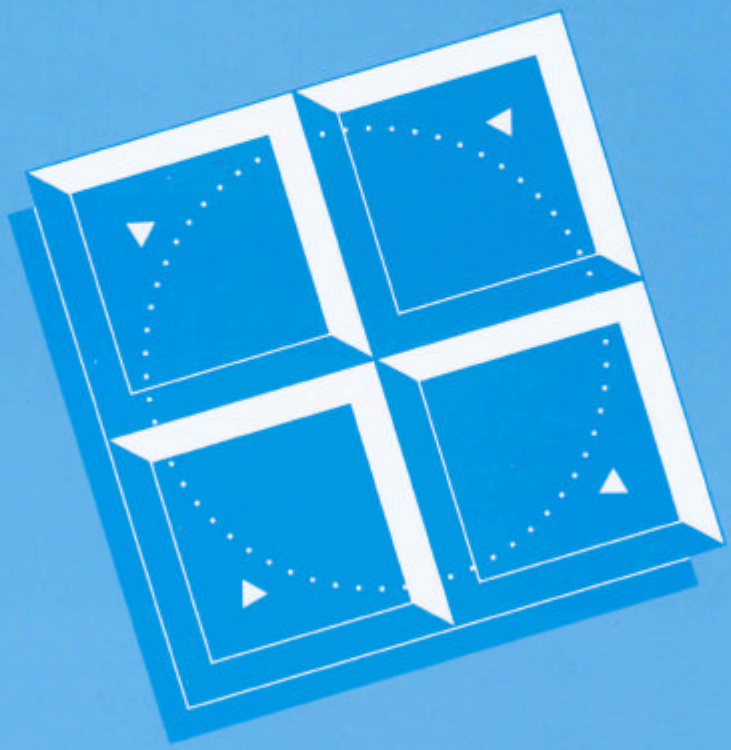
Mémoire de recherche forestière n° 131

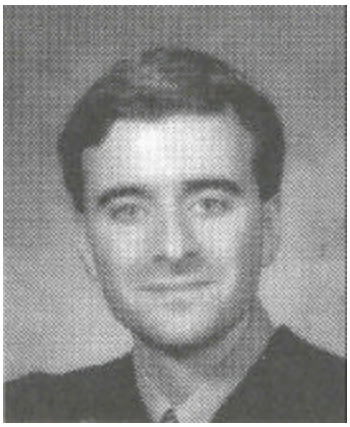
Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) III - L'utilisation du RESEF pour l'étude de la biodiversité en milieu forestier

par J.-D. Moore



Québec

Jean-David MOORE est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1996. Poursuivant des études de maîtrise ès sciences (sols forestiers) dans le même établissement, il a été assistant de recherche à la Faculté de foresterie et de géomatique ainsi que chercheur à contrat à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles.



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.

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 :

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

(Courriel : carfa1@mrn.gouv.qc.ca)

Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF)

III – L’utilisation du RESEF pour l’étude de la biodiversité en milieu forestier

Le réseau de surveillance
Des écosystèmes forestiers (RESEF)

III – L'utilisation du RESEF pour l'étude de la biodiversité en milieu forestier

par

Jean-David MOORE, ing.f.

Mémoire de recherche forestière n° 131

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Direction de la recherche forestière
1998

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 0900 149S :
« Protection et amélioration de la fertilité des sols forestiers sous différents types d'aménagement ».

RN98-3017

ISBN 2-550-32642-3
ISSN 1183-3912
Dépôt légal 1998
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
©1998 Gouvernement du Québec

Remerciements

L'auteur tient à remercier sincèrement Claude Camiré, Rock Ouimet et Norman Dignard pour la révision de ce rapport, Hélène d'Avignon pour la correction technique ainsi que Patricia Roberts-Pichette (Environnement Canada) pour avoir fourni de précieux documents.

Québec, 31 mars 1997

Résumé

Ce rapport vise à évaluer dans quelle mesure le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) peut servir à des fins d'étude de la biodiversité, compte tenu de ses caractéristiques actuelles et des paramètres mesurés. On a effectué une synthèse des caractéristiques des stations permanentes d'étude de la biodiversité en Amérique du Nord, ainsi qu'une énumération des paramètres mesurés et analysés dans ces stations. On a aussi réalisé une comparaison des données pouvant être tirées de ces réseaux avec celles pouvant être tirées du RESEF. On s'apercoit que, mis à part les dimensions des parcelles, le RESEF surpasse le protocole du *SI/MAB*. En effet, on constate que le RESEF effectue un inventaire plus complet de la végétation. De plus, le statut nutritif des arbres est analysé dans les stations du RESEF, ce qui ne se fait pas dans le réseau *SI/MAB*. Roberts-Pichette (1995) mentionne qu'un élément esssentiel de tout programme de suivi à long terme de la biodiversité est la collecte des données climatiques. À ce chapitre, le RESEF est très bien pourvu comparativement au protocole du *SI/MAB*. Les parcelles du RESEF, comme celles du réseau *SI/MAB*, sont trop petites pour une étude complète de la diversité biologique. Néanmoins, si la diversité végétale et celle de la « micro et macrofaune » du sol (ex: arthropodes, amphibiens, petits mammifères) nous apparaissent appropriées, l'utilisation des parcelles *SI/MAB* d'un hectare semble acceptable. On peut cependant prévoir des problèmes de représentativité si le nombre de répétitions des parcelles est restreint. Le document se termine par une présentation d'indices servant à mesurer la diversité des végétaux, ainsi que par une synthèse des indices de diversité dans le cadre d'une unité géographique et entre unités géographiques.

Mots-clés : écosystèmes forestiers, réseaux de surveillance, biodiversité, inventaire, faune du sol.

Abstract

Using the* RESEF *(FEMN) to study biodiversity in the forest environment. *This report is aimed at evaluating to what extent the forest ecosystem monitoring network (FEMN,* RESEF = Réseau de Surveillance des Écosystèmes forestiers*) of Québec's* Ministère des Ressources naturelles *(*MRNQ*) can be used to study biodiversity, taking into account its present characteristics and the measured parameters. A synthesis of the characteristics of the permanent biodiversity study sites in North America was done along with a listing of parameters measured and analyzed on these sites. A comparison of data that can be taken from these network to data that can be taken from the* RESEF *was also done. It can be seen that, aside from plot dimensions, the* RESEF *outdoes the SI/MAB protocol, in that the* RESEF *does a more complete vegetation inventory. Moreover, the nutritional status of the trees is analysed in the* RESEF *plots, which is not the case in the SI/MAB network. Roberts-Pichette (1995) reports that an essential element in any long-term biodiversity follow-up is collecting climatic data. In this regard,* RESEF *is very well equipped as compared to the SI/MAB protocol. Its plots, as are those of SI/MAB, are too small for a complete study of biological diversity. Nevertheless, if vegetal diversity and that of soil "micro and macrofauna" (ex. : arthropods, amphibians, small mammals) seem appropriate, using one-hectare SI/MAB plots seems acceptable. But problems of representativity can be expected if the number of plot repetitions is small. The report concludes with a presentation of indices to measure vegetation diversity as well as a synthesis of diversity indices within one geographicsal unit and between geographical units.*

Key words : forest ecosystems, monitoring networks, biodiversity, soil fauna.

