. Cette reprise sera pratiquée uniquement sur les espèces dont la courbe de référence synthèse renferme encore des incertitudes.

Ces travaux de recherche consistent à construire des profils de croissance radiale les plus robustes possible, sur une période de cent ans et plus. Conséquemment, la sélection des arbres s'oriente vers des tiges vigoureuses de 25 cm et plus, avec une cime bien développée et ne présentant ni blessures, ni gélivures, ni chancres ou autres défauts. Afin de ne pas perturber la place d'étude, tous les arbres sélectionnés sont localisés dans la bande de protection qui entoure immédiatement la parcelle, dans la mesure où le milieu écologique est le même que celui de la place d'étude.

Sur chaque arbre échantillonné, trois carottes sont prélevées à coeur avec une sonde de Pressler. Les échantillons sont insérés dans un contenant approprié, puis transportés au laboratoire dans une glacière. Les échantillons sont prélevés sur la tige au DHP, à une distance égale ou supérieure à 0,8 m des plus hauts contreforts racinaires.

Les prélèvements s'accompagnent d'une série d'observations écologiques du micro-habitat qui entoure l'arbre sélectionné. Ces observations englobent des données sur le drainage, le micro-relief autour de l'arbre, le type d'humus et de sol, la nature des roches présentes dans le profil du sol, l'état de santé de la cime et de la tige y compris le dépérissement, le diamètre de la cime, la hauteur, etc. De plus, l'identification, le diamètre de la tige au DHP et la distance et l'orientation de tous les arbres voisins de 9,1 cm et plus sont notés.

Au laboratoire, les carottes sont collées sur un support en bois de telle sorte que la moelle du coeur soit visible. Les échantillons, sur leur support, sont légèrement rabotés et poncés avec un papier granulaire 600.

Les échantillons ainsi préparés sont soigneusement observés sous microscope bino-culaire. La partie inférieure des cernes est mieux définie à l'aide d'un marqueur à pointe fine. Les carottes sont datées en accordant une attention à la texture des cernes et aux faibles périodes de croissance. Finalement, la largeur des cernes est mesurée au laboratoire de dendrométrie du MRN à l'aide d'une table Henson.

Chaque carotte d'un même arbre est comparée aux autres grâce à un programme informatique *Dendro*, conçu à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles. Cette opération consiste à synchroniser les cernes annuels entre eux en fonction des années. Une analyse chronologique, effectuée par un programme informatique également mis au point à la Direction de la recherche forestière, permet d'établir des indices de concordance et de similitude entre les courbes dendrochronologiques et de retracer les cernes manquants et les faux cernes.

Dans une seconde étape, toutes les courbes dendrochronologiques sont rassemblées afin de dégager un ou des profils de croissance radiale. Un profil de croissance formé de diverses espèces représentant un peuplement est aussi envisagé. La détermination d'un profil de référence est élaboré pour chaque place d'étude du RESEF.

Les différents profils de croissance sont comparés à des séries climatiques formées à partir des données des stations météorologiques et nivométriques situées à proximité des places d'étude permanentes. Cette étape de recherche permet d'identifier l'effet des facteurs climatiques sur la croissance annuelle, de mesurer des stress climatiques et de préciser la vulnérabilité inter-espèces et inter-régions des divers arbres sélectionnés.

Les profils dendrochronologiques sont également comparés aux résultats de la cartographie des épidémies d'insectes défoliateurs. Les périodes épidémiques des ravageurs forestiers les plus importants du Québec, inventoriées depuis 1933, ont provoqué des traces visibles sur la croissance des arbres. Au même titre que pour les séries climatiques, ces résultats permettent de mesurer l'effet cumulatif des épidémies et autres stress sur la résistance des arbres.

L'analyse des étapes subséquentes servira de guide afin de déceler les cernes diagnostiques et les caractéristiques d'une partie de profil dendrochronologique qui représenteraient un stress ou un événement particulier. Ces résultats pourront être répartis sur l'ensemble des séries chronologiques, même en l'absence de données climatiques ou entomologiques ou d'autres événements environnementaux. L'historique des peuplements sera, de cette façon, mis en évidence.

L'étude permettra de déterminer les causes des réductions de croissance décelées sur les profils synthèses et de vérifier le caractère cyclique ou fortuit de ces stress environnementaux. Elle permettra également de préciser les tendances à long terme des changements climatiques globaux sur la croissance radiale des arbres.