Table des matières

Résumé v

Abstract v

Liste des tableaux xi

Introduction 1

Mise au point concernant le terme biodiversité 1

Chapitre premier

Les stations permanentes d'étude de la biodiversité en Amérique du Nord (SPEBAN) 3

1.1 Le programme *SI/MAB (Smithsonian Institution Man and the Biosphere Biodiversity Program)* 3

1.1.1 Synthèse des caractéristiques des stations du réseau *SI/MAB* 4

1.1.2 Paramètres mesurés et analysés 4

1.2 Le RESE (Réseau d'évaluation et de surveillance écologique au Canada, *EMAN)* 5

1.2.1 Synthèse des caractéristiques des stations du RESE 5

1.2.2 Paramètres mesurés et analysés 5

Chapitre deux

Comparaison entre les données obtenues dans les parcelles permanentes du réseau *SI/MAB* et dans celles du RESEF 7

Chapitre trois

Modifications à apporter au RESEF 9

Chapitre quatre

Comparaison de la biodiversité à l'aide d'indices de diversité 13

Conclusion et recommandations 17

Bibliographie 17

Annexe 1

Écozones terrestres du Canada 23

Annexe 2

Classement des sites du RESE par écozone 25

Annexe 3

Sites Internet et adresses 31

Liste des tableaux

Tableau 1. Stations permanentes d'étude de la biodiversité du réseau *SI/MAB* établies ou en voix d'établissement au Canada 4

Tableau 2. Comparaison entre les données obtenues dans le réseau *SI/MAB* et celui du RESEF 8

Tableau 3. Dimensions approximatives du domaine vital de quelques espèces forestières 10

Tableau 4. Liste des types de peuplement des places d'étude du RESEF dans les zones de végétation et domaines climaciques du Québec méridional 11

Tableau 5. Sommaire de la performance et des caractéristiques de quelques mesures de diversité 16

Figure

Carte des Écozones terrestres du Canada 23

Introduction

L'étude de la biodiversité est un phénomène relativement nouveau, d'où la difficulté de documenter des recherches sur certains de ses aspects. Par conséquent, les initiatives concernant l'établissement de stations permanentes d'étude sur la biodiversité (SPEB) sont elles aussi assez récentes. Les premières parcelles de la *Smithsonian Institution Man and the Biosphere Biodiversity Program (SI/MAB),* réseau d'étude de la biodiversité, ont été établies en 1987, principalement dans les régions tropicales (COMISKEY et DALLMEIER 1995). C'est en 1994 que sont apparues les premières parcelles au Canada (DRYSDALE *et al.* 1996, *SI/MAB* 1995). Ce document a été conçu pour être le point de départ d'une étude sur la possibilité d'utiliser le RESEF pour l'étude de la biodiversité ainsi que sur la compatibilité du RESEF avec les autres réseaux en opération.

Mise au point concernant le terme biodiversité

Il existe dans la littérature et dans le langage populaire des différences majeures quant à la définition de la biodiversité, tant par rapport au sujet traité qu'à l'échelle spatiale utilisée. Cette abondance de définitions entraîne des problèmes de compréhension dans les travaux ou les échanges sur le sujet. Il est donc important de bien s'entendre sur une définition afin d'éviter tout malentendu.

D'après la convention signée à Rio en 1992, la diversité biologique ou biodiversité se définit comme étant la « variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes » (CNUED 1992). Cette définition de la biodiversité fait état de trois aspects, soit la diversité des écosystèmes, des espèces et des gènes. Il reste à préciser à quelle échelle spatiale (mondiale, nationale, régionale ou locale) s'applique cette définition pour éviter toute confusion.

Chapitre premier

Les stations permanentes d'étude de la biodiversité en Amérique du Nord (SPEBAN)

Jusqu'à maintenant, seulement deux réseaux de stations permanentes d'étude de la diversité biologique ont été mis en place en Amérique du Nord. Il s'agit du *Smithsonian Institution Man and the Biosphere Biodiversity Program (SI/MAB)* et du Réseau d'évaluation et de surveillance écologique au Canada (RESE). Toutefois, pour le RESE *(EMAN),* le réseau *SI/MAB* semble être la référence quant au protocole d'établissement des stations permanentes d'étude de la biodiversité (ROBERTS-PICHETTE et MCKELLAR 1996).

1.1 Le programme *SI/MAB*

Le réseau *SI/MAB* est certainement l'un des plus importants réseaux d'inventaire et de suivi de la biodiversité au monde. En effet, ce programme, fondé en 1986 par la *Smithsonian Institution* et *l'UNESCO-MAB,* comporte environ 200 parcelles dans plus d'une vingtaine de pays (DALLMEIER 1996), dont au moins 25 déjà établies ou en voie de l'être au Canada (Tableau 1 ; DRYSDALE *et al.* 1996, ROBERTS-PICHETTE et MCKELLAR 1996, *SI/MAB* 1995). De plus, à l'échelle mondiale, le nombre de parcelles devrait passer à 300 d'ici l'an 2000 *(SI/MAB* 1997).

Le réseau *SI/MAB* vise à cerner les problèmes associés au maintien de la biodiversité des forêts par l'application de travaux de recherches, dans un cadre d'aménagement durable des ressources *(SI/MAB* 1995).

Le rôle du programme *SI/MAB* est de rassembler et d'analyser des informations sur les espèces et les communautés écologiques afin de mieux comprendre les changements dans les écosystèmes forestiers. Pour ce faire, le réseau *SI/MAB* vise quatre principaux objectifs (COMISKEY et DALLMEIER 1995) :

1. établir un réseau mondial de parcelles permanentes pour le suivi à long terme de la biodiversité dans les réserves de la biosphère et autres régions forestières protégées, en s'attardant plus particulièrement aux habitats les plus biologiquement diversifiés ou encore les plus menacés, afin d'en connaître la composition, la structure et la dynamique forestière ainsi que les changements environnementaux ;
2. améliorer le savoir-faire du pays hôte par des programmes de formation professionnelle ;
3. choisir un protocole approprié afin d'obtenir de chaque parcelle les données nécessaires aux chercheurs du pays hôte ;
4. publier les résultats de recherche et des programmes de formation.

On retrouve dans DALLMEIER (1992) trois objectifs plus spécifiques pour le programme *SI/MAB* :

1. faciliter l'inventaire de la diversité des plantes ;
2. fournir des données à long terme sur la croissance, la mortalité, la régénération et la dynamique des arbres forestiers ;
3. créer une base de données pour la recherche et l'éducation afin de contribuer à la conservation et à la gestion des Réserves de la Biosphère et autres régions protégées à travers le monde.

Tableau 1. Stations permanentes d'étude de la biodiversité du réseau *SI/MAB* déjà établies ou en voie d'établissement au Canada

Province et site	Écozone[1]
Alberta	
- Waterton Lakes Biosphere Reserve	cordillère montagnarde
Colombie-Britannique	
- Rocky Point Military Reserve	maritime du Pacifique
- Yoho National Park	cordillère montagnarde
Nouveau-Brunswick	
- Fundy National Park	maritime de l'Atlantique
Nouvelle-Écosse	
- Kejimkujik National Park	maritime de l'Atlantique
Ontario	
- Niagara Escarpment Biosphere Reserve	plaines à forêts mixtes
- Long Point Biosphere Reserve	plaines à forêts mixtes
Québec	
- Réserve de la biosphère de Charlevoix	bouclier boréal
- Parc national de la Mauricie	bouclier boréal
- Réserve de la biosphère du Mont-Saint-Hilaire	plaines à forêts mixtes

Tiré de ROBERTS-PICHETTE et MCKELLAR (1996).
[1] On retrouve à l'annexe 1 la carte des écozones terrestres du Canada.

1.1.1 Synthèse des caractéristiques des stations du réseau *SI/MAB*

Selon DALLMEIER (1992), les coûts engendrés pour l'établissement des parcelles permanentes d'étude de la biodiversité sont très élevés ; c'est pourquoi leur localisation doit se faire avec soin. L'auteur suggère des méthodes pour établir et inventorier les parcelles permanentes du *SI/MAB* pour l'étude de la biodiversité. On y trouve également les principales caractéristiques des parcelles permanentes : la zone globale d'étude est de 25 ha, divisées en 25 parcelles d'un hectare, redivisées en 25 quadrats de 20 m sur 20. Finalement, ces 25 quadrats sont divisés en 16 sous-quadrats de 5 m sur 5.

Sur les 25 quadrats de 20 m sur 20, neuf sont conservées comme témoins, pour être remesurées après 10 ou 50 ans. Une autre façon d'éviter de perturber le site consiste à séparer les neuf quadrats en sous-quadrats témoins de 10 m sur 10 ou 15 m sur 15, permettant ainsi l'observation de l'autre partie du quadrat de 20 m sur 20 (HUTCHINSON 1997).

Il faut cependant noter que la zone d'établissement des parcelles du *SI/MAB* au Canada est souvent restreinte à 1 ou 2 ha (ROBERTS-PICHETTE et MCKELLAR 1996), contrairement à 25 ha dans plusieurs autres sites du réseau en Amérique (DALLMEIER 1992), d'où des problèmes possibles quant à la valeur et la représentativité du site lors de comparaisons ultérieures avec d'autres milieux semblables.

1.1.2 Paramètres mesurés et analysés

À l'intérieur de la parcelle de 1 ha, tous les arbres de plus de 10 cm à hauteur de poitrine (DHP) sont localisés, identifiés et mesurés (DALLMEIER 1992). Les arbres sont également classifiés selon leur état : vivant debout, vivant brisé, vivant tombé, mort debout, mort brisé, mort tombé, non localisé.