ANNEXE 2

MÉTHODE D'INVENTAIRE DE LA VÉGÉTATION DES PLACES D'ÉTUDE PERMANENTES DU RESEF

Chacune des parcelles de 10 x 10 m des places d'étude en peuplements feuillus (50 x 100 m) et résineux (50 x 50 m) fait l'objet d'un inventaire exhaustif de sa végétation phanérogame et cryptogame (à l'exclusion des champignons et des algues) en fonction des strates suivantes :

arbustive haute (ah)	2,5 - 5 m	herbacée basse (hb)	0 - 0,6 m
arbustive basse (ab)	0 - 2,5 m	muscinale (m)	-
herbacée haute (hh)	> 0,6 m	lichénique (l)	-

Une première série de relevés est effectuée au printemps de manière à inventorier les espèces disparaissant au début de l'été (géophytes printaniers) et une seconde série durant l'été pour inventorier l'ensemble des autres espèces.

Le recouvrement par projection spatiale (abondance-dominance) de toutes les espèces (à l'exclusion des bryophytes et des lichens), enracinées ou non à l'intérieur des parcelles, est estimé visuellement selon l'échelle de coefficients suivante :

Coefficient	Pourcentage de recouvrement	Valeur médiane	Coefficient	Pourcentage de recouvrement	Valeur médiane
+	< 1	0,5	5	41 - 50	45
0	1 - 5	3	6	51 - 60	55
1	6 - 10	8	7	61 - 70	65
2	11 - 20	15	8	71 - 80	75
3	21 - 30	25	9	81 - 90	85
4	31 - 40	35	10	91 - 100	95

Un symbole est associé à toute espèce présentant un recouvrement dans une parcelle mais qui n'y est pas enracinée. Le recouvrement total de la strate par parcelle est obtenu par la sommation des valeurs médianes correspondant à chacun des coefficients attribués. Le recouvrement

total de la strate par place d'étude est obtenu par la moyenne mathématique des valeurs médianes de recouvrement pour l'ensemble des parcelles.

La sociabilité n'est pas évaluée puisqu'elle correspond le plus souvent à une caractéristique propre à chacune des espèces.

La composition floristique et le recouvrement des strates arborées haute (Ah > 20 m), moyenne (Am : 10-20 m) et basse (Ab : 5-10 m) sont obtenus à partir des données déjà recueillies dans les places d'étude du réseau (essences, hauteur des arbres et diamètre des cimes). La composition floristique et le recouvrement des autres strates sont relevés dans chacune des parcelles (50 relevés par place d'étude feuillue et 25 relevés par place d'étude résineuse). Un inventaire global des bryophytes et des lichens des parcelles est fait et les espèces sont identifiées à l'une ou l'autre des catégories suivantes : 1) humicoles-terricoles, 2) épiphytes-corticoles, 3) épixyliques, 4) saprolignicoles et 5) saxicoles. Sont exclus de cet inventaire les lichens saxicoles crustacés et les épiphytes corticoles colonisant le tronc des arbres sur pied à plus de 2 m de hauteur.

ANNEXE 3

MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE FOLIAIRE DANS LE RESEF

OBJECTIFS

L'échantillonnage foliaire est un outil précieux pour déterminer l'état du statut nutritif des peuplements forestiers. Effectuée dans un réseau couvrant les différentes régions du Québec, cette opération permettra aussi de comparer le statut nutritif des différents types de peuplements forestiers. Pour atteindre les objectifs visés, l'opération doit respecter un protocole rigoureux étant donné que la composition foliaire varie dans le temps et, pour certains éléments, en fonction du niveau de prélèvement sur la cime.

A) MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LES ARBRES FEUILLUS

- Aire d'échantillonnage : les arbres sont sélectionnés dans la zone de protection de la place d'étude ou tout autour, ce qui constitue un échantillon parallèle. Ces arbres, dominants et co-dominants, sont répartis sur les quatre côtés de la place d'étude, numérotés puis localisés par rapport au piquet le plus près.
- Choix des arbres : la détermination des arbres se fait à l'aide de la liste des essences du dispositif expérimental. Une bonne façon consiste à déterminer le diamètre moyen approximatif des arbres de la place d'étude et de retenir les arbres dont le diamètre se rapproche de ce diamètre moyen.
- Nombre d'individus : on échantillonne 20 érables à sucre (ou l'essence dominante) et cinq individus de chacune des autres espèces compagnes si possible.
- Période de prélèvement : pour minimiser la variation saisonnière, la période de prélèvement doit être la plus courte possible lorsque les arbres sont à leur plein développement et avant les premiers signes automnaux. Cette période survient généralement vers le 15 juillet et se termine vers le 15 août.

- Niveau de prélèvement : à l'aide de perches télescopiques munies d'un sécateur, on effectue le prélèvement dans le tiers médian de la cime, si possible près de la limite supérieure. S'il est impossible d'atteindre la limite supérieure, on devra s'en tenir au centre de la cime et opérer de la même façon sur tous les arbres de la place d'étude.
- Nombre de feuilles : on coupera environ cinq extrémités de rameaux de façon à réunir 60 feuilles par arbre. On doit rejeter les feuilles portant des saletés (excréments d'oiseaux, etc.), des insectes et d'autres anomalies.
- Surfaçage : avant de procéder au séchage des feuilles, on procède au surfaçage.
- Séchage et pesage de l'échantillon : l'échantillon est placé dans le four durant 48 h à 60 °C, puis il est pesé pour en déterminer le poids sec.
- Analyses chimiques : Après broyage des échantillons, on achemine le matériel au laboratoire pour déterminer les éléments N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, Mn, Fe, Zn, Cu, Al, S, B et Mo.

PRÉCAUTIONS À PRENDRE :

- a) les rameaux seront prélevés sur deux cotés de la cime si possible et le feuillage doit être sec.
- b) l'équipe étant formée de deux personnes, l'une s'occupe de couper les rameaux, l'autre de détacher les feuilles en évitant de toucher au limbe avec les mains; on détachera donc la feuille du rameau en la tenant par le pétiole.
- c) les branches coupées ne doivent pas être d'un diamètre supérieur à 6 mm; il est préférable de couper une plus grande quantité de petits rameaux que de couper de gros rameaux.
- d) pour détacher les feuilles des rameaux et pour les compter, on demeurera à l'extérieur de la place d'étude et on changera souvent d'endroit afin d'éviter la formation de sentiers et l'amoncellement de branches.
- e) les feuilles sont placées à plat dans des enveloppes en papier robuste et n'ayant jamais servi auparavant.

f) bien identifier chaque échantillon en indiquant sur l'enveloppe :

- le numéro de la place d'étude;
- le numéro de l'arbre de l'échantillon parallèle;
- l'essence;
- la date d'échantillonnage;
- le nom du titulaire du projet.

Si l'arbre manifeste la présence de feuilles endommagées (taches goudronneuses, phytophtes, insectes défoliateurs, etc.) on le mentionnera également sur l'enveloppe.

g) fermer les enveloppes au moyen d'une agrafeuse; elles seront plus faciles à ouvrir et elles serviront à plusieurs étapes.

h) pour éviter la contamination par les poussières et pour les conserver, on placera les enveloppes d'échantillons dans une glacière portative durant le transport.

i) placer dans un congélateur le plus tôt possible avant de procéder aux autres étapes de l'opération qui sont :

- le surfaçage;
- le séchage;
- le pesage;
- le broyage et;
- l'analyse.

B) MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE POUR LES RÉSINEUX

- Aire d'échantillonnage : les arbres sont sélectionnés dans la zone de protection de la place d'étude, ce qui constitue un échantillon parallèle; ces arbres, dominants et co-dominants, sont répartis sur les quatre côtés de la place d'étude, numérotés puis localisés par rapport au piquet le plus près.
- Nombre d'individus : on échantillonne 20 individus de l'essence dominante et cinq individus de chacune des essences compagnes, si possible.