L'inventaire et le suivi de la biodiversité exigent un système efficace de gestion des données afin de comparer les différentes parcelles permanentes (COMISKEY et DALLMEIER 1995). Le programme *SI/MAB* a élaboré un outil de travail qui permet de gérer les

données recueillies sur le terrain ; le *Biodiversity Monitoring Database (BioMon).* L'expérience acquise par le *SI/MAB* démontre qu'un système efficace de gestion des données est essentiel au suivi de la biodiversité (COMISKEY *et al.* 1995).

1.2 Le RESE (Réseau d'évaluation et de surveillance écologique au Canada)

« En avril 1994, Environnement Canada a établi le Réseau d'évaluation et de surveillance écologique (RESE), un réseau national reliant les coopératives des sciences écologiques (CSE)[1] établies au pays » (EMAN 1995). Le RESE comporte maintenant près de 100 sites de CSE, réparties à travers les 15 écozones du Canada (ROBERTS-PICHETTE 1995, ROBERTS-PICHETTE et MCKELLAR 1996). On retrouvera à l'annexe 2 un classement des sites du RESE par écozone.

Le rôle principal du RESE est de « raccorder les activités de surveillance pour faciliter la coopération et l'adoption d'une méthode holistique en matière de recherche écologique et de compréhension des écosystèmes » (EMAN 1995). De plus, le RESE entend établir des priorités, planifier et mener des recherches et des programmes de suivi, en relation avec les changements de la diversité biologique des espèces et des groupes d'espèces (ROBERTS-PICHETTE 1995). Les objectifs du RESE sont les suivants (EMAN 1995) :

1. établir un réseau national de sites écologiques représentatifs en vu d'en faire le suivi à long terme ;
2. favoriser les échanges entre scientifiques des secteurs académiques, gouvernementaux et privés afin de discuter des effets cumulatifs des principaux stress environnementaux ;
3. favoriser les échanges entre les participants ainsi que les interactions avec les autres réseaux internationaux.

On trouve dans EMAN (1995) plusieurs objectifs plus spécifiques du programme.

1.2.1 Synthèse des caractéristiques des stations du RESE

Il ne semble pas que le RESE ait actuellement de protocoles communs ou comparables pour l'ensemble des CSE. Afin d'établir des parcelles permanentes d'étude de la biodiversité, le RESE recommande donc aux CSE d'utiliser des protocoles internationaux et ceux qui sont couramment employées au Canada dans le but de comparer les données récoltées sur les plans tant international que national (ROBERTS-PICHETTE 1995).

À l'échelle internationale, ROBERTS-PICHETTE (1995) donne les exemples suivants : le protocole de suivi des forêts mis au point par le *SI/MAB* (DALLMEIER 1992) et le portocole mis au point pour la toundra par *The International Tundra Experiment (ITEX)* (MOLAU 1993). À l'échelle canadienne, on trouve *The breeding bird survey* (ENVIRONMENT CANADA 1994) et le *Terrestrial arthropod biodiversity sampling* (BIOLOGICAL SURVEY OF CANADA 1994). C'est ainsi que plusieurs CSE ont adopté le protocole du *SI/MAB* pour mettre en place leurs stations permanentes d'étude de la biodiversité (ROBERTS-PICHETTE 1995), dont trois au Québec (tableau 1).

HUTCHINSON (1997) propose d'utiliser, au Canada, des parcelles d'un hectare du *SI/MAB* pour le suivi à long terme des arbres, arbustes, herbacées, lichens et mousses. De plus, selon la strate de végétation, il recommande d'utiliser des sous-parcelles de taille variable distribuées aléatoirement à l'intérieur des sous-parcelles de 20 m sur 20 de la parcelle permanente du *SI/MAB.* Il conseille également d'utiliser des quadrats de 5 m sur 5 pour les semis et les arbustes et des quadrats de 1 m sur 1 pour les plantes herbacées.

Le nombre de répétitions de quadrats nécessaires pour que l'échantillonnage soit représentatif est directement lié au groupe taxonomique et à l'hétérogénéité du site (HUTCHINSON 1997). L'auteur soutient que les sites hétérogènes peuvent nécessiter de 20 à 50 quadrats alors que sur les sites plus homogènes, dix quadrats de 1 m sur 1 à l'intérieur de la parcelle de 1 ha suffiront.

1.2.2 Paramètres mesurés et analysés

HUTCHINSON (1997) recommande d'échantillonner les arbres selon le protocole établi par le réseau *SI/MAB.* Il suggère également de se servir de ces parcelles pour mesurer d'autres paramètres comme :

1. le couvert végétal : pourcentage de recouvrement au sol par chaque espèce ;

---

1 Les CSE sont principalement des lieux où l'on trouve une concentration d'activités intégrées d'expérimentation, de surveillance et d'enregistrement des données (EMAN 1995).

2. la densité : nombre d'individus de chaque espèce dans le quadrat par unité de surface, par m^2 ou par hectare ;

3. la fréquence : probabilité de trouver chacune des espèces à l'intérieur de l'unité d'échantillonnage utilisée ;

4. la liste des espèces présentes pour tous les niveaux taxonomiques à l'étude, pour chacun des quadrats : arbres, arbustes, plantes herbacées, fougères, mousses, lichens, etc.

HUTCHINSON (1997) mentionne également l'intérêt de mesurer d'autres paramètres dans certaines situations, comme par exemple la période de floraison, la décomposition de la litière, etc.

Selon cet auteur, un échantillonnage à intervalle de cinq à dix ans peut être suffisant si l'objectif est de connaître le changement dans le temps. Par contre, si c'est la santé des arbres qui doit être évaluée, il peut devenir nécessaire d'échantillonner chaque année.

Dans le cas de ces échantillonnages fréquents, il ne faut pas oublier le problème du piétinement et de la perturbation des parcelles. Comme nous l'avons mentionné auparavant, il est important de maintenir l'intégrité du site.

Chapitre deux

Comparaison entre les données obtenues dans les parcelles permanentes du réseau *SI/MAB* et dans celles du RESEF

Le Tableau 2 compare les données obtenues dans les parcelles permanentes du réseau *SI/MAB* avec celles du RESEF. On constate que, comparativement au réseau *SI/MAB,* le RESEF effectue un inventaire plus complet de la végétation. En effet, en plus d'inventorier les arbres (DHP de 9,1 cm et plus), le RESEF fait une description de la régénération arborescente et de la végétation arbustive, herbacée, muscinale et lichénique. Pour sa part, le protocole *SI/MAB* ne considère que l'inventaire des arbres de DHP de 10 cm et plus. Dans le RESEF, le statut nutritif des arbres (échantillonnage foliaire et analyse du sol) et la dendrochronologie sont aussi analysés, ce qui n'est pas le cas du réseau *SI/MAB.*

ROBERTS-PICHETTE (1995) mentionne que la collecte des données climatiques est un élément essentiel de tout programme de suivi à long terme de la biodiversité. Comparativement au *SI/MAB,* le RESEF en est très bien pourvu. C'est ainsi que « la plupart des stations d'étude du RESEF sont dotées d'un poste d'échantillonnage du Réseau de mesure des polluants atmosphériques en milieux forestier et agricole du Québec (REMPAFAQ), situé généralement à moins de 2 km de la place d'étude. 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) le plus près » (GAGNON *et al.* 1994a).

Tableau 2. Comparaison entre les données recueillies dans le réseau *SI/MAB* et dans celui du RESEF

	RESEF	*SI/MAB*
Grandeur des parcelles (ha)	0,25 (résineux) 0,50 (feuillue)	1
Grandeur totale du territoire à l'étude (ha)	0,25 (résineux) 0,50 (feuillue)	25
Zone de protection minimum (m)	100	
Données sur la végétation		
Identification, numérotation et positionnement des tiges de 1,1 cm et plus	oui	oui*
DHP (mm)	oui	oui*
Hauteur des arbres (dm)	oui	
Diamètre des cimes des arbres de plus de 9,1 cm (dm)	oui	
État des arbres (mort, vivant, etc.)	oui	oui*
État de santé des arbres	oui	
Âge approximatif du peuplement	oui	
Analyse dendrochronologique	oui	
Description de la végétation arbustive, herbacée, muscinale et lichénique	oui	
Description de la régénération arborescente et arbustive		
Dénombrement des gaules de plus de 1,30 m de hauteur et de moins de 1,1 cm de DHP	oui	
Abondance / dominance des individus de moins de 1,30 m de hauteur	oui	
Statut nutritif du peuplement		
Échantillonnage foliaire	oui	
Relevés pédologiques (sol et litière)	oui (dans certaines conditions)	
Données climatiques		
Analyse de l'air ambiant	oui	
Analyse des précipitations	oui	
Analyse du climat	oui	

* 10 cm et +

RESEF : tiré de GAGNON *et al.* (1994a).

SI/MAB : tiré de DALLMEIER (1992).

Chapitre trois

Modifications à apporter au RESEF

La première question à se poser, dans le cadre de ce rapport, est de savoir quel aspect de la biodiversité nous voulons cibler. Une étude complète de la diversité biologique ne peut se faire à l'intérieur de parcelles comme celles du RESEF et du *SI/MAB,* étant donné leurs trop petites dimensions (tableau 2) par rapport au domaine vital de plusieurs espèces forestières (tableau 3). Les dimensions de ces parcelles semblent acceptables si l'on veut s'en tenir à l'étude de la diversité végétale, des arthropodes terrestres et de certains amphibiens et petits mammifères. Il est certain que l'utilisation de parcelles modifiées issues de protocoles internationaux pourrait être envisagé, comme c'est le cas dans le Parc national de Fundy au Nouveau-Brunswick (ROBERTS-PICHETTE et MCKELLAR 1996), évitant ainsi de transformer les parcelles du RESEF. Cependant, les parcelles modifiées du *SI/MAB* utilisées dans ce cas (20 m sur 20) ne sont acceptables que pour l'étude de la diversité végétale et des arthropodes terrestres, si l'on se fie aux dimensions du domaine vital et à l'aire minimale de ces organismes. Une modification des dimensions des parcelles actuelles du RESEF apparaît donc essentielle si l'on veut inclure d'autres organismes dans l'inventaire et le suivi de la biodiversité. Les zones de protection des parcelles du RESEF pourraient alors servir à l'agrandissement des parcelles existantes afin d'atteindre le standard d'un hectare du *SI/MAB.*

Les parcelles proposées doivent être assez nombreuses et bien réparties afin de conserver la représentativité du territoire en cas de perturbation naturelle à grande échelle, comme par exemple le feu, le chablis et les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. De plus, un nombre plus élevé de répétitions des parcelles augmente la précision des mesures.

La représentativité des stations du RESEF doit aussi être vérifiée. En effet, GAGNON *et al.* (1994b) mentionnent que « la distribution de ces places d'études a été planifiée de manière à ce qu'elles couvrent la plupart des grandes régions écologiques du Québec ». Cependant, alors que près de 75 % de la forêt méridionale du Québec est située en zone boréale (MRNQ 1996), seuls 35 % des sites d'étude du RESEF sont situés dans cette zone de végétation, contre 62 % dans la zone de la forêt feuillue (tableau 4). Malgré que la variabilité de la forêt boréale soit plus faible, certains domaines climaciques, par exemple la sapinière à bouleau blanc, ne sont pas ou peu représentés. De plus, ce tableau indique que la zone de la forêt mélangée (11 % de la forêt méridionale) est également sous-représentée (3 % des stations du RESEF). À cet égard, il faudrait alors se questionner sur la pertinence de transformer toutes les parcelles du RESEF en parcelles *SI/MAB* si des réajustements ne sont pas apportés à la représentativité des stations.

Tableau 3. Dimensions approximatives du domaine vital de quelques espèces forestières

Espèces forestières	Dimensions du domaine vital ou aire minimale (*) (ha)
Arthropodes terrestres	0,001-0,01
Végétation forestière **	0,04 *
Amphibiens	0,01-0,1
Musaraignes	0,01-0,2
Souris et campagnol	0,1-1,0
Lièvre d'Amérique	2,0
Mésange à tête noire	4,0
Grand Duc d'Amérique	50
Martre d'Amérique	260
Chouette rayée	500
Ours noir	5 000
Lynx	10 000

Tiré de DESROCHERS (1994) et de KLENNER et HUGGARD (1996).

** D'après GRANDTNER (comm. pers.), l'aire minimale pour l'étude de la végétation forestière au Québec est en général de 400 m^2 (0,04 ha), soit l'équivalent d'une parcelle de 20 m sur 20. Cependant, cette surface peut être moindre si le milieu est homogène.

Tableau 4. Liste des types de peuplement des 31 places d'étude du RESEF dans les zones de végétation et domaines climaciques du Québec méridional

Zones de végétation et domaines climaciques du Québec méridional[1]	Pourcentage de la forêt méridionale [1]	Type de peuplement dans le RESEF [2]	Nombre de stations dans le RESEF [2]
Forêt feuillue	**14,9**		**20 (65%)**
Domaine de l'érablière à caryers	1,3	aucun	0
Domaine de l'érablière à tilleul	4,4	Érablière à tilleul d'Amérique	1
		Érablière à tilleul d'Amérique et frêne d'Amérique	1
Domaine de l'érablière à bouleau jaune	9,2	Érablière à bouleau jaune et tilleul d'Amérique	3
		Érablière à bouleau jaune	5
		Érablière à bouleau jaune et hêtre à grandes feuilles	6
		Érablière à bouleau jaune et érable rouge	1
		Érablière rouge à bouleau jaune et épinette rouge	1
		Sapinière à épinette rouge	1
		Pessière rouge à sapin baumier	1
Forêt mélangée	**11,4**		**1 (3%)**
Domaines de la sapinière à bouleau jaune et de la bétulaie à bouleau jaune et sapin	11,4	Sapinière à bouleau jaune	1
Forêt boréale	**73,7**		**10 (32%)**
Domaine de la sapinière à bouleau blanc	14,0	aucun	0
Domaine de la sapinière à épinette blanche	1,7	Sapinière à épinette blanche	3
Domaines de la sapinière à épinette noire et de la pessière	58,0	Pessière noire à sapin baumier	6
		Pessière noire à hypne doré	1

[1] Tiré de MRNQ (1996).
[2] Tiré de Gagnon *et al.* (1994b).

Chapitre quatre

Comparaisons de la biodiversité à l'aide d'indices de diversité

Nous présentons ici deux indices, souvent considérés comme des « classiques » de l'étude de la diversité, ceux de Simpson et de Shannon. Cependant, PIELOU (1993) propose une autre approche pour mesurer la diversité, trouvant ce type d'indices un peu désuet compte tenu du contexte de la biodiversité des années 90. Enfin, la synthèse de la problématique des indices de diversité dans le document *La biodiversité au Canada* réalisé par l'équipe d'évaluation scientifique de la biodiversité pour ENVIRONNEMENT CANADA (1994), devrait permettre de mieux choisir l'indice le plus apte à répondre aux objectifs du RESEF concernant l'étude de la biodiversité.

Indices de Simpson et de Shannon

Deux des indices de diversité les plus communément utilisés sont ceux de Simpson et de Shannon (ODUM 1976). Alors que l'indice de Simpson penche en faveur des espèces communes, l'indice de Shannon favorise les espèces rares. En effet, l'indice de Simpson, *D,* est un indice de dominance car, d'une part, sa valeur maximale de 1 est atteinte lorsqu'il n'y a qu'une espèce présente (dominance complète) et, d'autre part, on obtient des valeurs qui tendent vers 0 lorsqu'il y a un grand nombre d'espèces, chacune de ces espèces ne représentant qu'une très petite fraction du total (absence de dominance). Lorsqu'on pense en terme de diversité, il est plus commode de calculer l'indice réciproque *1-D* de telle sorte qu'un indice élevé reflète une diversité élevée. L'indice de Shannon reflète la diversité dans le sens que plus sa valeur est élevée, plus la diversité est grande et plus il y a d'espèces qui se partagent la dominance dans la communauté. Étant donné que les deux indices fournissent des informations quelques peu différentes, leur utilisation simultanée permet d'évaluer la diversité dans un double optique (ODUM 1976). Pour les méthodes de calcul, voir ce même auteur.

Les indices de Pielou

Les indices servant à mesurer la diversité d'un écosystème terrestre, proposés par PIELOU (1993), se limitent aux végétaux. En effet, cet auteur considère que l'étude des plantes est suffisante étant donné qu'elles reflètent et créent la diversité d'un milieu donné. De plus, PIELOU dénote les trop grandes difficultés, voire l'impossibilité de réaliser l'inventaire dans le cas des autres groupes taxonomiques, particulièrement les arthropodes et les invertébrés du sol. C'est ainsi qu'il parle de trois indices différents :

1. Un estimé de *S,* le nombre d'espèces végétales

« Le nombre d'espèces dans un écosystème est l'indice de diversité le plus évident [...] Cet indice est donné en faisant une liste complète de toutes les espèces végétales dans chacune des parcelles échantillons, en les considérant comme représentatives d'un milieu donné, et en comptant le nombre total des différentes espèces trouvées dans toutes les parcelles réunies ».