- Période de prélèvement : à la fin de la station de végétation, soit du début d'octobre jusqu'à la mi-novembre; afin de minimiser la variation, l'échantillonnage devrait se faire le plus rapidement possible dans cette période.
- Niveau de prélèvement : à l'aide de perches télescopiques munies d'un sécateur, on prélève cinq à sept parties de branches dans le tiers supérieur de la cime. Si on ne peut atteindre cette partie, on se limitera au tiers médian et on opérera de la même façon sur tous les arbres de cette place d'étude.
- Choix de l'échantillon : sur les parties des branches coupées, on prélève, avec un sécateur manuel, une trentaine de pousses de l'année courante; ces échantillons sont mis dans un sac en papier sur lequel on prendra soin de bien identifier l'échantillon.
- Séchage de l'échantillon : l'échantillon est acheminé au laboratoire pour séchage au four durant 48 heures à 60 °C; avant qu'ils soient mis au four, les sacs seront étalés temporairement dans un endroit chaud et sec pour éviter les changements de température.
- Séparation des aiguilles des rameaux : une fois l'échantillon séché, on sépare les aiguilles des rameaux.
- Analyse du poids sec : pour chaque échantillon séché, on détermine le poids de 1 000 aiguilles.
- Analyses chimiques : après broyage des échantillons, on achemine le matériel au laboratoire pour déterminer les éléments N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, Mn, Fe, Zn, Cu, Al, S, B et Mo.

PRÉCAUTIONS À PRENDRE :

- a) lors de l'échantillonnage, on doit éviter de passer dans la place d'étude;
- b) les rameaux seront prélevés sur deux côtés de la cime;
- c) l'équipe étant formée de deux personnes, l'une coupe les rameaux, l'autre sélectionne les pousses de l'année et les recueille;
- d) puisqu'on n'échantillonne que les pousses de l'année, la partie de branche coupée sera relativement courte;

e) les échantillons seront bien identifiés en indiquant sur l'enveloppe :

- le numéro de la place d'étude;
- le numéro de l'arbre de l'échantillon parallèle;
- l'essence;
- la date d'échantillonnage;
- le nom du titulaire du projet;

on indiquera également sur le sac, les anomalies observées sur l'arbre (insectes, décoloration...).

f) fermer les sacs avec une agrafeuse; ils seront faciles à ouvrir et serviront à toutes les étapes;

g) pour le transport, on placera les sacs dans des sacs de polythène pour éviter la contamination par les poussières.

ANNEXE 4

MÉTHODE D'ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DES STATIONS DU RESEF

Introduction

L'objectif du relevé pédologique est de déterminer les propriétés physico-chimiques du sol. Le relevé a également pour objectif de mesurer les changements dans le temps des propriétés du sol attribuables à la croissance du peuplement, aux polluants atmosphériques et aux conditions climatiques des stations forestières.

Théorie

Pour évaluer les propriétés physico-chimiques du sol selon la superficie, quatre paramètres doivent être estimés afin de déterminer la quantité d'éléments (Q) dans le sol :

$$Q = k \sum_{h=1}^n (\dot{E}_e \times D_b \times C \times \dot{E}q)$$

où Q : somme des contenus d'un élément dans chaque horizon de sol jusqu'à la profondeur sélectionnée, par hectare (kéq.ha⁻¹)

k : facteur d'échelle (k = 0,10 cm².kg.kéq.ha⁻¹.mg⁻¹.g⁻¹)

h : horizon (1 à n)

\dot{E}_e : épaisseur effective de terre fine dans l'horizon du sol (cm)

D_b : densité apparente de l'horizon (g.cm³)

C : concentration de l'élément dans la terre fine (mg.kg⁻¹)

$\dot{E}q$: facteur de conversion d'équivalent de masse (kéq.kg⁻¹).

Les réserves totales d'un élément dans le sol (concentration sous forme échangeable ou concentration totale) sont calculées par la somme des contenus dans chaque horizon jusqu'à une profondeur déterminée (par exemple 60 cm) ou la profondeur maximale des racines.

Pour tenir compte des fragments ne constituant pas la terre fine dans les horizons minéraux, nous calculons l'épaisseur de terre fine par horizon selon l'équation :

$$\dot{E}_e = \dot{E}(1 - f_m)(1 - f'_m)$$

- où E_e : épaisseur effective de l'horizon (cm)
 E : épaisseur mesurée de l'horizon (cm)
 f_m : fraction du volume du pédon en pierre
 f_m : fraction du volume de fragments grossiers dans l'échantillon volumétrique

$$f_m = \frac{[(M_t - M_f) / \rho_m]}{V_t}$$

- où M_t : masse sèche totale de l'échantillon volumétrique (g)
 M_f : masse sèche de terre fine (g)
 V_t : volume total de l'échantillon (cm³)
 ρ_m : densité des fragments grossiers (supposée égale à 2,65 g.cm³ pour les sol minéraux).