2. Un estimé de *H,* la diversité de l'habitat

« Aucune mesure satisfaisante de la diversité de l'habitat n'a été trouvée jusqu'à maintenant. Une mesure indirecte peut être obtenue par les étapes suivantes, en utilisant les données déjà récoltées : comparer la liste des espèces pour chacune des paires de parcelles [...] Plus spécifiquement, compter le nombre d'espèces présentes dans la première parcelle mais non dans la deuxième, plus le nombre présent dans la deuxième mais non dans la première. Refaire cette opération pour chacune des paires de parcelles possibles et calculer la moyenne.

Il est clair qu'une forte valeur de cette moyenne implique une plus grande diversité d'habitat qu'une faible valeur ».

3. Un estimé de *R,* mesure du degré d'isolation des populations d'espèces, donnant un aperçu de la diversité génétique

« Un estimé de la diversité génétique peut être trouvé en utilisant la proportion de toutes les espèces représentant un *singleton,* c'est-à-dire une espèce retrouvée dans seulement une parcelle-échantillon ».

Pour le détail des calculs, voir PIELOU (1993).

On trouve une excellente synthèse relative aux indices de diversité dans le document *La biodiversité au Canada* réalisé par l'équipe d'évaluation scientifique de la biodiversité pour Environnement Canada (1994). En voici le compte rendu intégral :

« Autant la biodiversité est une question complexe, autant les chercheurs ont créé d'indices pour la décrire. On ne s'entend pas sur la façon de mesurer la diversité et, pour s'en convaincre, il suffit de voir l'abondance des indices appliqués (MAGURRAN 1988, FRONTIER et PICHOT-VIALE 1993). Nous récapitulons brièvement les principaux types d'indices couramment utilisés, notamment ceux qui mesurent la diversité de composition (PIELOU 1975, MAGURRAN 1988). Toutefois, alors que l'espèce constitue d'ordinaire une unité aisément reconnaissable et bien définie, ce n'est habituellement pas le cas des autres unités (comme l'habitat, la structure, l'écosystème), dont la définition est variable et va sans doute différer d'une étude et d'un observateur à l'autre, ce qui complique les comparaisons.

WHITTAKER (1977) a fait la distinction entre quatre niveaux de diversité de composition :

– la diversité ponctuelle (à l'échelle du micro-habitat) ;

– la diversité de type alpha (à l'intérieur de l'habitat) ;

– la diversité de type gamma (une unité supérieure à l'habitat, à l'échelle du paysage) :

– la diversité de type epsilon (unité supérieure au paysage, une région biogéographique).

WHITTAKER (1977) faisait aussi la distinction entre trois niveaux de diversité sur le plan de la différenciation, qui correspondent à ces niveaux de diversité de composition (MAGURRAN 1988) :

– diversité de distribution (mesure de la différence entre les échantillons provenant d'un même habitat homogène) ;

– diversité de type bêta (mesure de la différence au sein d'un groupe d'habitats, diversité entre habitats) ;

– diversité de type delta (mesure du changement dans la composition spécifique et dans l'abondance entre régions de diversité de type gamma comprises dans une région de diversité de type epsilon).

Le premier groupe d'indices mesure la diversité à l'intérieur d'une unité et il est caractérisé par l'échelle géographique à laquelle les indices s'appliquent (micro-habitat, habitat, paysage ou région biogéographique). Le second groupe mesure le degré de différence au niveau de la composition spécifique et de l'abondance entre ces unités géographiques ».

Indices de diversité dans le cadre d'une unité géographique

« Il existe une relation mathématique entre la plupart des indices, qu'on peut, par ailleurs, arranger en une séquence selon qu'ils mettent l'accent sur la richesse (le nombre d'espèces) ou la dominance (l'importance d'une espèce par rapport aux autres) (tableau 5 ; HURLBERT 1971, PEET 1974, DE JONG 1975, MAGURRAN 1988). Du point de vue mathématique et statistique, certains indices sont supérieurs aux autres car ils résistent mieux à l'effet exercé par l'importance des échantillons (tableau 5 ; ALATALO et ALATALO 1977, KEMPTON et WEDDERBURN 1978, ROUTLEDGE 1979).

Mais il demeure que le choix de l'indice le plus approprié dépend de la question, de la méthode d'échantillonnage et du type de communauté. Les indices qui mettent davantage l'accent sur la richesse spécifique sont généralement plus sensibles à la taille de l'échantillon.

Dans le contexte de la biodiversité, le recours à ces indices, notamment au niveau de l'habitat, prête à controverse. La maximisation de la diversité de type alpha peut souvent conduire à une perte de diversité aux niveaux supérieurs

(paysage, régions biogéographiques). Il faut toujours examiner les effets sur les niveaux supérieurs de cette forme de maximisation à un niveau donné. Ordinairement, ces indices accordent égale valeur à toutes les espèces et n'ont pas de pondération pour les valeurs et l'importance des espèces (WEITZMAN 1992). Dans la majorité des cas, cette approche est dangereuse et l'hypothèse sous-jacente n'est pas plausible. Bref, les indices de diversité qui combinent les notions de richesse spécifique et d'abondance donnent une mesure de la structure de la communauté, qui peut être utile à la comparaison d'unités semblables, mais sont d'une utilité limitée pour la gestion de la biodiversité ».

Indices de diversité entre unités géographiques

« Ces indices mesurent l'écart entre les unités ; à certains points de vue, ce sont les inverses des indices de similitude. Si deux unités géographiques ont moins d'espèces en commun, on s'attend à des indices plus élevés. Ils servent aussi à mesurer le renouvellement des espèces le long d'un gradient. Différents indices permettent de mesurer la diversité entre unités géographiques (PIELOU 1975, JANSON et VEGELIUS 1981, WILSON et SHMIDA 1984) ; il est aussi possible d'appliquer des techniques écologiques normalisées d'ordination et de classement (GREEN 1980, PIELOU 1984). Certains indices sont fondés sur des données de présence ou d'absence des espèces (WILSON et SHMIDA 1984) alors que d'autres sont fondés sur l'abondance relative des espèces (SOUTHWOOD 1978, WILSON et MOHLER 1983). Dans certains cas, les indices fondés sur des données quantitatives sont plus efficaces que ceux qui ne sont fondés que sur la présence ou l'absence d'espèces (MAGURRAN 1988). Cependant, la présentation des données, la taille des échantillons ainsi que l'objet de l'étude déterminent le choix des indices (WOLDA 1981, CAIRNS et SCHWAGER 1987).

De manière générale, ces indices conviennent mieux à l'aménagement de la biodiversité. Ils montrent davantage comment les écarts entre unités géographiques contribuent à la diversité à des échelles géographiques supérieures. Toutefois, ils souffrent des mêmes faiblesses que les indices de diversité applicables à l'intérieur d'une unité spatiale, en ce sens qu'ils sont aussi largement influencés par la taille de l'échantillon et que, d'ordinaire, ils ne tiennent pas compte de l'importance des espèces. Les indices de diversité sont le plus utiles lorsqu'ils servent à la comparaison d'unités géographiques semblables (habitats, paysages) et lorsque les effets de la superficie et de l'effort d'échantillonnage ont été éliminés (MARGULES *et al.* 1982, RATCLIFFE 1986).

La diversité se mesure à différents niveaux d'organisation ainsi qu'à différentes échelles spatiales et même temporelles (FRONTIER et PICHOT-VIALE 1993). Il importe de bien spécifier la raison du choix des indices choisis, ainsi que de bien définir l'échelle à laquelle ils sont appliqués. Rarement devrait-on appliquer les indices de diversité indépendamment d'autres mesures lorsqu'on traite de la biodiversité. Il faut aussi tenir compte de facteurs comme le rôle écologique, la distribution, l'importance et l'abondance des espèces. En contexte, les indices de diversité peuvent parfois être utiles, lorsqu'ils sont utilisés à bon escient, mais sont parfois très dangereux dans d'autres contextes ou lorsqu'ils sont utilisés à mauvais escient (PIELOU 1975, BOYLE *et al.* 1990). »

Tableau 5. Sommaire de la performance et des caractéristiques de quelques mesures de diversité (Tiré et traduit de MAGURRAN 1988)

	Capacité de discrimination	Sensibilité à la taille de l'échantillon	Richesse, régularité ou dominance	Utilisation fréquente ?
***a* (log séries)**	Bonne	Basse	Richesse	Oui
***I* (log normal)**	Bonne	Moderée	Richesse	Non
***Q* (statistique)**	Bonne	Basse	Richesse	Non
***S* (richesse spécifique)**	Bonne	Élevée	Richesse	Oui
Indice de Margalef	Bonne	Élevée	Richesse	Non
Indice de Shannon	Moderée	Moderée	Richesse	Oui
Indice de Brillouin	Moderée	Moderée	Richesse	Non
Indice *U* de McIntosh	Bonne	Moderée	Richesse	Non
Indice de Simpson	Moderée	Basse	Dominance	Oui
Indice de Berger-Parker	Faible	Basse	Dominance	Non
Régularité de Shannon	Faible	Moderée	Régularité	Non
Régularité de Brillouin	Faible	Moderée	Régularité	Non
Indice *D* de McIntosh	Faible	Moderée	Dominance	Non

Note: « Ces évaluations sont en partie subjectives et seulement valides lorsque les statistiques sont appliquées aux données initiales. Le but de ce tableau n'est pas de donner une classification définitive des mesures de diversité mais plutôt de montrer leurs principaux avantages et inconvénients. La troisième colonne montre si un indice est biaisé par rapport à la richesse spécifique, la régularité ou la dominance » (traduit de MAGURRAN 1988).

Conclusion

Seulement deux réseaux de stations permanentes d'étude de la diversité biologique sont implantés actuellement en Amérique du Nord. Il s'agit du *SI/MAB* et du RESE. Par ailleurs, le RESE utilise le protocole du réseau *SI/MAB* pour l'établissement de ses stations permanentes d'étude de la biodiversité.

Pour ce qui est des comparaisons entre le RESEF et le *SI/MAB,* on constate que, mises à part les dimensions des parcelles, le RESEF surpasse le protocole du *SI/MAB.* Contrairement à ce dernier, le RESEF est très bien pourvu en données climatiques, éléments essentiels de tout programme de suivi à long terme de la biodiversité. Le statut nutritif du peuplement et la dendrochronologie sont aussi étudiés dans le RESEF, ce que ne fait pas le *SI/MAB.* De plus, les données recueillies par le RESEF sont plus élaborées en ce qui concerne la végétation.

Une étude complète de la diversité biologique ne peut se faire à l'intérieur des parcelles du RESEF et du *SI/MAB* vu leurs dimensions trop petites par rapport au domaine vital de plusieurs espèces animales. Cependant, on pourrait les utiliser si on veut étudier la diversité des végétaux, des arthropodes terrestres et de certains amphibiens et petits mammifères. Les parcelles actuelles du RESEF devront être agrandies, à l'aide des zones de protection, si l'on veut qu'elles soient compatibles avec le réseau *SI/MAB.*

La représentativité des sites du RESEF doit aussi être vérifiée, car leur nombre n'est pas proportionnel à la superficie des zones de végétation et des domaines climaciques du Québec.

La biodiversité est un sujet complexe et on ne s'entend pas sur la façon de la mesurer. Deux des indices les plus souvent utilisés sont ceux de Simpson et de Shannon. Cependant, PIELOU (1993) propose de les remplacer par trois indices de diversité. De plus, il considère que l'étude des plantes est suffisante étant donné qu'elles reflètent et créent la diversité d'un milieu donné. C'est pourquoi les indices qu'il propose se limitent aux végétaux.

Recommandations

Nos recommandations en vue de l'utilisation des stations du RESEF pour l'étude de la biodiversité sont les suivantes :

1. déterminer quelle partie de la biodiversité sera étudiée dans les stations du RESEF ;
2. faire une revue de littérature (ou certaines études) afin de vérifier l'aire minimale nécessaire des placettes-échantillons en fonction des organismes ciblés ;
3. agrandir les stations du RESEF à un hectare afin de se conformer au protocole du *SI/MAB* ;
4. s'assurer d'utliser des indices de diversité pertinents aux objectifs de l'étude ;
5. installer de nouvelles stations du RESEF dans les zones de végétation sous-représentées ;
6. établir des parcelles témoins associées aux parcelles du RESEF.

Bibliographie

ALATALO, R. et R. ALATALO, 1977. *Components of diversity : multivariate analysis with interaction.* Ecology 58 : 900-906.

BIOLOGICAL SURVEY OF CANADA BRIEF, 1994. *Terrestrial arthropod biodiversity : planning a study and recommended sampling techniques.* Suppl. to Bull. Entomol. Soc. Canada 26(1).

BOYLE, T.P., G.M. SMILLIE, J.C. ANDERSON et D.R. BEESON, 1990. *A sensitivity analysis of nine diversity and seven similarity indices.* Res. J. Water Pollut. Control Fed. 62 : 749-762.

CAIRNS, S.J. et S.J. SCHWAGER, 1987. *A comparison of association indices.* Anim. Behav. 35 : 1454-1469.

CNUED (CONFÉRENCE DES NATIONS-UNIS SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT), 1992. *Convention sur la diversité biologique, Rio (Brésil).* 40 p.

COMISKEY, J.A., G.E. AYZANOA et F. DALLMEIER, 1995. *A data management system for monitoring forest dynamics.* J. Trop. For. Science 7(3) : 419-427.

COMISKEY, J.A. et F. DALLMEIER, 1995. *Biodiversity monitoring database* (BioMon) *: user's guide.* SI/MAB, Washington, D.C.

DALLMEIER, F. (éd.), 1992. *Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas : methods for establishment and inventory of permanent plots.* MAB digest 11. UNESCO, Paris. 725 p.

DALLMEIER, F., 1996 (non publié). *Research and monitoring of forest biodiversity : towards a global network.* Monte Verità Conference on Assessment of Biodiversity for Improved Forest Planning, Monte Verità, Suisse.

DEJONG, T.M., 1975. *A comparaison of three diversity indices based on their components of richness and evenness.* Oikos 26 : 222-227.

DESROCHERS, A., 1994. *Aménagement faunique (notes de cours).* Fac. for. géom., Univ. Laval, Québec.

DRYSDALE, C., A. FENECH et D. MACIVER, 1996. SI/MAB *permanent forest plots in Canada : from one hectare prototypes to national program of sites.* Ecological Society of America, 1996 Annual Combined Meeting : "Ecologists/Biologists as problem solvers". Providence, Rhode Island.

EMAN (ECOLOGICAL MONITORING AND ASSESSMENT NETWORK). 1995. http://www.cciw.ca/eman=tem/intro.html.

ENVIRONMENT CANADA, 1994. *Canadian landbird monitoring strategy.* Canadian Wildlife Service, Ottawa. 13 p.

ÉQUIPE D'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE DE LA BIODIVERSITÉ, 1994. *La biodiversité au Canada : évaluation scientifique pour Environnement Canada.* Environnement Canada, Ottawa. 275 p.

FRONTIER, S. et D. PICHOT-VIALE, 1993. *Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution.* Masson, Paris. 428 p.

GAGNON, G., C. GRAVEL, R. OUIMET, N. DIGNARD, R. PAQUET et G. ROY, 1994a. *Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). I - Définitions et méthodes.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 115. 39 p.

GAGNON, G., C. GRAVEL, R. OUIMET, N. DIGNARD, R. PAQUET et G. JACQUES, 1994b. *Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). II – Description des places d'étude et données de base.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 116. 187 p.

GREEN, R.H., 1980. *Multivariate approaches in ecology : the assessment of ecological similarity.* Am. Rev. Ecol. Syst. 11 : 1-14.

HURLBERT, S.H., 1971. *The non-concept of species diversity : a critique and alternative parameters.* Ecology 52 : 577-586.

HUTCHINSON, T., 1997. *Terrestrial vegetation protocols for EMAN.* Terrestrial Vegetation Group Environmental and Resource Studies Program, 2nd draft. Trent University, Peterborough, Ontario.

JANSON, S. et J. VEGELIUS, 1981. *Measures of ecological association.* Oecologia 49 : 371-376.

KEMPTON, R.A. et R.W.M. WEDDERBURN, 1978. *A comparison of three measures of species diversity.* Biometrics 34 : 25-37.