La densité apparente des horizons minéraux est alors calculée de cette façon :

$$D_b = \frac{M_f}{[V_t(1-f_m)]}$$

La proportion de fragments grossiers de racines dans l'horizon H ou Ah est difficile à mesurer et, sauf exception, peut être considérée comme négligeable. La densité apparente (D_b) des horizons organiques est donc calculée de la façon suivante :

$$D_b = \frac{M_o}{V_{10}}$$

- où M_o : masse sèche de l'échantillon volumétrique (g)
 V_{10} : volume de l'échantillon calculé d'après l'épaisseur, multiplié par la surface d'échantillonnage.

Pour une station, l'équation théorique de la densité apparente (D_b) selon l'horizon est (Federer *et al.* 1993) :

$$D_b = \frac{D_{bm}D_{bo}}{F_oD_{bm} + (1-F_o)D_{bo}}$$

- où D_b : densité apparente du sol (g.cm³)
 D_{bm} : densité apparente du sol minéral sans matière organique (g.cm³)
 D_{bo} : densité apparente de la matière organique sans matière minérale (g.cm³)
 F_o : proportion de matière organique dans le sol.

L'analyse de régression du modèle non linéaire de D_b en fonction de F_o des échantillons sélectionnés des principaux horizons analysés à chaque station permet d'estimer l'ensemble des densités apparentes des différents horizons à chaque site, connaissant leur teneur en matière organique F_o .

Méthode d'échantillonnage

Intervalle d'échantillonnage

L'intervalle d'échantillonnage est actuellement de cinq ans. Cette période permet au site de subir des changements observables dans les divers compartiments de l'écosystème forestier, par exemple immobilisation des éléments nutritifs dans l'accroissement de la biomasse, *turnover* de la couverture morte (le temps de résidence des éléments dans la litière varie de 1 à 20 ans selon le type de litière et l'élément), apport interne ou externe d'acidité.

Le sol est un milieu très tamponné, ce qui suppose que des changements ou stress survenant dans l'écosystème peuvent prendre plusieurs années avant que le sol réagisse et modifie ses propriétés en conséquence. Par exemple, Johnson *et al.* (1988) ont noté une réduction très faible – mais détectable – de la fertilité des sols forestiers dans un intervalle de 11 ans. Un intervalle d'échantillonnage de cinq ans est présentement utilisé par le Programme coopératif international sur l'évaluation et le *monitoring* des impacts de la pollution atmosphérique sur les forêts en Europe (*Global Environment Monitoring System* 1989).

En 1994, nous allons réexaminer le protocole d'échantillonnage afin d'évaluer la puissance du dispositif actuel mis en place pour détecter les changements dans les propriétés physico-chimiques du sol. Étant donné la variabilité des propriétés de nos sols forestiers, nous désirons connaître la précision du protocole, évaluer quel taux de changement celui-ci peut détecter dans le temps et, si possible, apporter des modifications pour accroître la précision du dispositif.

Période d'échantillonnage

Chaque station devrait être ré-échantillonnée durant la même période de l'année afin de minimiser les variations saisonnières. De plus, les stations devraient être échantillonnées à des moments où l'écosystème est relativement «stable», par exemple au début ou à la fin de la saison de végétation. L'ensemble des stations sera donc séparé en deux groupes : les stations de conifères et

les stations de feuillus. Les stations de feuillus seront échantillonnées de préférence en mai-juin et les stations de conifères, en septembre-octobre.

Caractérisation du sol

La description et l'échantillonnage des sols dans les stations de feuillus se fait sur six pédons et, dans les stations de résineux, sur quatre. Les profils de sol sont localisés à l'extérieur de la parcelle et sont espacés d'environ 50 m (figure 5). La localisation exacte des profils est choisie minutieusement de façon à s'assurer de la représentativité de la station et de la possibilité de répéter l'échantillonnage dans le temps. Ainsi, les facteurs considérés sont le degré de la pente, le micro-relief et l'exposition. De plus, on note le relief, la situation sur la pente, la longueur de la pente arrière et le type géomorphologique et géologique.

Une fois le profil découvert, les horizons sont identifiés sur les trois faces du pédon. Une face sert à caractériser la morphologie du profil de sol. On utilise le système canadien de classification des sols (Comité d'experts sur la prospection pédologique d'Agriculture Canada 1992) pour caractériser les horizons et le type pédogénétique.

Chaque pédon est décrit selon le guide de Bernier et Carrier (1977). Les caractéristiques de chaque horizon identifié sont : 1) l'épaisseur moyenne de la profondeur; 2) la netteté et la régularité de la limite inférieure de l'horizon; 3) la couleur à l'état humide (Munsell Color Company 1954, Macbeth 1992); 4) la classe texturale et, dans le cas des sables, la grosseur du grain; 5) le type, les dimensions et le degré de développement de la structure des agrégats; 6) le degré de cimentation; 7) le pH sur le terrain [à l'aide de papier pH, de la méthode Truog ou d'un pH-mètre de poche (rapport 2 : 1 eau déminéralisée : sol V/V)]; 8) l'abondance et la limite de l'enracinement; 9) l'abondance, les dimensions et le contraste des mouchetures; 10) la forme d'humus; 11) la pierrosité; 12) les particularités de chaque horizon; 13) la profondeur du profil; 14) le drainage; 15) l'identification du type pédogénétique sur le terrain.

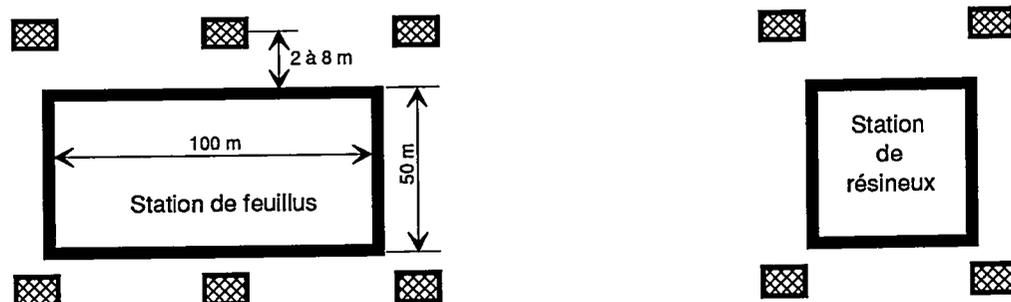


Figure 5. Localisation des pédons dans les stations de feuillus et de résineux du RESEF.

Procédure d'échantillonnage

Prélèvements pour fins d'analyse

Des échantillons de chaque horizon de sol minéral et de l'horizon H (Ah) sont prélevés séparément sur les trois faces du pédon. Trois échantillons composites de 10 cm d'épaisseur à partir de la limite entre les horizons A et B sont également prélevés afin de prendre en compte la principale zone d'activité des racines. Des échantillons du matériel des horizons L et F sont prélevés à proximité du pédon pour fins d'analyse lors de l'échantillonnage volumétrique de la couverture morte.

L'échantillonnage sur trois faces du pédon permet d'évaluer la variation, à l'intérieur du profil, des propriétés physico-chimiques sur une distance d'environ 70 cm (figure 6).

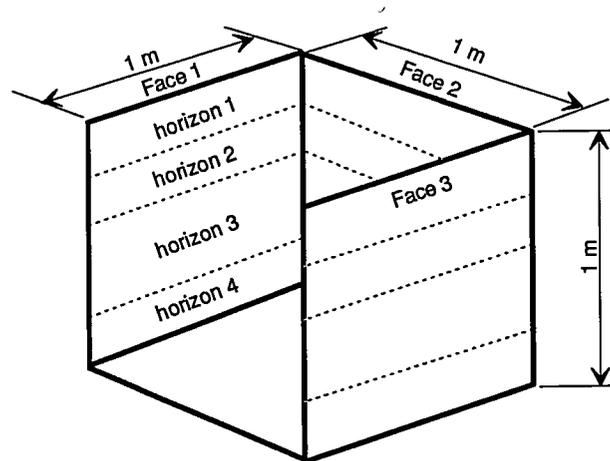


Figure 6. Identification des faces du pédon. Celui-ci a 1 m de long sur 1 m de large et jusqu'à 1 m de profondeur. Les trois échantillons d'un même horizon sont espacés en moyenne de $\sqrt{2} \times (50 \text{ cm})^2 \approx 70 \text{ cm}$

Prélèvements volumétriques

Les valeurs de densité apparente sont essentielles pour convertir les mesures en laboratoire des concentrations en éléments et de capacité d'échange, obtenus sur une base de masse, en unités de volume ou de superficie. Nous nous sommes inspirés principalement de travaux sur le sujet pour mettre au point la procédure d'estimation de la densité apparente de chaque horizon de sol pour chacune des places d'étude du RESEF.

La densité apparente des sols minéraux est mesurée à partir d'échantillons prélevés dans le sol à l'aide d'une sonde à marteau. Deux à trois échantillons des principaux horizons du sol minéral sont prélevés dans chaque pédon. Le volume de sol récolté est de 127 cm³ par échantillon. Les dimensions de cet échantillon excluent cependant les pierres et les fragments de roc grossiers. Cette fraction grossière de pierres et de cailloux (f_m) est estimée pour l'ensemble du pédon en évaluant le volume de pierres extrait du pédon en pourcentage du volume de ce dernier. La proportion de fragments de racines dans le sol est difficile à mesurer et, sauf exception, peut être considérée comme négligeable.

La couverture morte fait l'objet d'un prélèvement volumétrique à proximité de chaque pédon à l'aide d'un cerceau de 22,7 cm de diamètre qui sert de gabarit. La couverture morte est divisée en litière fraîche (et mousses), litière des années précédentes, horizon F et horizon H ou Ah. L'épaisseur des horizons est mesurée soigneusement au 0,25 cm près.

Analyse des propriétés physico-chimiques

Les échantillons de sols minéraux et organiques sont séchés à l'air ambiant et passés dans un tamis ayant des ouvertures de 2 mm. Le pH est mesuré dans une suspension sol : eau de rapport 1 : 1 par potentiométrie à l'aide d'une électrode combinée. Dans le cas d'un sol organique, le rapport sol : eau est de 1 : 2. La conductivité électrique est mesurée dans l'extrait aqueux d'un mélange sol : eau 1 : 2 (pour les sols organiques, le rapport est de 1 : 4). Les cations échangeables K, Ca, Mg, Al et Mn sont obtenus par extraction au NH₄Cl 1N en utilisant un rapport sol : solution de 1 : 10. Le pH est également dosé dans l'extrait. Ces éléments sont quantifiés par spectrométrie d'émission atomique à plasma inductif. L'acidité échangeable effective est estimée par l'addition des ions H⁺ mesurés par potentiométrie et des ions libérés, en considérant une hydrolyse complète de l'Al. La capacité d'échange cationique effective (CEC_e) et la saturation en bases sont calculées à partir de ces données.

Une partie aliquote de l'échantillon tamisé est broyée dans un appareil Spex muni d'un tamis de 35 mailles (500 μm). Après digestion et minéralisation par l'acide sulfurique-péroxyde d'hydrogène-sélénium, on détermine les paramètres d'intérêt N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, Al, Fe, Mo et B. L'azote est mesuré par colorimétrie automatisée et les autres éléments, par spectrométrie d'émission atomique à plasma inductif. Les oxydes amorphes de fer et d'aluminium sont déterminés par extraction au pyrophosphate de sodium 0,1 M et quantifiés par spectrophotométrie d'absorption atomique (McKeague 1967). Le carbone organique des sols minéraux est évalué selon la méthode d'oxydation humide en milieu acide (Walkley et Black 1934) et celui des sols organiques est déterminé par perte au

feu à 550 °C (Gallardo *et al.* 1987). La justesse des résultats est assurée par l'analyse d'échantillons de référence internes et externes. La précision est évaluée par l'analyse d'échantillons en duplicata.

Au laboratoire, les échantillons volumétriques de sol minéral sont séchés à l'air ambiant, pesés pour obtenir la masse totale de l'échantillon (M_t) puis tamisés à 2 mm. La partie qui passe le tamis est pesée pour déterminer la masse de terre fine (M_f). Les échantillons volumétriques des horizons organiques sont séchés au four à 55 °C pendant 48 h et leur masse (M_o) est mesurée. Après séchage et pesage, les échantillons des horizons L et F sont broyés au moulin avant analyse; les fragments organiques grossiers sont donc inclus dans la matériel d'analyse.

RÉFÉRENCES

- BERNIER, B. et L. CARRIER, 1977. *Guide pour la prise de notes au cours des relevés pédologiques en forêt*. Min. des Ter. et For. du Québec, Dir. gén. des for., Serv. de la rech. Guide n° 2, 2^e éd. 33 p.
- COMITÉ D'EXPERTS SUR LA PROSPECTION PÉDOLOGIQUE D'AGRICULTURE CANADA, 1992. *Le système canadien de classification des sols*. Seconde édition. Agric. Can., Publ. 1646. 170 p.
- FEDERER, C.A., D.E. TURCOTTE et C.T. SMITH, 1993. *The organic fraction-bulk density relationship and the expression of nutrient content in forest soils*. Can. J. For. Res. 23 : 1026-1032.
- GALLARDO, J.F., J. SAAVEDRA, T. MARTIN-PATINO et A. MILLAN, 1987. *Soil organic matter determination*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 18 : 699-707.
- GLOBAL ENVIRONMENT MONITORING SYSTEM, 1991. *Interim report on cause-effect relationships in forest decline* : 63-76.
- JOHNSON, D.W., G.S. HENDERSON et D.E. TODD, 1988. *Changes in nutrient distribution in forests and soils of Walker Branch watershed, Tennessee, over an eleven-year period*. Biogeochemistry 5 : 275-293.
- MACBETH, 1992. *Munsell soil color charts*. Édition révisée. Newburg, NY.
- MCKEAGUE, J.A., 1967. *An evaluation of 0,1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in Podzols and some other soils*. Can. J. Soil Sci. 47 : 95-99.
- MUNSELL COLOR COMPANY INC., 1954. *Munsell soil color charts*. Édition 1954. Baltimore, Maryland.
- WALKLEY, J. et W. BLACK, 1934. *An experimentation of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*. Soil Sci. 37 : 29-38.

ANNEXE 5

LISTE DES DÉFAUTS DE LA TIGE, DES INSECTES ET DES MALADIES RELEVÉS DANS LE RESEF

Défauts de la tige

- 0 - Aucun
- 1 - Fente
- 2 - Gélivure
- 3 - Tête cassée
- 4 - Renflement
- 5 - Becquetages d'oiseaux
- 6 - Arbre penché
- 7 - Blessure
- 8 - Brindilles adventives
- 9 - Autres

Caries

- 0 - Aucune
- 1 - Caries de coeur
- 2 - Caries d'aubier
- 3 - *Fomes sp.*
- 4 - *Polyporacea sp.*
- 5 - *Agaricacea sp.*
- 6 - *Armillaria sp.*
- 7 - *Ganoderma applanatum*
- 8 -
- 9 - Autres

Insectes

- 0 - Aucun
- 1 - Livrée des forêts
- 2 - Arpenteuse de Bruce
- 3 - Chenille à bosse orangée
- 4 - Tordeuse des bourgeons de l'épinette
- 5 - Phytomyces
- 6 - Acariens
- 7 - Pucerons
- 8 - Perceur de l'érable
- 9 - Autres

Autres maladies

- 0 - Aucune
- 1 - Chancre eutypelléen
- 2 - Chancre nectrien
- 3 - Mort récemment
- 4 - Mort anciennement
- 5 - Maladie foliaire
- 6 - Chancre cytosporéen
- 7 -
- 8 -
- 9 - Autres

Défoliation due aux insectes

- 0 - 0 %
- 1 - 1 % à 5 %
- 2 - 6 % à 15 %
- 3 - 16 % à 25 %
- 4 - 26 % à 40 %
- 5 - 41 % à 55 %
- 6 - 56 % à 70 %
- 7 - 71 % à 85 %
- 8 - 86 % à 99 %
- 9 - 100 %

Pour réaliser la Stratégie de protection des forêts et le suivi des effets réels, les responsables doivent s'appuyer, entre autres, sur la connaissance des effets des divers stress environnementaux qui affectent les écosystèmes forestiers. Pour acquérir ces connaissances, la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles a mis sur pied un réseau permanent de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) afin de connaître l'impact de ces stress sur la dynamique et l'état de santé des forêts. Ce réseau est lui-même appuyé par le Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole du Québec (REMFAPAQ) qui est sous la responsabilité du ministère de l'Environnement et de la Faune.



Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources
naturelles

ISBN 2-550-29736-9
ISSN 1183-3912
F.D.C. 180(047.3)(714)
L.C. SD 387 .E58

RN94-3089