KLENNER, W. et D. HUGGARD, 1996 (non publié). *Background and rationale for faunal biodiversity studies in the Kamloops forest region.* North American Forest Biology Workshop Evening Workshop (NAFBW), Québec.

MAGURRAN, A.E., 1988. *Ecological diversity and its measurement.* Princeton University Press, Princeton, N.J.

MARGULES, C.R., A.J. HIGGS et R.W. RAFE, 1982. *Modern biogeographic theory : are there any lessons for nature reserve design ?* Biol. Conserv. 24 : 115-128.

MRNQ (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU QUÉBEC), 1996. *Ressource et industrie forestières : portrait statistique.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Québec. 142 p.

MOLAU, U. (éd.), 1993. ITEX *manual.* International Tundra Experiment, Danish Polar Center, Copenhague. 29 p.

ODUM, E.P., 1976. *Écologie*. Les Éditions HRW, Montréal. 254 p.

PEET, R., 1974. *The measurement of species diversity.* Ann. Rev. Ecol. Syst. 5 : 285-302.

PIELOU, E.C., 1975. *Ecological diversity.* Wiley, New York. 165 p.

PIELOU, E.C., 1984. *The interpretation of ecological data.* Wiley, New York. 263 p.

PIELOU, E.C., 1993. *Measuring biodiversity : quantitative measures of quality.* Dans : M.A. Fenger, E.H. Miller, J.A. Johnson et E.J.R. Williams (éd.). Our living legacy : proceedings of a symposium on biological biodiversity. Victoria, B.C., Royal British Columbia Museum : 85-95.

RATCLIFFE, D.A., 1986. *Selection of important areas for wildlife conservation in Great Britain : Conservancy Council's approach.* Dans : M.B. Usher (éd.). Wildlife conservation evaluation. Chapman and Hall. London. U.K. : 136-159.

ROBERTS-PICHETTE, P., 1995. *Framework for monitoring biodiversity change (species and species groups) within the Ecological Monitoring and Assessment Network in Canada.* http://www.cciw.ca/eman.

ROBERTS-PICHETTE, P. et M. MCKELLAR, 1996 (non publié). EMAN'*s goals, objectives and deliverables : 1996 declarations.* EMAN Occasional Paper Series, Report No. 2. Ecological Monitoring Coordinating Office, Burlington, Ontario.

ROUTLEDGE, R.D., 1979. *Diversity indices : which ones are admissible ?* J. Theor. Biol. 76 : 503-515.

SOUTHWOOD, T.R.E., 1978. *Ecological methods.* Chapman and Hall, London, U.K. 524 p.

SI/MAB (SMITHSONIAN INSTITUTION/MAN AND THE BIOSPHERE) BIOLOGICAL DIVERSITY PROGRAM, 1995. SI/MAB *Biodiversity News No. 4 (Spring/Summer 1995)*. Smithsonian Institution, Washington, D.C.

SI/MAB (SMITHSONIAN INSTITUTION/MAN AND THE BIOSPHERE) BIOLOGICAL DIVERSITY PROGRAM, 1997. *About the Smithsonian Institution/Man and the Biosphere Biodiversity Program.* http://www.si.edu.

WEITZMAN, M.L., 1992. *On diversity.* Qu. J. Econ. 2 : 363-405.

WHITTAKER, R.H., 1977. *Evolution of species diversity in land communities.* Evol. Biol. 10 : 1-67.

WILSON, M.V. et A. SHMIDA, 1984. *Measuring beta diversity with presence-absence data.* J. Ecol. 72 : 1055-1064.

WILSON, M.V. et C.L. MOHLER, 1983. *Measuring compositional change along gradients.* Vegetatio 54 :129-141.

WOLDA, H., 1981. *Similarity indices, sample size and diversity.* Oecologia 50 : 296-302.

Publications à venir

DALLMEIER, F., 1996. *An approach to multi-taxa measuring and monitoring of forest biodiversity.* Smithsonian Institution/Man and the Biosphere Biodiversity Program. Washington, U.S.A. Ecological Society of America, 1996 Annual Combined Meeting : "Ecologists/Biologists as Problem Solvers". Providence, Rhode Island.

MEYERSON, F.A.B. et B. CRAIG, 1996. *Establishing* a *biodiversity monitoring network of universities and high schools* : *speeding up the information highway.* Ecological Society of America, 1996 Annual Combined Meeting : "Ecologists/Biologists as Problem Solvers". Providence, Rhode Island.

MCMAHON, J.S., 1996. *Maintaining biological diversity in a matrix of managed forest land : ecological reserves and the Maine Forest Biodiversity Project.* Ecological Society of America, 1996 Annual Combined Meeting : "Ecologists/Biologists as Problem Solvers". Providence, Rhode Island. (The Nature Conservancy, Brunswick, ME 04011, USA).

Annexe 1

(Original en couleurs à : http://www.cciw.ca/eman-temp-f/ecozones/ecozones.html)

Annexe 2

Classement des sites du RESE par écozone
(extrait de ROBERTS-PICHETTE et MCKELLAR 1996b)

Écozone	Province ou Territoire	Site	Personne-ressource
Bas-Arctique	Territoires du Nord-Ouest	Darind Lake	S. Matthews Gouvernement des T. du N.-O. Smatth@inukshuk.gov. nt.ca
	Yukon	Parc national Ivvavik (Beaufort)	M. Raillard Parcs Canada martin_raillard@pch.gc.ca
Bouclier boréal	Manitoba	Thompson	G. Traynor Ress. Nat. Canada gillian.traynor@nrcan.qc.ca
	Ontario	Coldwater Lakes	R. Steedman MRNO steedman@epo.gov.on.ca
	Ontario	Dorset	P. Dillon Dorset Environ. Science Center dillon@epo.gov.on.ca
	Ontario	Experimental Lakes Area	J.T. Shearer Pêches et Océans Canada shearer@wpg.dfo.ca
	Ontario	Hawkeye	B. Kronberg Lakehead Univ. Bikronbe@thunder.lakeheadu.ca
	Ontario	Pukaskwa National Park	F. Burrows Parcs Canada frank_borrows@pch.gc.ca
	Ontario	Sudbury	K. Winterhalder Univ. Laurentienne kwhalder@nickel.laurentian.ca
	Ontario	Swan Lake (Scott Lake Forest)	B. Cole MRNO colebi@epo.qov.on.ca
	Ontario	Turkey Lakes	D. Jeffries INRS-Eaux dean.jeffries@cciw.ca
	Québec	Girardville (Saguenay - Lac-Saint-Jean)	S. Cloutier Univ. du Québec à Chicoutimi scloutie@uqac.uquebec.ca
	Québec	Forêt Montmorency (Réserve des Laurentides)	P. Bouliane Univ. Laval paul.bouliane@sbf.ulaval.ca

Écozone	Province ou Territoire	Site	Personne-ressource
Bouclier boréal	Québec	Lac Libéral (Saguenay – Lac-Saint-Jean)	S. Cloutier Univ. du Québec à Chicoutimi scloutie@uqac.uquebec.ca
	Québec	Parc National de la Mauricie (La Mauricie)	A. van Dijk Parcs Canada albert_van_dijk@pch.gc.ca
	Québec	Pipmuacan (Saguenay – Lac-Saint-Jean)	S. Cloutier Univ. du Québec à Chicoutimi scloutie@uqac.uquebec.ca
	Québec	Réserve de la biosphère de Charlevoix	R. Labrie ou Charles Roberge
	Québec	Saint-Hippolyte (Saguenay – Lac-Saint-Jean)	P. Alloul Univ. de Montréal pinelb@ere.umontreal.ca
	Québec	Simononcouche (Saguenay – Lac-Saint-Jean)	S. Cloutier Univ. du Québec à Chicoutimi scloutie@uqac.uquebec.ca
	Québec	Station forestière de Duchesnay (Réserve des Laurentides)	R. Paquin MRNQ
	Terre-Neuve	Salmonier Nature Park	M. Waldleigh Université mémoriale de T.-N. moire@sparky2.esd.mun.ca
	Terre-Neuve	Terra Nova National Park	K. Robinson Parcs Canada kevin_robinson@pch.gc.ca
Cordillère boréale	Yukon	Kluane Lake	G. Holdsworth Arctic Institute of North America holdswo@acs.ucalgary.ca
	Yukon	St-Elias	G. Holdsworth Arctic Institute of North America holdswo@acs.ucalgary.ca
	Yukon	Wolf Creek	J.R. Janowicz Aff. indiennes et du Nord Canada richard.janowicz@inac-ainc.x400.gc.ca

Écozone	Province ou Territoire	Site	Personne-ressource
Cordillère Montagnarde	Alberta	Waterton Lakes Biosphere Reserve	L. Frith Parcs Canada lfrith@supernet.ab.ca
	Colombie-Britannique	Germansen Lake	D. Coxson Univ. of North. British Columbia darwyn@unbc.edu
	Colombie-Britannique	Yoho National Park	D. Peterson Parcs Canada derek_petersen@pch.gc.ca
Haut-Arctique et Cordillère de l'Arctique	Territoires du Nord-ouest	Auyuittuq National Park Reserve	D. Clark Parcs Canada doug_clark@pch.gc.ca
	Territoires du Nord-ouest	Baker Lake	J. Svoboda Univ. de Toronto jsvoboda@tuzo.erin.utoronto.ca
	Territoires du Nord-ouest	Ellesmere Island National Park Reserve	D. Clark Parcs Canada doug_clark@pch.gc.ca
	Territoires du Nord-ouest	Igloolik	J. MacDonald Igloolik Research Centre igloonri@nunanet.com
	Territoires du Nord-ouest	Iqaluit	L. Peplinski Nunavut Research Institute lynnp@nunanet.com
	Territoires du Nord-ouest	North Baffin (Pond Inlet)	D. Clark Parcs Canada doug_clark@pch.gc.ca
	Territoires du Nord-ouest	Resolute Bay	B. Rigby Ress. naturelles Canada
Maritime de l'Atlantique	Nouveau-Brunswick	Fundy National Park	D. Clay Parcs Canada douglas_clay@pch.gc.ca
	Nouveau-Brunswick	Kouchibouguac National Park	E. Tremblay Parcs Canada éric_tremblay@pch.gc.ca
	Nouveau-Brunswick	St. Andrews	M.D.B. Burt Pêches et océans Canada huntsman@nbnet. nb.ca
	Ile-du-Prince-Édouard	Malpeque / Bedeque Bay	L. Spangler Univ. de l'Î.-P.-É. Spanglerl@upei.gc.ca
	Nouvelle-Ecosse	Kejimkujik National Park	C. Drysdale Parcs Canada kedgeco@fox.nstn.ca

Écozone	Province ou Territoire	Site	Personne-ressource
Maritime du Pacifique	Colombie-Britannique	Agassiz	S. Bittman C. rech. agr. du Pacifique bittmans@em.agr.ca
	Colombie-Britannique	Alaksen National Reserve	R. McKelvey Environnement Canada rick.mckelvey@ec.gc.ca
	Colombie-Britannique	Rocky Point / Mary Hill	Michael Dunn Pacific Wild. Res. Centre michael.dunn@ec.gc.ca
	Colombie-Britannique	Saturna Island	B. Thomson Environnement Canada bruce.thomson@ec.gc.ca
	Colombie-Britannique	Seymour River Watershed	D. Bonin Gr. Vancouver Reg. Dist. dbonin@gvrd.bc.ca
	Colombie-Britannique	UBC Research Forest	P. Sanders UBC Research Forest sanders@unixg.ubc.ca
Plaines boréales	Alberta	Meanook	E. Prepas Univ. of Alberta eprepas@gpu.srv.ualberta.ca
	Alberta	Terrestrial and Riparian Organisms, Lakes and Streams Study (TROLS) areas	E. Prepas Univ. of Alberta eprepas@gpu.srv.ualberta.ca
	Manitoba	Parc national Riding Mountain	J. Whitaker Riding Mountain Biosphere Reserve
	Manitoba	Tall Grass Prairie	R.E. Jones Critical Wild. Habitat Program
	Saskatchewan	Parc national Prince Albert	P. Tarleton Prince Albert National Park paul_tarleton@pch.gc.ca
Plaines à forêts mixtes	Ontario	Centre for Atm. Res. Exp.	F. Froude Centre for Atm. Res. Exp. frank.froude@ec.gc.ca
	Ontario	Essex	Essex Reg. Conserv. Authority P. Hermans
	Ontario	Grand River	Michael Greco Patrimoine canadien mike_greco@pch.gc.ca
	Ontario	Kintore Creek	I. Wilcox Upper Thames River Conserv. Authority aa133@info.london on.ca

Écozone	Province ou Territoire	Site	Personne-ressource
Plaines à forêts mixtes	Ontario	Long Point Biosphere Reserve	J. Robinson Canadian Wild. Serv. jeff.robinson@ec.gc.ca
	Ontario	Niagara Escarpment Biosphere Reserve	G. Whitelaw Ontario Min. Env. and Energy whitelgr@erie.gov.on.ca
	Ontario	Queen's University Biological Station	H. Proctor Queen's University proctorh@biology.queensu.ca
	Ontario	Trent-Severn	J. Radman Trent-Severn Waterway joan_radman@pch.gc.ca
	Québec	Réserve de la biosphère du Mont Saint-Hilaire	Martin Lechowicz Univ. McGill Martin@Bio1.LAN.McGill.CA
Plaines hudsoniennes	Manitoba	Churchill	M. Carter Churchill North. Res. Center director@cnsc.mb.ca
Prairies	Alberta	Alberta Rangelands	B. Adams Alberta Agr., Food & Rural Dev. adamsb@agric.gov.ab.ca
	Alberta - Saskatchewan	Cypress Hills	D.J. Sauchyn Univ. of Regina sauchyn@max.cc.uregina.ca
	Alberta	Lethbridge Research Center	W.Willms Agric. et Agroalimentaire Canada willms@em.agr.ca
	Alberta	Suffield	L.S. Shandruk Service canadien de la faune len.shandruk@ec.gc.ca
	Manitoba	Delta Marsh	L.G. Goldsborough University of Manitoba ggoldsb@umanitoba.ca
	Manitoba	South Tobacco Creek (Morden)	Bill Turner South Tobacco Creek Project pf20905@pfra.gc.ca
	Saskatchewan	Grasslands National Park	Pat Fargey Parcs Canada Pat_Fagey@pch.gc.ca
	Saskatchewan	Last Mountain Lake National Wildlife Area	J. Dunlop Last Mountain Lake National Wildlife Area john.dunlop@ec.gc.ca
	Saskatchewan	Matador	J. Romo Univ. of Saskatchewan romo@sask.usask.ca
	Saskatchewan	St. Denis National Area	R.G. Clark Parcs Canada clarkb@desoto.wxe.sk.doe.ca

Écozone	Province ou Territoire	Site	Personne-ressource
Taïga de la cordillère	Yukon	Ivvavik National Park	M. Raillard Parcs Canada martin_raillard@pch.gc.ca
	Yukon	Old Crow	J. Eamer Environnement Canada joan.eamer@ec.gc.ca
	Territoires du Nord-Ouest / Yukon	Peel River Watershed	B. Slater Northern Affairs Program slaterb@inac.gc.cah.gc.ca
Taïga du Bouclier	Québec	McGill Subarctic Research Station (Schefferville)	Wayne Pollard Univ. McGill pollard@felix.geog.mcgill.ca
Taïga des Plaines	Territoires du Nord-Ouest / Yukon	Peel River Watershed	B. Slater Northern Affairs Program slaterb@inac.gc.cah.gc.ca

Annexe 3

Sites Internet

EMAN ou RESE: http://www.cciw.ca/eman
SI/MAB : http://www.si.edu
Consultation de *Current Contents :* http://www.bibl.ulaval.ca/cc/ccconsul.html

Adresses

Francisco Dallmeier
SI/MAB Biodiversity Program
Smithsonian Institution, Suite 3123
1100 Jefferson Drive SW
WASHINGTON, D.C. 20560
U.S.A.
Téléphone : (202) 357-4793
Télécopie : (202) 786-4793
Courriel : ic.simab@ic.si.edu

Tom Hutchinson
Terrestrial Vegetation Group Environmental and Ressource Studies Program
Trent University
PETERBOROUGH (Ontario)
K9J 7B8
Téléphone et télécopie : (705) 748-1634
Courriel : thutchinson@trentu.ca

Patricia Roberts-Pichette
Ecological Monitoring Coordinating Office
Canada Centre for Inland Waters
P.O. Box 5050
BURLINGTON (Ontario)
L7R 4A6

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. Le RESEF pourrait éventuellement servir à l'étude de certains aspects de la biodiversité.

ISBN 2-550-32642-3
ISSN 1183-3912
F.D.C. 120(047.3)(714)
L.C. QH 541.15.S64

RN98-3017

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles