



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Canadian Theses Service

Services des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

CANADIAN THESES

THÈSES CANADIENNES

NOTICE

The quality of this microfiche is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us an inferior photocopy.

Previously copyrighted materials (journal articles, published tests, etc.) are not filmed.

Reproduction in full or in part of this film is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30.

**THIS DISSERTATION
HAS BEEN MICROFILMED
EXACTLY AS RECEIVED**

AVIS

La qualité de cette microfiche dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de qualité inférieure.

Les documents qui font déjà l'objet d'un droit d'auteur (articles de revue, examens publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

La reproduction, même partielle, de ce microfilm est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30.

**LA THÈSE A ÉTÉ
MICROFILMÉE TELLE QUE
NOUS L'AVONS REÇUE**

ETUDE SPATIALE ET ECOLOGIQUE
DES TYPES STRATIGRAPHIQUES DE TOURBIERES
AU NOUVEAU-BRUNSWICK

par

Livain Michaud

THESE PRESENTEE A L'ECOLE DES ETUDES SUPERIEURES
EN VUE DE L'OBTENTION DE LA MAITRISE ÈS ARTS EN
GEOGRAPHIE



Livain Michaud, Ottawa, Canada, 1985.

Permission has been granted to the National Library of Canada to microfilm this thesis and to lend or sell copies of the film.

The author (copyright owner) has reserved other publication rights, and neither the thesis nor extensive extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her written permission.

L'autorisation a été accordée à la Bibliothèque nationale du Canada de microfilmer cette thèse et de prêter ou de vendre des exemplaires du film.

L'auteur (titulaire du droit d'auteur) se réserve les autres droits de publication; ni la thèse ni de longs extraits de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation écrite.

ISBN 0-315-30954-7

RESUME

Cette étude présente une analyse spatiale et écologique de la stratigraphie des tourbières au Nouveau-Brunswick. Elle a pour but de rechercher les relations entre les variations spatiales des caractéristiques de la tourbe et celles de l'environnement physique. Afin de parvenir à cet objectif, trois étapes méthodologiques sont nécessaires:

1. La caractérisation des tourbières
2. La caractérisation du milieu physique correspondant
3. La mise en relation tourbières/environnement.

En premier lieu 804 tourbières furent définies en 7 types stratigraphiques à l'aide d'une analyse en composantes principales et d'une méthode de groupement. Ces types se distinguent selon les critères suivants: la décomposition de la tourbe, le pourcentage de sphaignes, l'épaisseur du dépôt et la proportion de gyttja. Cette information fut rendue disponible grâce au programme d'inventaire des tourbières du Nouveau-Brunswick.

En second lieu, 19 variables environnementales furent définies pour chaque tourbières. Elles rendent compte des caractéristiques concernant le relief, l'hydrographie, le substrat géologique et le climat. L'information climatique fut extrapolée aux tourbières à l'aide du logiciel SYMAP.

Les autres variables furent tirées de documents cartographiques.

La mise en relation fut accomplie à l'aide d'une procédure analytique de traitement de l'information, (PEGASE), suivi d'une analyse factorielle des correspondances. En utilisant des outils de mesures dérivées de la théorie de l'information (entropie, information mutuelle), la procédure Pegase a permis de découvrir le degré de dépendance entre la nature intrinsèque des tourbières et la nature de l'environnement. En outre elle a permis d'identifier les conditions de l'environnement les plus importants qui agissent sur les caractéristiques stratigraphiques des tourbières. L'analyse factorielle des correspondances a permis d'éclaircir ces relations.

Les résultats montrent que l'hydrographie et l'évapotranspiration potentielle sont les éléments les plus puissants dans l'explication des caractéristiques stratigraphiques des tourbières. En général les tourbières sont plus décomposées et possèdent une plus grande portion minérotrophe dans leur profils lorsqu'elles se sont développées le long d'un cours d'eau ou d'un rivage lacustre. Au contraire, elles sont moins décomposées et beaucoup plus dominées par les sphaignes le long du littoral et à position interfluviale. De plus, les tourbières deviennent de plus en plus décomposées lorsqu'on s'éloigne des zones littorales, et ceci correspond nettement aux

conditions d'évapotranspiration qui augmentent vers
l'intérieur des terres.



ABSTRACT

This study presents a spatial and ecological analysis of peatland stratigraphy in New Brunswick. The main objective is to study the relationship between the spatial variations of peatland characteristics and those of the physical environment. To this end, three methodological steps are necessary.

1. Characterization of peatlands
2. Characterization of the corresponding environment
3. Examination of the peatland/environment relationship

By means of principal components and cluster analysis, 804 peatlands were defined into 7 types, as recorded by peat stratigraphy. These types stand out according to the following criteria: peat decomposition, percentage of sphagnum peat, peat depth and proportion of gyttja. The data were made available through the Peatland Inventory Project of New Brunswick.

For each peatland, 19 environmental variables were defined to represent the main characteristics of the hydrology, the geology, the topography and the climate. The climatic data were extrapolated to the peatlands using a SYMAP program, whereas the other information was taken from cartographic documents.

The relationship was studied using an analytical procedure (PEGASE) and an ordination by correspondance analysis. Using concepts of information theory (entropy, mutual information), the procedure enabled us to find the degree of dependance between peat stratigraphy and the environment. The most important environmental conditions that influence the stratigraphy were identified using this method.

The results show that hydrography and potential evapotranspiration are the most important factors that have an influence over peat stratigraphy. Generally, peatland profiles are more humified and have a higher minerotrophic proportion when located alongside a stream or a lake. On the contrary, they are less humified and much more dominated by sphagnum along the coast and within interfluvial positions. In addition to this, the peat becomes more and more humified as the distance from the coast increases, and this clearly corresponds to the evapotranspiration conditions that rise as we go inland.

REMERCIEMENTS

L'élaboration de cette recherche n'aurait pu être possible sans l'aide précieuse de plusieurs personnes. J'aimerais ainsi remercier Michel Phipps, mon directeur de thèse, qui a su me guider tout au long de ce travail. J'aimerais également remercier Dave Keys et Roderick Henderson qui, au nom du Ministère des Ressources Naturelles du Nouveau-Brunswick, m'ont rendu accessible toute l'information nécessaire.

Je remercie aussi Marie-Anne Geurts, Daniel Lagarec et André Langlois, du département de géographie pour leurs conseils pertinents. Je suis reconnaissant à l'École des Études Supérieures et au département de Géographie pour l'aide financière apportée.

Enfin, merci à tous mes amis et collègues qui ont partagé ces longues années. A Susan, qui a su tamponner les hauts et les bas de ma vie tout au long de ce travail, je lui dois ma plus vive reconnaissance.

TABLE DES MATIERES

RESUME	ii
ABSTRACT	v
REMERCIEMENTS	vii
INTRODUCTION	1

<u>CHAPITRE</u>	<u>page</u>
I. DEFINITION DE L'OBJET D'ETUDE ET DU CADRE CONCERTUEL	5
INTRODUCTION	5
PROBLEMATIQUE ET BUT DE L'ETUDE STRATIGRAPHIE ET SYSTEMIQUE	6
DYNAMIQUE DES TOURBIERES: DEFINITIONS DESCRIPTION DES TOURBIERES DU NOUVEAU- BRUNSWICK	8 12 16
II. PRINCIPES METHODOLOGIQUES	20
INTRODUCTION	20
LA PROCEDURE PEGASE	21
INFORMATION DE BASE RELATIVE AUX TOURBIERES CHOIX DES CRITERES INTRINSEQUES	25 26
CLASSIFICATION STRATIGRAPHIQUE DES TOURBIERES	31
ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES	35
RESULTATS ET DISCUSSION DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES	36
RESULTATS ET DISCUSSION DE LA PROCEDURE DE GROUPEMENTS	43
LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	56
L'ALTITUDE (A)	57
LA RUGOSITE (R)	57
LA POSITION TOPOGRAPHIQUE (PT)	58
L'HYDROGRAPHIE (H)	59
LA GEOLOGIE (G)	61
LES DEPOTS MEUBLES (DM)	62
LES VARIABLES CLIMATIQUES	64
LES PRECIPITATIONS	65
LES TEMPERATURES	65
L'INSOLATION EFFECTIVE	66
L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE	66

III.	APPLICATION ET MISE EN RELATION PAR L'ENTREMISE DE PEGASE	68
	PROCEDURE	68
	RESULTATS	70
	LE DENDROGRAMME	71
	INTERPRETATION DU DENDROGRAMME	74
	L'AIDE A LA SYNTHESE PAR L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES	84
	PROCEDURE	84
	RESULTATS ET INTERPRETATION DES FACTEURS	85
IV.	DISCUSSION ET CONCLUSION	100
	INDETERMINATION DU SYSTEME	100
	PROBLEMES DES EX AEQUO	105
	ROLE DE L'HYDROGRAPHIE ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE	111
	CONCLUSION	115
	BIBLIOGRAPHIE	118

<u>Annexes</u>		<u>page</u>
1	INFORMATION DE BASE	123
2	LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	129

LISTE DES TABLEAUX

<u>TABLEAU</u>	<u>page</u>
1. CONTRIBUTION DE CHAQUE VARIABLE A LA VARIATION TOTALE DES CARACTERISTIQUES DES TOURBIERES	37
2. MATRICE DES SATURATIONS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES	38
3. VALEURS EXTREMES DES VARIABLES ET DES NOTES FACTORIELLES POUR CHAQUE GROUPE	49
4. LISTE HIERARCHIQUE DES VARIABLES EN ORDRE DECROISSANT D IMPORTANCE	69
5. MATRICE DES FREQUENCES POUR LES CLASSES HYDROGRAPHIQUES	76
6. INDICES D AFFINITES ENTRE TYPES DE TOURBIERES ET CLASSES HYDROGRAPHIQUES	78
7. MATRICE DES FREQUENCES UTILISEES POUR L'ANALYSE FACTORIELLE	85
8. MATRICE DES NOTES FACTORIELLES APRES ROTATION	90

LISTE DES FIGURES

<u>Figure</u>	<u>page</u>
1. LOCALISATION DES TOURBIERES AU NOUVEAU-BRUNSWICK . . .	18
2. DISTRIBUTION DES VARIABLES SPHAIGNES ET GYTTJA . . .	42
3. PORTION SUPERIEURE DU DENDROGRAMME DES REGROUPEMENTS	46
4. PERTE DE DETAIL EN % AU COURS DES DERNIERS REGROUPEMENTS	48
5. DISTRIBUTION DES GROUPES PAR RAPPORT AUX DEUX COMPOSANTES	50
6. SCHEMA DES 7 TYPES STRATIGRAPHIQUES	55
7. COURBE DE PERTE D INDETERMINATION	72
8. DENDROGRAMME	73
9. PROFILS ECOLOGIQUES DES TYPES T01, T03; T05 PAR RAPPORT AUX CLASSES D EVAPOTRANSPIRATION	83
10. PLAN FACTORIEL 1-2 AVANT ROTATION	89
11. PLAN FACTORIEL 1-2 APRES ROTATION	92
12. PLAN FACTORIEL 1-3 APRES ROTATION	93
13. PLAN FACTORIEL 2-4 APRES ROTATION	94

INTRODUCTION

Le milieu qui nous entoure est composé d'une multitude d'éléments physiques et biologiques qui agissent entre eux pour donner ce que les écologistes appellent systèmes écologiques ou écosystèmes. Les échanges entre le monde vivant et le milieu physique sont très complexes et varient en fonction des innombrables combinaisons d'états de chaque entité. Le résultat se traduit alors par une organisation spatiale des écosystèmes, ou encore par une "organisation écologique de l'espace" (Phipps, 1981a).

Parmi ces écosystèmes, il y a les tourbières qui, au Nouveau-Brunswick révèlent effectivement une certaine organisation dans l'espace. Celle-ci est visible non seulement par la localisation des tourbières dans le paysage, mais aussi par les différences de caractéristiques qu'elles présentent d'une région à l'autre de la province (Keys, 1980). Il est évident que cette structure spatiale correspond au moins en partie aux différentes particularités de l'environnement physique.

Ce phénomène suggère donc l'existence d'une certaine relation dynamique et spatiale entre les différentes caractéristiques des tourbières et celles du milieu

environnant. Le but de la présente recherche est d'étudier la relation qui existe entre différents types de tourbières que l'on peut distinguer sur la base de leurs caractéristiques propres, intrinsèques, et les conditions de leur environnement. Cette relation permettra de chercher d'une part, jusqu'à quel point un certain niveau d'ordre écologique peut être découvert dans la distribution géographique des tourbières, et d'autre part, de tenter d'identifier les facteurs environnementaux les plus importants qui interviennent dans leur écologie.

L'approche suggérée ici découle de concepts appartenant à la théorie des systèmes et à la théorie de l'information. L'environnement des tourbières peut être abordé dans un contexte systémique, en ce sens qu'on reconnaît différentes entités entre lesquelles il y a interrelation, dépendance et organisation (Morin, 1977). Des notions comme l'entropie et l'information mutuelle issues de la théorie de l'information, serviront "d'outils conceptuels" dans la mise au point d'un modèle d'évaluation de ces propriétés du "système de tourbières".

Dans la plupart des études sur l'écologie des tourbières l'intérêt fut surtout axé vers la végétation, soit pour produire un inventaire floristique (par exemple: Gauthier, 1980) ou pour en décrire la structure et comprendre son comportement (Ganong, 1897; Dansereau et Segadas-Vianna, 1952; Sjors, 1959; Heiselman, 1963, 1970;

Damman, 1977). L'approche adoptée ici diffère sensiblement de ces dernières. Dans un premier temps, la recherche portera exclusivement sur la stratigraphie des tourbières de façon à déterminer des types significatifs notamment en ce qui a trait à leur origine et à l'évolution passée. Dans un deuxième temps, ces types seront mis en relation avec les conditions de leur environnement physique de façon à voir si leur variation dans l'espace géographique correspond à la variation dans cet espace de certaines caractéristiques de l'environnement physique.

L'information stratigraphique détaillée de plus de 800 tourbières du Nouveau-Brunswick a été disponible grâce à un programme d'inventaire des tourbières du Nouveau-Brunswick. Pour les caractériser, nous utiliserons le degré de décomposition de la tourbe, le pourcentage de sphaignes, l'épaisseur du dépôt et la proportion de gyttja. Des méthodes d'analyse multivariées permettront de regrouper les tourbières semblables en types stratigraphiques. L'environnement physique, pour sa part, sera représenté par des caractéristiques concernant le relief, l'hydrographie, le substrat géologique et le climat.

La mise en relation s'effectuera à l'aide d'une procédure analytique de traitement de l'information (PEGASE). Basée sur des concepts de la théorie de l'information, cette procédure permettra à la fois, de découvrir le degré d'organisation du système de tourbières, c'est-à-dire le degré de dépendance entre la nature

4
intrinsèque des tourbières (type stratigraphique) et la nature de l'environnement. En outre, elle permettra d'identifier les facteurs environnementaux les plus importants qui agissent sur les caractéristiques stratigraphiques des tourbières.

Voilà les fondements et les étapes essentiels à partir desquels se construira la recherche qui suit. Cette approche est à caractères à la fois écologique et géographique. Quoique écologique par la nature des relations biophysiques suggérées, elle est aussi géographique puisqu'elle cherche à mettre en évidence la structure et l'organisation spatiales du phénomène étudié.

CHAPITRE I

DEFINITION DE L'OBJET D'ETUDE ET DU CADRE CONCEPTUEL

1.1 INTRODUCTION

La littérature concernant les tourbières abonde, notamment dans les pays nordiques, là où elles font presque partie intégrante du paysage. Parmi les ouvrages les plus consultés, notons ceux de Moore et Bellamy (1974) et de Radforth et Brawner (1977), dans lesquels les tourbières sont traitées sous tous les aspects. Bien que ces milieux aient souvent été perçus comme étant repoussant, incultes et nuisibles à l'activité humaine, ils sont de plus en plus l'objet d'un intérêt accru, autant pour la recherche que pour des raisons économiques.

Au Nouveau-Brunswick, les tourbières représentent un élément important du paysage, surtout le long de la côte est de la province. Déjà à la fin du siècle dernier, Chalmers (1890) avait remarqué leur abondance, et Ganong (1897), la qualité de la tourbe pour fins horticoles. Depuis les années soixante, la province a vu un accroissement de la production de tourbe horticole, qui a nécessité le lancement

d'un programme d'inventaire et la création d'un centre de recherche sur la tourbe et les tourbières.

La crise énergétique des années 70 a accentué cet intérêt et a conduit à considérer la tourbe comme alternative aux sources d'énergie alors utilisées. La prise de conscience de la diversité potentielle de cette ressource est à l'origine de la mise sur pied, en 1975, d'un programme d'inventaire à l'échelle de la province. Ainsi, toutes les tourbières d'au moins 25 hectares furent inventoriées. Les techniques d'inventaires sont décrites par Keys (1983) et sont résumées en annexe 1. L'information recueillie est très diversifiée, devenant ainsi disponible pour des recherches d'intérêts divers.

Dans la présente recherche, nous aurons recours à l'information stratigraphique de plus de 800 tourbières et tenterons d'en analyser les relations écologiques et spatiales avec l'environnement physique.

Les prochaines sections viseront à établir la problématique, l'approche et le cadre de l'étude.

1.2 PROBLEMATIQUE ET BUT DE L'ETUDE

Les tourbières sont des écosystèmes dans lesquels une partie de la végétation, qui évolue et se succède au cours des années, est conservée en milieu d'humidité extrême et s'accumule sur place sous forme de tourbe. Elles se composent de trois éléments principaux - végétation, eau,

tourbe - qui, avec l'environnement forment un réseau complexe d'échanges évoluant dans le temps et dans l'espace.

Parmi les variables environnementales qui agissent dans l'écologie des tourbières, on reconnaît principalement le climat, la topographie, la géologie, le drainage et les sols comme étant les plus importantes (Moore et Bellamy, 1974; Terasmae, 1977; Stanek, 1977a; Radforth, 1977).

A travers ces échanges les tourbières vont prendre différentes formes d'une région à l'autre en raison des variations existant dans l'environnement physique.

Au Canada des différences régionales existent dans les caractéristiques des tourbières. Leur morphologie en général semble répondre à des gradients d'ordre climatiques, notamment aux gradients nord-sud et maritime-continentale (Terasmae, 1977; Stanek, 1977a). Au Nouveau-Brunswick, Ganong (1897) et Damman (1977) ont remarqué certaines particularités des tourbières au Sud-Ouest de la province. Ils ont surtout tenté d'expliquer ce phénomène à partir de paramètres climatiques et de la proximité maritime. A l'aide de l'information recueillie au cours du programme d'inventaire, Keys (1980) et Keys et Henderson (1985), démontrent que les caractéristiques des tourbières varient à l'échelle de la province. Keys (1980) reconnaît d'abord, de façon préliminaire, trois grandes régions de tourbières selon un gradient Est-Ouest, en se référant à la fois à leur physionomie générale et à leur stratigraphie. Keys et

Henderson (1985) distinguent maintenant sept régions et y retrouvent beaucoup plus d'affinités avec différents paramètres physiques (gradients climatiques, géologie, topographie, drainage, etc...).

Ainsi, selon le point de vue de ces auteurs, il semble exister un patron spatial dans lequel les caractéristiques des tourbières varient de même façon que celles de l'environnement.

Compte tenu de ce fait, plusieurs questions se posent. Jusqu'à quel point la distribution des caractéristiques des tourbières correspond-t-elle aux variations reconnues dans l'environnement physique? Parmi les nombreux facteurs abiotiques qui interviennent dans l'écologie des tourbières, lesquels sont les plus importants? En d'autres mots, quel est le rôle de chacun et comment ces rôles se combinent-ils? Ce sont là des questions auxquelles nous tenterons de répondre en abordant le problème selon les deux étapes indiquées précédemment: élaboration d'une typologie fondée sur la stratigraphie; mise en relation des types et de l'environnement par le biais de la théorie des systèmes.

1.2.1 STRATIGRAPHIE ET SYSTEMIQUE

La recherche des relations tourbières-environnement a souvent été entreprise par l'étude des caractéristiques et de la dynamique de la végétation (Ganong, 1897; Dansereau et Segadas-Vianna, 1952; Sjors, 1959; Damman, 1977; Gauthier,

1980).. D'autres ont recherché ces relations dans l'étude de l'hydrologie (Dai et al., 1974; Boelter et Varry, 1977; Goode et al., 1977; Radforth, 1977; Varry et Boelter, 1978; Ivanov, 1981). Tous traitent de la dynamique entre la végétation, l'eau et le sol tourbeux et de leurs relations avec l'environnement physique. Cependant peu d'études ont recherché ces interactions telles que traduites par les caractéristiques stratigraphiques des tourbières (Heinselman, 1970). C'est dans cette optique que nous avons voulu aborder le problème.

Comme tout écosystème, les tourbières sont des systèmes évolutifs, ouverts aux apports extérieurs (Dale, 1981). Cependant elles se distinguent des autres écosystèmes en conservant, dans la tourbe, les étapes de cette évolution. Ainsi, si on admet que les tourbières sont en perpétuelle interaction avec l'environnement physique, nous pouvons avancer l'hypothèse que ces interactions sont conservées dans leur stratigraphie.

Notre approche s'apparente à celle de Cameron (1968), qui a tenté de mettre en évidence certaines relations entre la qualité de la tourbe et la géologie. Toutefois Cameron ne traite que des tourbières minérotrophes. Dans notre cas, la majorité des tourbières sont ombrotrophes où une portion de la stratigraphie n'est pas influencée par l'apport terrestre, mais plutôt par le climat. Nous aurons donc recours à des variables à caractères climatique en plus de

celles concernant la géologie, la topographie et l'hydrographie.

En utilisant la stratigraphie, on introduit aussi le facteur temps et la dynamique de l'évolution. Dans le cas présent, il est important de bien comprendre que l'approche n'est pas strictement stratigraphique, comme c'est le cas par exemple dans les études palynologiques. En d'autres termes, nous ne voulons pas retracer toutes les variations exhibées par les profils de tourbe afin de les comparer aux variations temporelles de l'environnement physique. Par la stratigraphie, nous tenterons plutôt de définir les grandes étapes dans les successions écologiques des tourbières, pour ensuite chercher, dans l'environnement, les facteurs pouvant expliquer les variations spatiales de ces grandes caractéristiques évolutives.

La question suivante se pose alors: Comment peut-on comparer l'information du passé - celle de la stratigraphie - avec l'état actuel de l'environnement? Ceci est surtout crucial avec le climat qui on le sait, a subi plusieurs fluctuations au cours de l'holocène. En fait pour cette recherche, la dimension temporelle n'est pas aussi problématique qu'elle ne semble paraître, car nous exploiterons une approche comparative et régionale fondée sur la recherche des variations spatiales communes entre les caractéristiques des tourbières et celles de l'environnement physique. Ainsi, étant donné que notre territoire d'étude n'est pas trop vaste, nous supposerons que l'amplitude de

des fluctuations, ainsi que l'effet sur la stratigraphie, ont été équivalents pour toute la province.

Si l'on accepte l'idée que les variations régionales exprimées dans la tourbe peuvent être liées à celles contenues dans l'environnement physique, nous pouvons prétendre qu'à l'intérieur de cette relation, il existe une certaine organisation (Atlan, 1972, 1974).

Cette notion de relations écologiques comme source génératrice d'organisation nous incite donc à aborder le problème par l'analyse des systèmes, et à avoir recours à la théorie de l'information.

Certains concepts dérivés de la théorie de l'information, comme l'entropie et l'information mutuelle, furent appliqués en écologie respectivement comme indice de diversité (Pielou, 1975) et comme mesure de relations écologiques (Godron, 1968; Guillerm, 1972). Dans la perspective géographique de l'écologie du paysage, Phipps (1981) propose une méthode pour mesurer l'organisation écologique de l'espace en maximisant sa néguentropie. Pour ce faire, il suggère la méthode PEGASE qui, semblable à une régression multiple, va chercher parmi une série de variables indépendantes celles qui expliquent le mieux l'état observé du système. En outre, elle a été spécialement conçue pour traiter l'information représentée par des variables d'états. Ceci est un grand avantage puisqu'il s'agit d'étudier, comme le cas présent, un système

naturel, où il est souvent difficile et arbitraire de définir les éléments à partir de valeurs quantitatives.

Dans cette étude, nous aurons recours à cette méthode pour rechercher les relations entre la stratigraphie des tourbières et l'environnement physique, mais avant de procéder à l'édification des éléments du système à comparer, il semble nécessaire de faire le point sur certaines particularités inhérentes aux tourbières.

1.3 DYNAMIQUE DES TOURBIÈRES: DEFINITIONS

La plupart des écosystèmes ont un cycle vital relativement équilibré en ce qui concerne l'énergie reçue, consommée et redistribuée dans le milieu. Cependant, les tourbières n'observent pas cette règle générale. Ce sont des écosystèmes dans lesquels le taux de production de matière organique excède le taux de décomposition. Ce surplus se traduit par une accumulation de matière organique composée principalement de tissus végétaux, qu'on appelle tourbe (Moore et Bellamy, 1974).

L'accumulation de matière organique est liée directement à un excès constant d'humidité, fourni soit par le climat, ou dans des conditions de mauvais drainage. Ce surplus d'eau empêche un recyclage complet des éléments dans le système, en limitant la quantité d'oxygène nécessaire à la décomposition et à l'oxydation.

"Anywhere in the world in which water collects on its way down from the catchment to the sea constitute a template for peat formation" (Moore, et Bellamy, 1974).

Bien que ce processus d'accumulation se rencontre dans toutes les grandes régions de la terre, son intensité est maximale en climat frais et humide, là où le rapport humidité-température est optimal (Ivanov, 1981). Dans les régions arides ou tropicales humides, l'accumulation de matière organique est fortement contrainte soit en raison d'un manque d'eau, soit à cause d'un recyclage plus rapide et plus efficace (Terasmae, 1977).

En se développant et en s'accumulant, les tourbières agissent aussi sur le milieu physique, notamment sur l'hydrologie. En fait, il semble qu'aucun écosystème ne puisse transformer aussi complètement et aussi efficacement son environnement que le peut une tourbière (Worley, 1981). Ainsi, elles transforment la topographie, le substrat, l'hydrologie, le micro-climat et le biotope.

Au cours de l'accumulation, les substances humiques libérées de la tourbe bloquent les pores du sol; ce qui diminue encore plus l'efficacité du drainage, qui était déjà pauvre dès le départ. De plus, l'accumulation de la tourbe entraîne un soulèvement correspondant de la nappe aquifère, ce qui occasionne l'inondation en périphérie et l'expansion latérale de la tourbe si la topographie le permet. Dans un relief accidenté, le développement latéral est souvent contraint par des versants trop abruptes, et les tourbières

restent confinées à l'intérieur du bassin initial d'accumulation.

Le processus d'accumulation a pour effet de rendre inaccessible, pour la végétation de surface, une grande quantité d'éléments nutritifs. Ceux-ci sont retenus dans la portion non-décomposée. La végétation doit donc compter sur un apport extérieur de nutriments. Ici, l'eau devient un élément essentiel dans l'écologie des tourbières, non seulement pour conserver la matière organique, mais aussi pour approvisionner la végétation en éléments nutritifs qu'elle transporte en solution.

En général, on reconnaît deux grandes sources d'approvisionnement en eau, soit: ombrogène et géogène (Gauthier, 1980). Dans le premier cas, le milieu dépend exclusivement des apports fournis par les précipitations. On qualifie d'ombrotrophes, les tourbières qui répondent à ces conditions. Dans le deuxième cas, le milieu est aussi alimenté par des eaux qui ont été en contact direct avec le sol minéral avoisinant. Les tourbières sont dites minérotrophes lorsqu'elles sont approvisionnées de cette façon.

Dans son évolution, une tourbière doit toujours passer par une étape initiale minérotrophe. L'eau provenant des sols adjacents est plus riche en éléments nutritifs que les eaux de pluies. En conséquence, la végétation est plus diversifiée et composée d'espèces plus exigeantes en termes

de nutriments. Il est évident que les propriétés des sols adjacents vont contrôler la chimie de l'eau qui atteint le système. D'autres facteurs comme le régime de l'eau, la distance parcourue et le temps qu'elle a été en contact avec ces sols sont aussi importants.

Dans la stratigraphie, cette phase se distingue surtout par une tourbe plus décomposée souvent représentée par une plus grande présence de carex (Carex sp.).

Si le climat le permet, une tourbière peut s'accumuler au-dessus de l'influence des eaux géogènes. Dans ces conditions, la pluie et les particules éoliennes sont les seules sources d'approvisionnement. Ces milieux sont pauvres et acides. Les sphaignes (Sphagnum sp) sont les espèces les mieux adaptées à ces conditions bien que plusieurs espèces de cypéracées et d'éricacées, tolérant l'acidité, peuvent être présentes. L'épinette noire (Picea mariana) s'adapte aussi à ces milieux.

Dans des conditions ombrotrophes, l'acidité est maintenue non seulement à cause d'une faible présence de cations échangeables, mais aussi en raison de la grande capacité d'échange cationique (C.E.C.) des sphaignes. Elles ont la capacité d'acidifier les eaux avec lesquelles elles sont en contact en échangeant des ions H⁺ contre des cations (Gauthier, 1980). De façon générale, grâce à ce processus d'échanges ioniques, les sphaignes réussissent dans la mesure du possible à maintenir des conditions édaphiques

favorables à leur survie ce, au détriment de d'autres espèces. C'est une des raisons pour lesquelles elles sont presque toujours dominantes dans la tourbe.

1.4 DESCRIPTION DES TOURBIERES DU NOUVEAU-BRUNSWICK

Au Nouveau-Brunswick, les tourbières recouvrent un peu moins de 10% du territoire, soit environ 140,000 hectares (Keys et al., 1982). Elles se distribuent surtout le long d'un axe nord-est, sud-ouest qui traverse la province, et qui s'étend jusqu'à l'état du Maine (figure 1). La portion est correspond à un bassin structural (Plaine des Maritimes) où la topographie est très plane et le drainage, relativement pauvre (Bostock, 1972; Rampton et al., 1984). C'est dans cette portion qu'on retrouve la plus grande concentration de tourbières, notamment à proximité du littoral. En général, ce sont des dépôts très volumineux, fortement ombrotrophes et composés principalement de tourbe à sphaignes peu décomposée. Il est évident que dans cette région de la province, une combinaison optimale entre les propriétés du sol, de la topographie, du drainage et du climat a fourni un environnement idéal à la formation et à l'expansion des tourbières. Dans la partie sud-ouest, le relief est beaucoup plus accidenté (Hautes terres du Nouveau-Brunswick) et le drainage, généralement meilleur. Ainsi les tourbières sont contraintes par la topographie et colonisent les creux

du relief où le drainage est localement bloqué (Gadd, 1973). Elles sont souvent associées à un cours d'eau ou à un lac. Dans ces conditions, l'apport géogène est relativement important et se traduit, dans la stratigraphie, par une couche de tourbe à carex plus épaisse, recouvrant souvent des sédiments limniques (gyttja).

Il existe peu de tourbières au nord et au nord-ouest de la province ainsi qu'au sud, dans les monts Calédoniens. Dans ces régions, l'accumulation de tourbe est limitée principalement en raison d'un meilleur drainage des sols et d'un relief plus accidenté, étant donné que le climat peut soutenir la formation de tourbières dans toute la province (Korpijaakko, 1976).

Le fait que la majorité des tourbières de la province aient atteint le stade ombrotrophe est un autre indicateur de la capacité du climat à soutenir l'accumulation de la tourbe au-delà de l'influence géogène. De plus, certaines datations au carbone 14 indiquent que l'accumulation s'est intensifiée depuis les derniers 4,000 ans en raison d'un refroidissement climatique et d'un plus grand apport de précipitations (voir Rampton et al., 1984).

A l'intérieur de la distribution des tourbières au Nouveau-Brunswick, on peut reconnaître de façon générale deux gradients dans lesquels évoluent les caractéristiques des tourbières. Le plus évident est le gradient est-ouest reconnu par Keys (1980). Il se distingue surtout par une

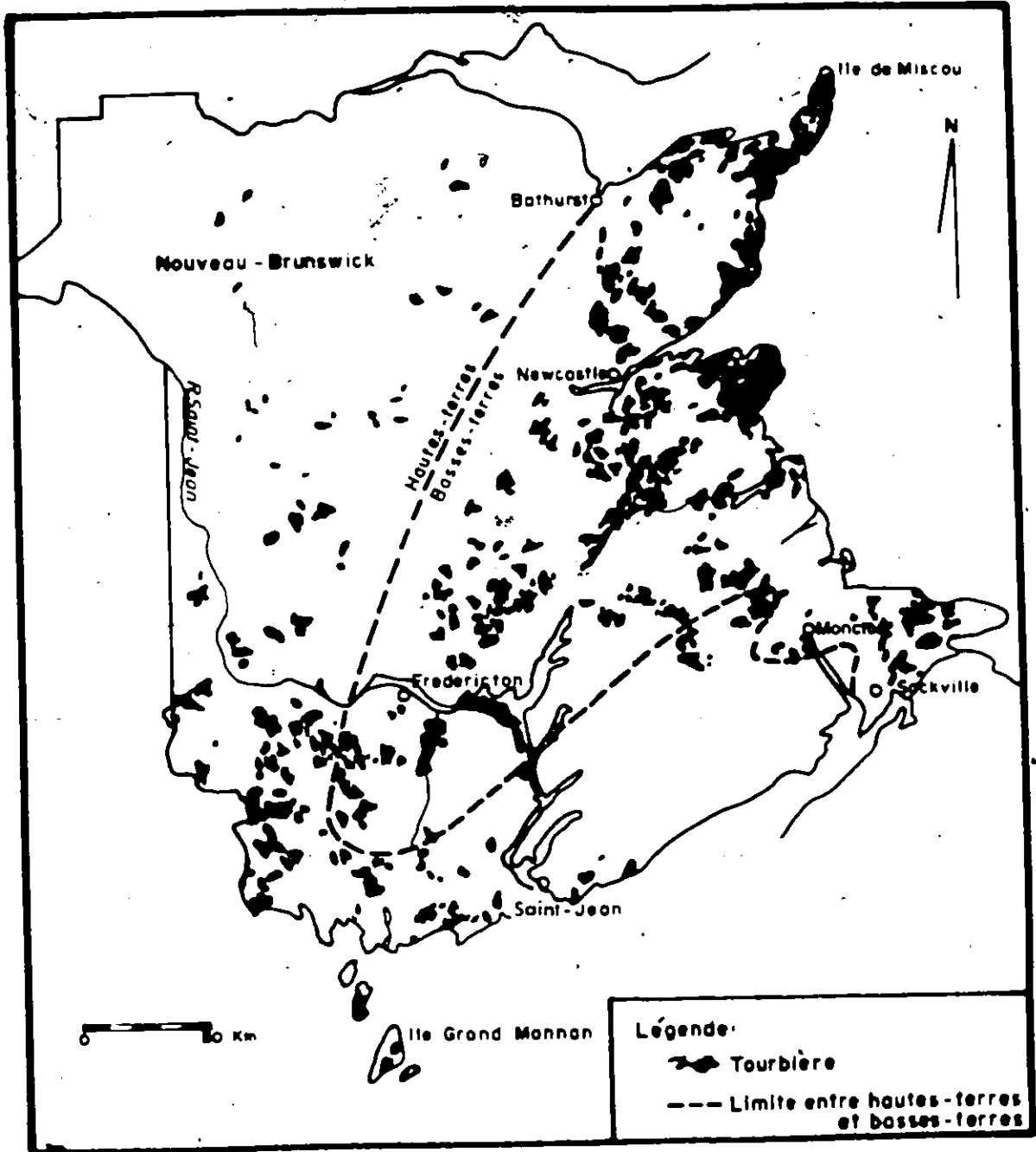


Figure 1: LOCALISATION DES TOURBIERES AU NOUVEAU-BRUNSWICK

diminution dans le rapport ombrotrophe/minérotrophe accompagné d'une augmentation dans la proportion de tourbe à carex. En s'éloignant du littoral est, l'effet de "continentalité" est le plus évident (Mott, 1975), mais il reste à savoir dans quelle mesure on peut le discerner dans le profil ombrotrophe des tourbières. Il faut aussi se rappeler que dans la portion ouest, on se retrouve dans une région physiographique autre, où la dynamique du milieu est différente.

Le gradient sud-nord est moins évident. Il se distingue surtout par les caractéristiques particulières des tourbières localisées le long de la Baie de Fundy, près de Saint-Jean (Ganong, 1897; Damman, 1977). Plus à l'intérieur des terres, les tourbières ne semblent pas suivre ce gradient de façon cohérente.

CHAPITRE II

PRINCIPES METHODOLOGIQUES

2.1 INTRODUCTION

La recherche des relations écologiques, telle que suggérée au chapitre précédent, pose trois problèmes méthodologiques:

1. La caractérisation des tourbières,
2. La caractérisation du milieu physique correspondant,
3. La mise en relation "tourbières-environnement".

Ici, nous avons choisi de rechercher ces relations par le biais de concepts issus de la théorie de l'information, et à l'aide d'une procédure (PEGASE) qui permet d'appliquer ces concepts à notre système et d'en traiter l'information qui s'y trouve. La procédure Pegase exige certaines particularités dans la démarche à suivre pour la caractérisation des éléments du système à comparer. Ainsi dans les pages suivantes nous présenterons d'abord les grands traits de la procédure, pour ensuite décrire les méthodes utilisées pour classifier les tourbières et l'environnement physique.

2.2 LA PROCEDURE PEGASE

Cette procédure de traitement de l'information fut appliquée et décrite par Phipps (1981a) dans l'étude de l'organisation écologique et spatiale des communautés végétales. Appliquée à notre ensemble de tourbières, elle va permettre d'en mesurer les relations avec certaines caractéristiques du milieu physique.

Semblable à une régression multiple, cette procédure va chercher, par divisions successives de l'ensemble des tourbières, les variables environnementales qui expliquent le mieux leurs particularités. Cependant, elle se distingue de cette dernière en faisant appel à des outils de mesure, tels que l'entropie et l'information mutuelle qui peuvent s'appliquer à des variables qualitatives. Ainsi, les résultats s'expriment en termes de décroissance de l'entropie du système, et sont présentés sous la forme d'un dendrogramme. Celui-ci mettra en évidence le caractère divisif de la procédure et montrera un certain nombre final de sous-ensembles. Chaque sous-ensemble comprendra un ensemble de tourbières définies par une combinaison particulière des caractéristiques du milieu physique qui tendront à appartenir à un type stratigraphique particulier.

Au point de vue technique, la procédure va traiter une matrice d'information où chaque tourbière observée est définie par un type stratigraphique et par les états correspondants des variables environnementales.

En premier lieu, la procédure calcule l'entropie de l'ensemble des tourbières T selon la formule suivante:

$$H_T = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

où n équivaut au nombre de types et p la probabilité d'occurrence de la classe i.

Cette valeur correspond à l'entropie initiale du système, ou encore à son indétermination potentielle maximale. Dans un contexte spatial comme celui dont il est ici question, cette notion d'entropie potentielle maximale correspond à la liberté du système à prendre différentes configurations. En d'autres termes, si aucune contrainte n'agissait dans le système, les tourbières seraient indifféremment interchangeables d'un endroit à l'autre (Phipps, 1981b). Or, nous supposons que l'ensemble de tourbières n'est pas sans contraintes, et que celles-ci sont vraisemblablement produites par l'environnement physique. Ainsi en introduisant l'information sur le milieu physique, on introduit du même coup des contraintes possibles; dans le cas de certaines variables environnementales, on s'apercevra que les tourbières ne peuvent plus être interchangeables sans ignorer la connaissance des caractéristiques du milieu qui leur sont associées. Par ce fait, on découvre aussi un certain ordre dans le système et celui-ci correspond à la néguentropie du système (Phipps, 1981a, 1981b). En fin de

compte, la probabilité de trouver un certain type de tourbières à un certain endroit du territoire va être en partie déterminée par des caractéristiques spécifiques du milieu physique en cet endroit. Le but de la méthode est donc de chercher quelles sont les caractéristiques de l'environnement qui sont les plus contraignantes à l'égard de la localisation des types de tourbières. Pour ce faire, on a recours à la formule de l'information mutuelle;

$$IM = H(T) - H(T/V)$$

où $H(T/V)$ correspond à l'entropie conditionnelle des tourbières sachant une variable environnementale V . Si la valeur $H(T/V)$ est fortement diminuée par rapport à l'entropie initiale $H(T)$, l'information mutuelle aura une valeur élevée et supérieure à un seuil de signification précis. On en déduira que V exerce une forte contrainte sur T .

Ainsi, au premier palier de la procédure, toutes les variables, $V_1 \dots V_n$, sont testées par rapport à la variable dépendante T . Celle qui apporte le plus d'information mutuelle sera sélectionnée. L'ensemble initial de points se trouve alors subdivisé en sous-ensembles, représentés par chacune des classes de la variable choisie.

Au palier suivant, chacun de ces sous-ensembles sont considérés comme de nouvelles unités de base indépendantes à partir desquelles sont testées les variables restantes.

Comme dans un processus en cascade, cette division continue, en sélectionnant toujours la variable la plus significative, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'information disponible, ou nécessaire, pour continuer le processus.

La procédure s'arrête ainsi en raison de trois situations possibles:

1. Lorsque le nombre d'observations d'un sous-ensemble est inférieur au minimum requis pour effectuer le test statistique.
2. Lorsque l'entropie d'un sous-ensemble est assez faible pour qu'il soit considéré comme suffisamment déterminé.
3. Lorsque aucun de ces deux cas ne se présente, mais qu'il ne reste plus d'information significative parmi les variables restantes.

Ces sous-ensembles terminaux ne peuvent plus être subdivisés et sont alors considérés comme sous-ensembles-solutions (S.E.S.).

Il peut arriver à certains paliers que plusieurs variables aient une information équivalente. La procédure considère ces cas ex aequo lorsque leur information mutuelle diffère de moins de 10%. Des variables peuvent être ex aequo pour deux raisons: soit qu'elles sont fortement corrélées entre elles; soit qu'elles apportent de l'information différente, mais à poids égal. Dans le premier cas, le choix de l'une provoque automatiquement

l'élimination de l'autre, évitant ainsi la redondance de l'information apportée. Dans le second, la variable non sélectionnée conserve ses chances d'être choisie à des paliers inférieurs. Cependant, puisqu'une décision doit être prise le choix de l'un ou de l'autre des ex aequo se fait selon une liste hiérarchique fournie a priori par l'opérateur, où un niveau de priorité est accordé à chaque variable. Nous verrons plus loin, dans la présentation des résultats, que les situations ex aequo sont nombreuses et que les résultats en sont fortement influencés. Il sera donc très important de bien choisir l'ordre d'importance des variables.

Dans les sections suivantes, nous présenterons les étapes nécessaires à la définition de tous les éléments de notre système. En premier lieu il sera question des démarches qui ont mené à la classification des tourbières. La deuxième partie fera lieu des méthodes appliquées à la caractérisation de l'environnement physique.

2.3 INFORMATION DE BASE RELATIVE AUX TOURBIERES

Les données de base sur lesquelles se fonde cette étude ont été rendues disponibles grâce à un programme d'inventaire des tourbières du Nouveau-Brunswick. Plus de 800 tourbières ayant au delà de 25 hectares, sauf celles localisées à l'intérieur des limites des parc nationaux et

des bases militaires, furent inventoriées afin d'en évaluer la nature de la tourbe et l'importance des dépôts. La méthode d'inventaire a été décrite par Keys (1983), et un résumé est présenté en annexe 1. L'information de base a été recueillie d'un ruban magnétique, avec la permission du Ministère des Ressources Naturelles de la province.

2.4 CHOIX DES CRITERES INTRINSEQUES

Une des étapes importantes dans toutes recherches scientifiques correspond à la caractérisation du phénomène à étudier. Celle-ci repose sur le choix de descripteurs qui le représentent. Il faut que ce choix dégage le mieux possible les différents aspects du phénomène à étudier. Il dépend aussi de la disponibilité et de la qualité de l'information de base, ainsi que des objectifs envisagés. Dans le cas présent, on veut regrouper les tourbières à partir de leurs caractéristiques intrinsèques pour ensuite, les comparer aux conditions du milieu. Il est donc a priori nécessaire de chercher à définir des variables-descripteurs capables de refléter les interactions biotiques-abiotiques dans l'environnement des tourbières. Ainsi, comme il l'a été mentionné dans le chapitre précédent, nous avons choisi de décrire les tourbières selon leurs particularités stratigraphiques.

Elles seront décrites à partir des quatre critères suivants:

- La proportion de sphaignes dans le profil de la tourbe,
- L'épaisseur moyenne de la tourbe,
- Le degré moyen de décomposition de la tourbe,
- L'épaisseur moyenne de gyttja.

Le critère "proportion de sphaigne" représente la portion du profil dans lequel les sphaignes dominent. C'est le rapport exprimé en pourcentage de la couche dominée par les sphaignes, sur la couche totale de tourbe. Cette valeur a été calculée pour chaque tourbière en prenant l'épaisseur cumulative des couches à dominance de sphaignes, divisée par l'épaisseur cumulative totale de tourbe.

Cette information n'était disponible que pour les profils d'un mètre au moins d'épaisseur. Or, pour plusieurs petites tourbières, aucun profil d'un mètre et plus ne fut relevé. Il a donc fallu aller chercher les données brutes pour en calculer la proportion de la tourbe dominée par les sphaignes. Le même cheminement fut adopté pour les cas où l'information n'était représentée que par un ou deux profils d'un mètre ou plus. L'information de 61 tourbières fut ainsi calculée en considérant tous les profils effectués (incluant ceux de moins d'un mètre).

Parmi les composantes botaniques, la proportion de sphaignes dans la tourbe peut être un bon indicateur pour évaluer les conditions trophiques, c'est à dire l'origine et la disponibilité des sels minéraux, ainsi que pour estimer le degré d'évolution des tourbières. Nous savons que les sphaignés prévalent dans les conditions ombrotrophes, alors que les carex dominant dans des milieux beaucoup plus riches en sels minéraux. De plus, étant donné qu'au Nouveau-Brunswick, ces deux composantes forment la quasi totalité de la tourbe, nous allons supposer qu'une faible proportion de sphaignes implique que les carex sont dominant, et vice-versa. Deux raisons sont possibles: soit que les conditions minérotrophes aient persisté longtemps, soit que les tourbières soient peu développées et que la proportion ombrotrophe du dépôt soit faible. Ce dernier cas est plus probable car, en général, les tourbières affectées d'un dépôt très épais ont atteint un stade de développement relativement avancé dominé par la présence de sphaignes. De manière concrète, ce descripteur "trophique" permettra d'évaluer le rôle de l'apport géogène versus l'apport aérien.

Afin de vérifier les deux raisons citées plus haut, il est nécessaire d'apporter de l'information supplémentaire concernant l'importance du dépôt. Pour ce faire, nous avons choisi d'introduire l'épaisseur moyenne des tourbières. Dans chaque cas, cette valeur fut calculée en faisant la moyenne de l'épaisseur de tous les profils.

Le degré de décomposition est un autre critère de différenciation très important. Cette information est disponible pour tous les profils effectués. Il a été calculé à l'aide de la formule suivante:

$$D = \frac{\sum (Ex.Hx)}{Et}$$

Et

où Ex est l'épaisseur d'une couche ayant une humification de valeur Hx; et Et, l'épaisseur totale de la tourbe.

Cette formule permet d'obtenir une valeur moyenne et pondérée du degré de décomposition. Il est important de préciser ici que la décomposition évaluée selon la méthode von Post (voir annexe 1) ne permet pas de mesurer l'humification réelle de la tourbe, mais seulement d'en estimer l'état de décomposition.

Comme pour les composantes botaniques, la décomposition de la tourbe est un bon indicateur des conditions édaphiques qui ont prévalu au cours de l'accumulation. Elle est un indice de l'efficacité bactérienne qui, à son tour, dépend de la richesse du milieu et de la disponibilité de l'oxygène. Dans des conditions ombrotrophes, généralement très acides et pauvres en sels minéraux, l'activité bactérienne est très réduite et par conséquent, la décomposition très lente. Elle est cependant un peu plus prononcée si des conditions d'aérobiose prévalent, comme

c'est le cas lorsque la couche de tourbe se trouve au-dessus de la nappe phréatique. En milieu minérotrophe, plus riche en éléments nutritifs et en oxygène, le processus de décomposition est plus évident. Ainsi on peut déjà soupçonner qu'une tourbe à sphaignes aura tendance à être moins décomposée qu'une tourbe à carex.

Ce descripteur s'adapte bien ici à la recherche des relations écologiques, car non seulement il permet d'évaluer les conditions trophiques dominantes, mais dans le cas de conditions ombrotrophes, il permettra de chercher la relation entre ses particularités et celles du climat.

Le quatrième descripteur correspond au terme "ooze" tel que définit par Keys (1983). Il représente l'humus organique déposé en milieu aquatique sous forme de dy, sapporel et gyttja (Stanek, 1977b). Il sera décrit ici sous le terme "gyttja", car ce dernier dépôt est le plus commun. Lorsque présents dans le profil des tourbières, ces sédiments limniques se retrouvent habituellement dans la couche inférieure du dépôt et indiquent que la tourbière a pris naissance à partir d'un plan d'eau libre, soit d'un lac peu profond ou d'un cours d'eau localement bloqué.

L'information concernant le gyttja est représentée ici par son épaisseur moyenne, calculée à partir des profils ayant un mètre et plus. Il a fallu procéder de la même façon que pour la proportion de sphaignes dans les cas où aucun ou trop peu de profils de plus d'un mètre étaient représentés. Seulement 18 de ces tourbières possédaient une

couche de gyttja. Il faut préciser que le gyttja n'a pas été considéré dans le calcul des autres descripteurs. Par exemple, l'épaisseur moyenne d'une tourbière n'inclut pas la couche de gyttja si elle est présente.

Dans l'étape suivante, ces descripteurs serviront pour classifier les tourbières selon leurs particularités stratigraphiques. Comme nous venons de le voir, ils se complètent mutuellement, les uns comblant ainsi les lacunes des autres. C'est une caractéristique de l'information écologique tirée d'un continuum, et il est important dans le contexte présent, de bien identifier et de décrire la structure de ce continuum.

2.5 CLASSIFICATION STRATIGRAPHIQUE DES TOURBIERES

Dans le but d'explorer les particularités dynamiques des tourbières dans leur environnement, les quatre critères choisis plus haut sont les plus représentatifs parmi les données de base disponibles. Béguin (1979) et Laforge (1981) s'entendent sur le fait que l'étude d'un phénomène ne peut habituellement être complète que si un grand nombre de descripteurs est utilisé. Cependant Mather (1976) précise;

"It is easy to select a large number of variables simply because they happen to be available. The variables should, as far as possible, cover the 'domain' of interest, and should not be concentrated upon one or two easily-measured facets".

L'objet de l'étude n'est pas ici de dégager tous les aspects des tourbières, mais seulement ceux qui correspondent le mieux aux objectifs envisagés; c'est-à-dire à la recherche des relations bio-physiques.

Une fois l'information choisie et calculée, elle fut compilée pour 809 tourbières, soit celles ayant au moins deux profils, donnant ainsi une matrice composée de 809 observations en lignes et quatre variables en colonnes. Afin de simplifier la description des tourbières, il est nécessaire de regrouper les cas semblables à partir d'une méthode de classification. On reconnaît ici que grouper les objets, c'est à la fois accepter qu'ils aient des similarités suffisantes pour être réunis dans un même ensemble, et de reconnaître la présence de discontinuités dans le phénomène étudié (Legendre et Legendre, 1979).

Marchand (1972),. . . entrevoit trois problèmes méthodologiques liés à la classification: le choix des variables, la définition d'une distance taxonomique, et la définition d'une procédure de groupement. Il incombe au chercheur de régler ces trois questions de façon à ce qu'ils supportent au mieux possible la réalité et les objectifs envisagés.

Le choix des variables, déjà discuté plus haut, est crucial, car celles-ci expriment les critères selon lesquels la méthode de groupement mesure la ressemblance entre les objets; les résultats en dépendent fortement. Les quatre

caractéristiques choisies sont présentées en valeurs cardinales.

En ce qui a trait à la mesure de similarité, la distance euclidienne sera utilisée, car elle est bien connue et s'applique parfaitement aux valeurs cardinales. La distance euclidienne entre deux objets i et j sur chacune des variables ($v=1, \dots, n$), se définit comme suit:

$$d_{ij} = \left\{ \sum_{v=1}^n (X_{vi} - X_{vj})^2 \right\}^{1/2}$$

où $X_{vi} - X_{vj}$ est la différence entre la valeur de deux objets i et j sur une variable v .

Etant donné que les quatre variables, considérées ici, sont en unités différentes de mesure et que le calcul de la distance est très sensible à cette différence, il est nécessaire de transformer les valeurs originales de façon à ce qu'elles soient réduites à une même unité de mesure. Ainsi, pour rendre équivalent le rôle des variables, elles seront centrées et réduites.

Un autre facteur à considérer, concerne la redondance possible de l'information entre variables. Nous avons déjà mis en évidence une certaine relation entre le degré de décomposition de la tourbe et ses composantes botaniques. Il serait préférable que le rôle d'une des variables ne soit pas amplifié par l'effet d'une autre variable. Ainsi il serait plus facile d'évaluer chacune des informations

apportées. Une analyse en composantes principales peut résoudre ce problème (Mather, 1976; Beguin, 1979). En substituant à la matrice initiale des mesures, une matrice de notes factorielles produite par cette analyse, l'effet de multicollinéarité est disparu et de plus, l'information représentée par les facteurs est réduite à une même unité de mesure.

Nous avons opté de procéder de cette façon pour ces raisons pratiques et cela, même si plusieurs contraintes d'ordre théorique associées aux inférences statistiques ont mis en cause le choix de cette démarche. Une discussion détaillée, accompagnée des résultats, sera présentée dans la section suivante.

La méthode de groupement que nous allons utiliser correspond à une procédure hiérarchique agglomérative basée sur la distance euclidienne et utilisant un mode de regroupement centroïde. En considérant au départ tous les objets, cette méthode les regroupe successivement en groupes de plus en plus importants, pour aboutir à un seul groupe composé de tous les individus. Le résultat prend la forme d'un dendrogramme, ou d'un arbre.

Dans un espace à N dimensions, le centroïde d'un groupe représente les coordonnées moyennes de ce groupe. Ainsi, la distance entre deux groupes est mesurée par la distance séparant leur centroïde. Ce critère s'applique très bien à un nombre limité de variables, et il a l'avantage de

minimiser l'enchaînement au cours du processus de groupement. L'utilisation du centroïde pose cependant un inconvénient. Il peut arriver lors d'un lien, que la distance entre un centroïde et un objet nouvellement lié soit plus petite que la distance de groupement à l'étape précédente. Cette anomalie est peu commune et n'affecte pas nécessairement le sens des résultats.

En résumé, 809 tourbières seront classifiées d'après quatre critères, à l'aide d'une analyse en composantes principales, suivie d'une méthode de groupement. Nous avons utilisé les banques de programmes SPSS pour l'analyse en composantes et BMDP pour le groupement (BMDP2M).

2.6 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

L'analyse en composantes fut utilisée dans le présent contexte pour différentes raisons:

1. -vérifier si il y a corrélation entre les variables, tel que suggéré entre la décomposition et la proportion de sphaignes.
2. -rendre les variables dépourvues de redondances, pour simplifier la description des groupes.
3. -réduire si possible la matrice d'information.
4. -produire une matrice dont les valeurs sont dans une même unité de mesure (notes factorielles).

De manière générale, le modèle s'écrit comme suit:

$$Z_{ij} = \sum_{p=1}^n a_{jp} C_{pi}$$

et exprime chaque variable centrée réduite (Z_j) comme une combinaison linéaire des composantes principales (C). Les a_{jp} sont les coefficients de transformation et sont appelés saturations (Beguin, 1979).

Dans un espace géométrique à N dimensions, les composantes sont des axes qui, passant par l'origine, maximisent la somme des carrés des projections orthogonales des variables sur ces axes. En d'autres termes, la première composante est la meilleure description du nuage de points. La deuxième, perpendiculaire, explique la plus grande partie de la variance résiduelle et ainsi de suite.

2.7 RESULTATS ET DISCUSSION DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES

Le tableau 1 montre la contribution de chaque facteur à la variation totale des caractéristiques des tourbières. Etant donné qu'on part d'une matrice de corrélation, la variance totale équivaut au nombre de variables introduites dans le modèle, c'est-à-dire 4.

Les deux premiers facteurs expliquent un peu plus de 70% de la variance totale, soit 39,6% pour le premier et 30,6% pour le deuxième. Ils ont des valeurs propres de 1,6 et 1,2 alors que les deux autres ont des valeurs inférieures à 1. Il n'existe pas de conventions rigides concernant le

seuil minimum d'acceptation de la valeur propre d'une composante dans le modèle. On accepte habituellement celles dont les racines latentes équivalent au moins à la variance des variables originales; c'est-à-dire une valeur de 1 (Laforge, 1981). Dans notre cas le choix est facile et se porte sur les deux premières. On admet donc que les 809 tourbières peuvent être adéquatement décrites par ces deux facteurs, moyennant une perte d'information de l'ordre de 30%.

TABLEAU 1

CONTRIBUTION DE CHAQUE VARIABLE A LA VARIATION TOTALE DES CARACTERISTIQUES DES TOURBIERES

Facteur	Valeur Propre	% Variance	% Cummul.
1	1,58393	39,6	39,6
2	1,22328	30,6	70,2
3	0,60928	15,2	85,4
4	0,58351	14,6	100,0

Afin de comprendre leur signification, les matrices de saturations du tableau 2 exposent leur corrélation avec les variables d'origine. Pour simplifier l'interprétation, au prix d'une légère perte d'information, nous avons eu recours à une rotation du système d'axes de type varimax. Elle permet de réduire les saturations modérées pour mieux faire ressortir les valeurs extrêmes. Une rotation varimax est

une transformation linéaire des axes de références. Les observations restent intactes, mais les projections des points sur ces axes ne sont plus optimales (Marchand, 1972). Le tableau démontre clairement que toutes les variables sont bien représentées par les deux composantes retenues.

TABLEAU 2

MATRICE DES SATURATIONS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES

Variable	AVANT ROTATION		:	APRES ROTATION	
	Facteur 1	Facteur 2	:	Facteur 1	Facteur 2
Profondeur	0,54725	0,64266	:	0,42790	0,72760
Décomposi.	-0,80951	0,05961	:	-0,80763	-0,08125
% Sphaign.	0,78030	-0,23047	:	0,80840	-0,09209
Gyttja	-0,14239	0,86810	:	-0,29033	0,83041

On peut déjà remarquer l'antagonisme des variables pourcentage de sphaignes et décomposition, mis en évidence par le facteur 1. Les corrélations respectives avec ce dernier sont de 0,8 et -0,8. Ceci implique que les tourbières possédant une forte proportion de sphaignes ont tendance à être relativement peu décomposées, et vice versa. Les tourbières répondant à cette règle auront une note factorielle élevée; positive dans le premier cas et négative dans le second.

La deuxième composante, pour sa part, s'explique bien selon les variations de l'épaisseur moyenne du dépôt et la proportion de gyttja. Ces deux variables sont corrélées positivement à la composante (0.7 et 0.8). Ainsi, des notes factorielles élevées, mesurées sur ce facteur, correspondront aux tourbières profondes et pourvues d'une grande proportion de gyttja. Il faut rappeler que cette dernière valeur n'est pas incluse dans la mesure de la profondeur moyenne de la tourbe, afin d'éviter qu'il ait redondance d'information. Ceci étant évité, il est tout à fait remarquable de noter que ces deux aspects sont liés. Toutefois il faut rester prudent. Nous verrons plus loin qu'une tourbière dotée d'une épaisse couche de gyttja a tendance à avoir une importante couche de tourbe. Le contraire n'est pas nécessairement vrai, car il existe beaucoup de tourbières très épaisses dépourvues de gyttja. Tout ceci dépend des particularités initiales du milieu environnant dans lequel elles se sont développées.

La dernière étape de l'analyse en composantes permet de produire une matrice de notes factorielles, qui servira à la classification des tourbières. Cette matrice est maintenant composée de 809 tourbières en lignes, et deux composantes en colonnes. Etant donné son volume, cette matrice ne sera pas présentée dans le présent texte. Pour chaque tourbière, la note factorielle sur une composante particulière est fonction de la valeur centrée réduite (z_{ij}) des variables

initiales dans cette tourbière, ainsi que de la saturation (a_{jp}) des variables sur cette composante. Elle se calcule par la formule suivante:

$$C_{pi} = \sum z_{ji} \cdot a_{jp}$$

Pour la première composante, les valeurs des notes factorielles varient de -4,4 à 2,4. L'extrémité négative correspond aux tourbières dépourvues de sphaignes et d'une décomposition avancée. L'autre extrémité représente les tourbières peu décomposées et dominées par les sphaignes. Il arrive cependant, dans certains cas, où la relation sphaignes-décomposition n'obéit pas à cette règle générale. C'est le cas des tourbières à sphaignes très décomposées, ou au contraire, des tourbières sans sphaignes et peu humifiées. Les notes factorielles de ces cas auront alors des valeurs gravitant autour de 0.

En ce qui concerne la deuxième composante, ses valeurs varient de -1,6 à 5,6. Les valeurs négatives correspondent aux petites tourbières sans gyttja, alors que l'extrémité positive s'explique par des dépôts très épais, recouvrant une importante couche de gyttja. Il faudra être prudent encore une fois face aux exceptions, quoique l'effet sur les notes n'est pas autant évident que dans le cas précédent.

Nous avons pu remarquer que, dans les deux cas, la distribution des notes était anormale. Les valeurs sont étirées du côté négatif pour le premier facteur, et du côté

positif pour le deuxième. Cette anomalie peut s'expliquer par le fait que les variables "sphaignes" et "gyttja" ne sont pas dotées d'une distribution normale. Or, une des exigences qu'on impose pour un emploi optimal de l'analyse en composantes, c'est de procéder à partir de distributions normales. Il faut noter cependant que cette condition s'applique si l'on recherche des particularités fondamentales du phénomène étudié et à l'appliquer à des inférences statistiques. Ce serait le cas si les résultats de cette analyse étaient utilisées dans une analyse discriminante ou de régression par exemple, qui sont plus exigeantes. Ici, le but est essentiellement descriptif et le problème d'inférence statistique ne se pose pas (Beguin, 1979). On ne s'intéresse pas particulièrement aux corrélations entre variables; on cherche surtout à décrire les tourbières dans un espace réduit. Il est vrai qu'en appliquant les résultats à une analyse de groupement, on s'approche de la limite d'acceptation de cette méthode. Cependant, en restant dans le même espace géométrique, fourni par l'analyse en composantes et appliqué à la procédure de groupement, cette démarche peut être acceptée. Elle le sera d'autant plus dans la mesure où elle ne fausse pas l'essentiel de cette recherche; tout en permettant de parvenir aux objectifs envisagés.

La figure 2 représente la distribution des variables "sphaignes" et "gyttja". Le pourcentage de sphaignes varie

de 0 à 100%. Cette figure montre que la majorité des tourbières sont dominées par les sphaignes. Le pourcentage moyen se situe aux environs de 79% , et le mode est à 100% . Ainsi, un pourcentage très faible prend une valeur extrême et applique un poids considérable sur la note factorielle. Ces cas extrêmes auront tendance à se séparer du groupe et le seront d'autant plus si ils sont supportés par une décomposition correspondante élevée. En réalité c'est un avantage d'être capable d'isoler les cas extrêmes pour la classification qui va suivre. D'autre part, cette figure montre clairement que la majorité des tourbières n'ont pas, ou très peu, de gyttja (moyenne de 2.3 décimètres). Encore une fois, elle aura un poids considérable sur les notes, et explique les valeurs extrêmes du deuxième facteur. L'avantage est ici le même que dans le cas précédent.

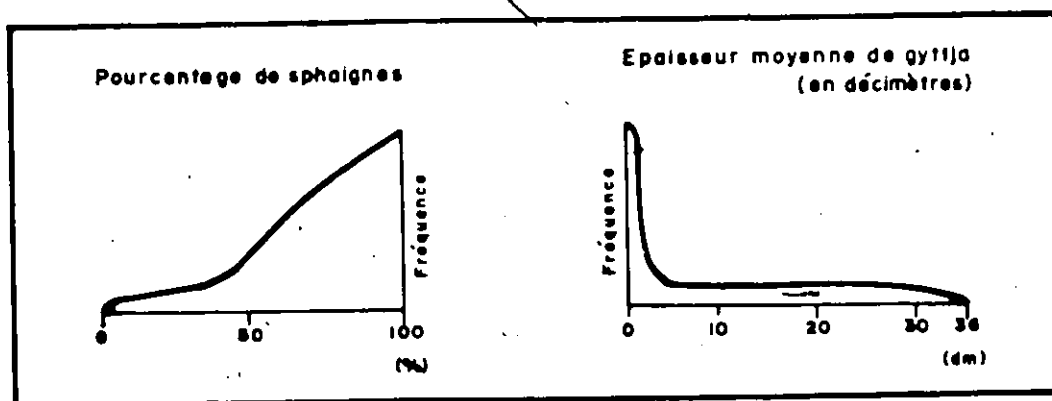


Figure 2: DISTRIBUTION DES VARIABLES SPHAIGNES ET GYTTJA

Un autre aspect de ces irrégularités s'impose, et correspond à l'effet de ces variables sur les autres composantes. Etant donné qu'une note résulte de la somme des produits des variables d'origine centrées réduites par les saturations, les variables dotées de valeurs extrêmes exerceront une forte influence sur la somme des produits, même si les saturations variables-facteurs sont faibles. Les cas ayant des valeurs extrêmes de gyttja auront, sur la première composante, un effet s'exprimant négativement, car la saturation correspondante est négative (-0.29). Ceci implique qu'ils agiront sur le premier facteur en appuyant ses valeurs négatives et en affaiblissant les termes positifs. La saturation du pourcentage de sphaignes est presque neutre face au deuxième facteur. L'effet sera alors très négligeable.

Gardant en mémoire ces réserves quant à la signification des descripteurs, nous avons procédé au groupement sur la base de ces notes factorielles. Les aspects essentiels de la méthode choisie furent déjà discutés et voici les résultats.

2.8 RESULTATS ET DISCUSSION DE LA PROCEDURE DE GROUPEMENTS

La figure 3 montre la portion supérieure du dendrogramme produit par la procédure agglomérative. Elle est composée de 809 tourbières en colonnes, et de 808 liens

en lignes. Pour des raisons de clarté, les numéros de regroupements furent utilisés au lieu de la distance d'amalgamation. Celle-ci passe d'une valeur de 0,004 au premier lien à une valeur de 4,619 au dernier regroupement. L'arbre se divise en deux parties distinctes. La portion droite représente la majorité des tourbières (676), et celles-ci se regroupent plus vite dans le processus. Dans cette portion, les groupes formés sous le deuxième niveau d'arrêt ont tous une distance d'amalgamation inférieure à 0,9 (voir plus loin en ce qui concerne le choix des niveaux d'arrêts). Les 133 tourbières restantes ont des caractéristiques moins homogènes et se regroupent aux dernières étapes. Ici, les groupes formés en dessous du niveau d'arrêt ont en général une distance supérieure à 1,000 et inférieure à 1,851. Au sommet du dendrogramme, toutes les tourbières sont réunies en un seul groupe et la perte de détail est maximale. Afin d'optimiser la représentativité des caractéristiques des tourbières, il faut choisir un nombre de groupes capables de bien distinguer la structure générale du phénomène, tout en évaluant la perte de détail que ce choix pourra provoquer. Cet aspect subjectif de la classification se résoud en fonction des besoins et des objectifs recherchés. Les groupes résultant de ce choix seront introduits dans la procédure Pegase qui, par sa nature, impose plusieurs exigences. En premier lieu, elle limite à 15 le nombre

maximal de classes à traiter. En second lieu, sa nature divisive nous incite à minimiser les pertes d'observations occasionnées par le groupement. Ces pertes correspondent aux cas extrêmes, aux exceptions, comme il s'en reconte dans la portion gauche du dendrogramme. Enfin, étant donné que la procédure Pegase traite de relations probabilistes à partir de fréquences, il est à notre avantage de rechercher les groupes les plus équiprobables possibles, c'est-à-dire de maximiser l'entropie initiale de notre ensemble de tourbières (voir section 2.2).

Si l'on décidait de faire la coupure dans les dix dernières étapes du groupement, on aurait un groupe excessivement représenté (portion droite de l'arbre) et plusieurs groupes rares. D'un autre côté, si l'on coupait plus tôt dans le processus, le nombre de groupes serait trop grand. On suggère ici de couper l'arbre à deux endroits; une coupure après le lien 802 afin de bien distinguer les grandes caractéristiques des cas rares représentés dans la portion gauche du dendrogramme, et une autre, avant le groupement 790 pour discriminer les tourbières communes de la partie droite. On répond ainsi aux exigences imposées pour le traitement avec Pegase, sans pour autant abuser de la structure existant dans le phénomène des tourbières. En fait, bien que cette tactique de procéder à l'aide de deux niveaux d'arrêts soit peu commune, elle permet de façon logique et pratique d'annuler jusqu'à un certain point

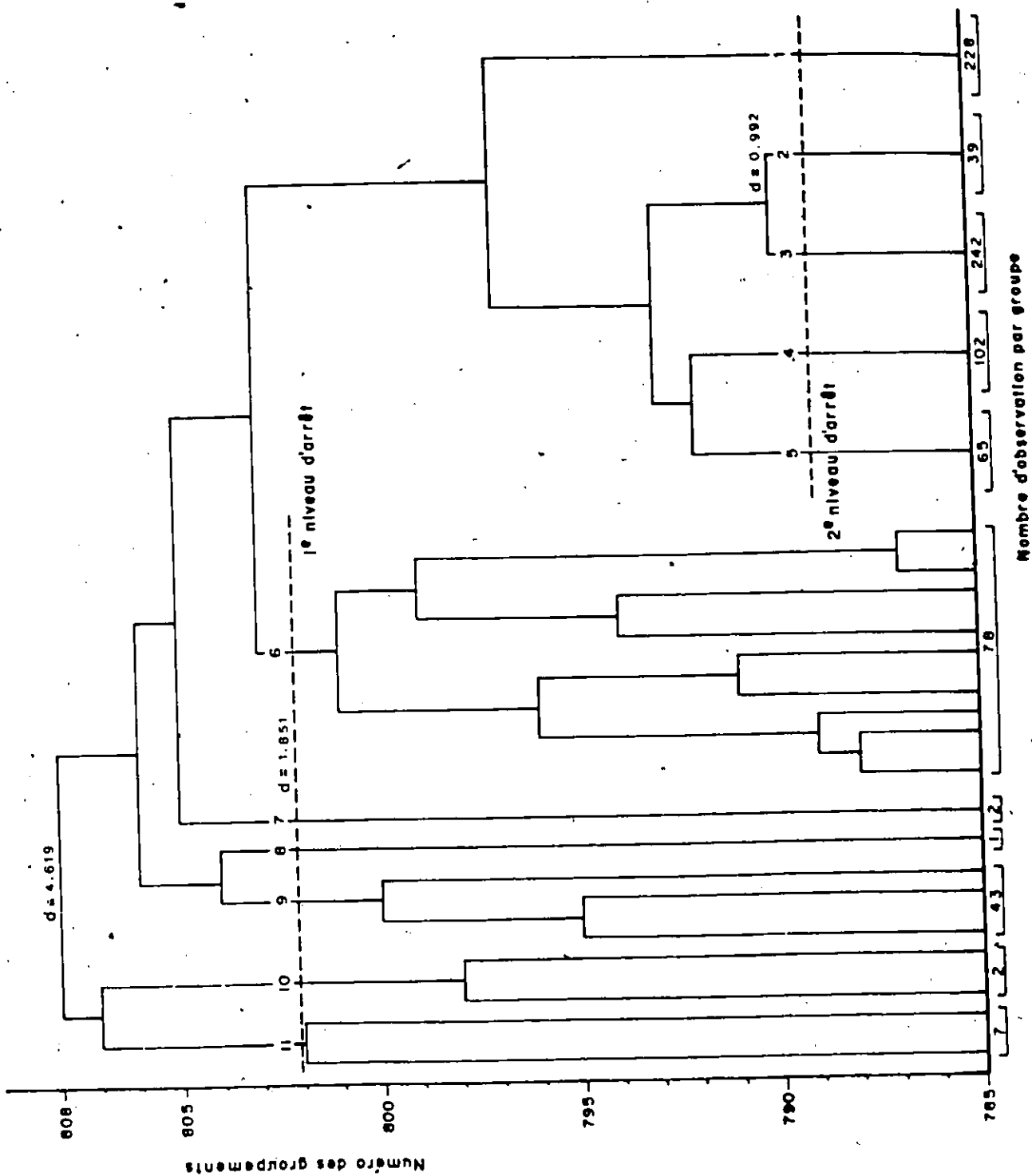


Figure 3: PORTION SUPERIEURE DU DENDROGRAMME DES REGROUPEMENTS

l'effet de non normalité existant dans la structure des données. Du même coup on obtient une discrimination plus adéquate de l'ensemble des tourbières et ce en ajustant deux niveaux d'arrêts aux deux configurations présentes dans le groupement.

La figure 4 montre la courbe de perte de détail (en %) au cours des derniers regroupements. La première coupure correspond à une perte d'environ 40%. En réalité, elle n'est pas si grande, car la deuxième coupure en reprend une partie.

A partir de ces lignes d'arrêt, 11 groupes de tourbières sont donc délimités. Le tableau 3 et la figure 5 résument leurs caractéristiques. Chacun est décrit par les valeurs extrêmes prises par les variables d'origine et les composantes. Les groupes 7, 8 et 10 ont des effectifs trop faibles pour être représentatifs. Il est évident que les deux tourbières du groupe 10 s'isolent à cause de notes factorielles extrêmes qui, à leur tour, reflètent les anomalies combinées de la distribution des sphaignes et du gyttja. Il en est de même pour celle du groupe 8, mais l'effet sur la note est moins prononcé. L'isolement des tourbières du groupe 7 s'explique par le fait qu'elles ont des valeurs extrêmes (mais non anormales) pour toutes les variables. Ces trois groupes seront donc exclus et oubliés au cours des étapes suivantes.

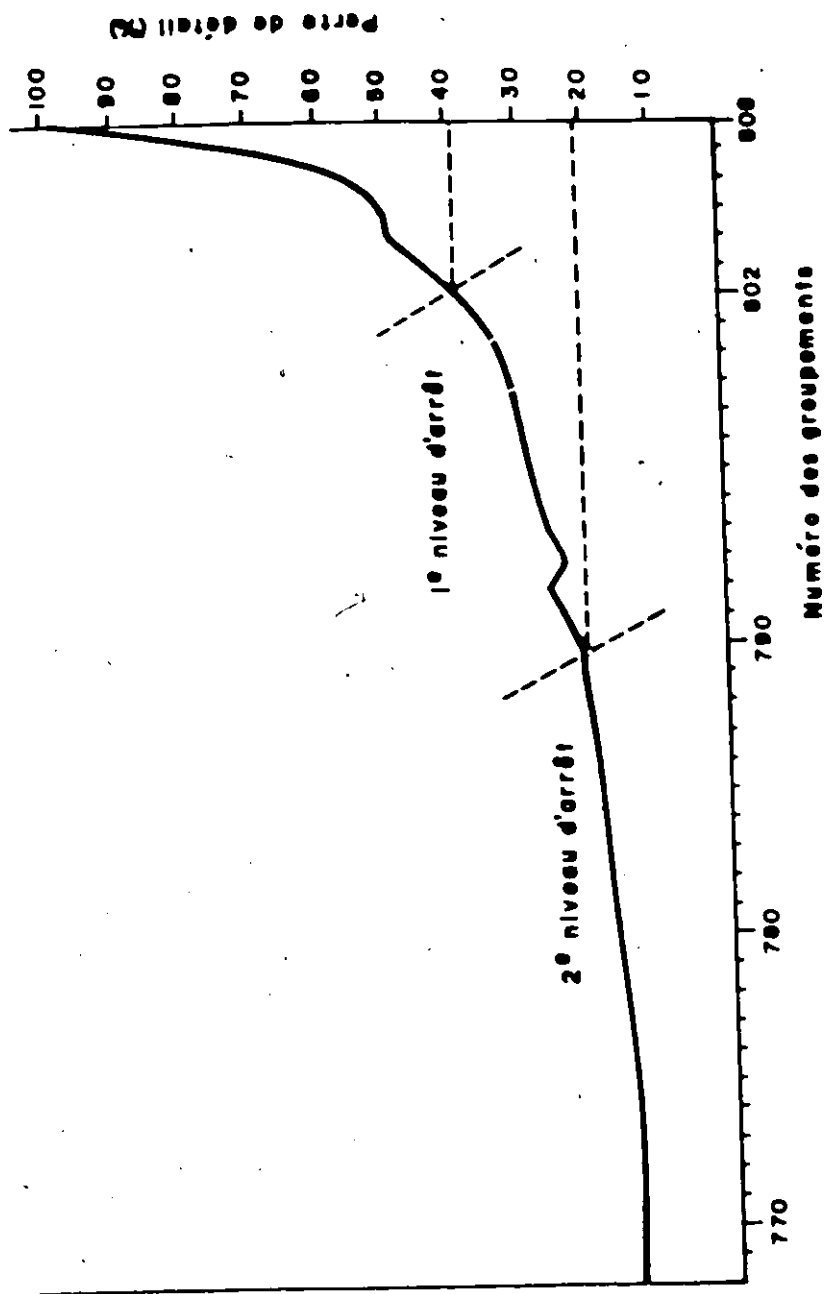


Figure 4: PERTE DE DETAIL EN % AU COURS DES DERNIERS REGROUPEMENTS

TABLEAU 3

VALEURS EXTREMES DES VARIABLES ET DES NOTES FACTORIELLES
POUR CHAQUE GROUPE

Groupe	FACTEUR 1					FACTEUR 2						
	Obs.	Hum.	Sphaigre	Notes Fac.	Profun.	Gyttja	Notes Fac.					
1	228	3,5-7,2	20,9	100,0	-1,7	0,2	4,3	26,8	0,0	9,0	-1,6	0,3
2	39	3,0-4,9	66,7	100,0	0,0	1,0	3,0	13,3	0,0	0,8	-1,6	-1,0
3	242	2,5-5,2	54,8	100,0	-0,1	1,8	10,2	33,0	0,0	6,8	-1,1	0,5
4	102	3,2-5,7	45,7	100,0	-0,5	0,9	15,4	39,0	0,0	10,1	0,0	1,4
5	65	2,5-4,6	70,0	100,0	0,8	2,0	26,3	48,0	0,0	6,7	0,2	1,4
6	78	3,5-6,3	20,0	100,0	-2,7	1,4	11,0	51,0	0,0	23,0	0,4	3,4
7	2	1,0-2,3	100,0	100,0	1,6	2,4	3,5	4,5	0,0	0,0	-1,4	-1,4
8	1	7,2-7,2	0,0	0,0	4,0	4,0	22,0	22,0	8,0	8,0	1,2	1,2
9	43	4,7-7,0	0,0	74,0	-3,9	-1,4	0,3	27,0	0,0	8,8	-1,2	0,8
10	2	5,0-5,7	0,0	0,0	-4,4	-3,5	17,5	17,6	26,3	33,8	3,9	5,1
11	7	3,8-4,7	55,4	97,0	-1,1	-0,4	21,0	42,0	18,4	33,8	3,4	5,6

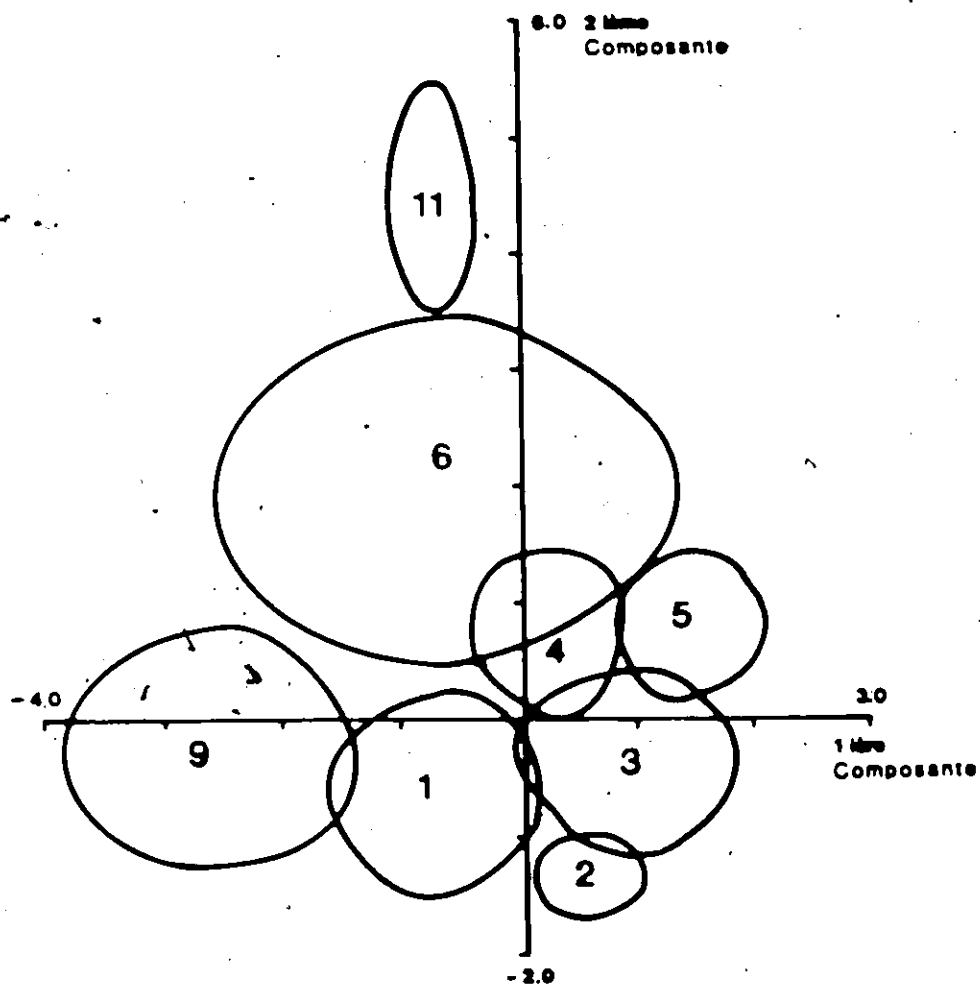


Figure 5: DISTRIBUTION DES GROUPES PAR RAPPORT AUX DEUX COMPOSANTES

En ce qui a trait aux tourbières du groupe 11, elles se distinguent par leurs valeurs extrêmes de gyttja. L'effectif de ce groupe est très faible et nous avons d'abord été tenté de l'éliminer. Mais étant donné que leurs caractéristiques s'apparentent au groupe 6, et que le gyttja est discriminé seulement à cause de ses valeurs anormales, nous avons choisi de réunir les deux groupes pour l'analyse ultérieure.

En se référant aux valeurs prises par le premier facteur, le groupe 1 devrait réunir les tourbières dont les tendances seraient vers une plus forte décomposition, impliquant ainsi une plus faible proportion de sphaignes. Cependant, après vérification de leur distribution sur ces variables, on s'aperçoit que près de la moitié de ces cas a un pourcentage de sphaignes excédant 78%, et que 90% de ces tourbières ont plus de 50% de sphaignes. Ainsi, les notes factorielles, ne reflètent pas adéquatement les particularités de ce groupe. Ceci s'explique par le fait que la majorité des "exceptions" sphaignes-décomposition sont réunis dans ce groupe; c'est-à-dire celles ayant à la fois une décomposition et un pourcentage élevés, et celles peu décomposées, ayant une faible proportion de sphaignes. Ces dernières sont moins communes et représentent à peu près 10% du groupe. Comme expliqué plus haut, ces cas particuliers ont un effet qui s'annule sur les notes, donnant une valeur près de 0.

De façon générale, les tourbières du groupe 1 se distinguent par les caractéristiques suivantes:

- profondeur moyenne à faible
- généralement pas ou très peu de gyttja.
- dominance des sphaignes
- regroupe les tourbières à sphaignes très décomposées, et celles à cypéracées (carex) peu décomposées.

Les 39 tourbières du deuxième groupe sont petites, généralement dépourvues de gyttja et dominées par des sphaignes peu décomposées. En ce qui a trait au groupe 3, il caractérise les dépôts de profondeur moyenne, sans ou avec peu de gyttja, et à dominance de sphaignes relativement peu humifiées.

Les tourbières du groupe 4 sont plus épaisses que dans les cas précédents. Le pourcentage de sphaignes et l'humification sont moyens, mais elles se distinguent surtout par une proportion faible, mais présente, de gyttja.

Les plus importants dépôts organiques de la province sont représentés par les groupes 5 et 6. Dans le premier cas, ce sont de grandes tourbières à sphaignes peu décomposées et généralement dépourvues de gyttja. Les tourbières du groupe 6 se distinguent surtout par ce dernier critère et, pour cette raison, les tourbières du groupe 11 seront jointes à celles-ci. Elles sont plus décomposées et

les sphaignes, quoique dominantes, ont tendance à être moins abondantes que dans le cas précédent.

Enfin, le groupe 9 est le meilleur exemple de tourbières minérotrophes, dominées par les cypéracées et à décomposition relativement avancée. Il est ainsi normal qu'elles soient peu développées verticalement. Elles ont en général peu de gyttja, mais il est souvent présent. Etant donné que les groupes 7, 8 et 10 seront rejetés et le groupe 11 réuni avec 6, le groupe 9 sera dorénavant identifié comme le groupe 7.

Malgré quelques réserves dues à l'information de base, les méthodes choisies pour classifier les tourbières ont réussi à dégager quelques grandes particularités intéressantes du phénomène. Afin de mieux percevoir les distinctions entre chaque groupe, ils ont été schématisés dans la figure 6. La classification a permis de distinguer plusieurs étapes à l'intérieur de deux grands cheminements évolutifs des tourbières. D'une part, on peut voir trois stades de développement représentant les tourbières essentiellement à sphaignes. Elles ont tendance à prendre un caractère ombrotrophe dès le début (groupe 2), et à garder cette caractéristique en se développant (groupes 3 et 5). D'autre part, les groupes 7, 4 et 6 montrent une évolution qui conduit aussi vers l'ombrotrophie. Cependant les étapes accédant à la maturité sont différentes. Ces tourbières ont pris naissance dans des milieux où la

disponibilité en sels minéraux était beaucoup plus grande, permettant ainsi des conditions idéales à la colonisation par les carex. La présence de gyttja est un bon indice de la richesse initiale du milieu (Groupes 4 et 6). En se développant verticalement, l'apport latéral est devenu de moins en moins efficace et par conséquent, les sphaignes ont pris la relève. Ce qui distingue ces derniers groupes, c'est que même au stade ombrotrophe, les sphaignes ont tendance à être plus décomposées que dans les cas précédents, et la raison de ce fait réside dans la connaissance des relations écologiques avec le milieu environnant.

En ce qui a trait au groupe 1, c'est le type intermédiaire qui réunit les particularités de ces deux grandes séries évolutives. Elles prennent un caractère ombrotrophe très tôt, mais elles doivent aussi soutenir une forte décomposition. De plus, ce groupe distingue quelques petites tourbières dominées par les cypéracées. Quoique très peu décomposées, elles s'apparentent aux tourbières minérotrophes du groupe 7.

Dans l'analyse des relations écologiques, ces sept grands types stratigraphiques réunissant 804 tourbières, seront donc examinés en égard aux particularités de leur environnement physique. La description de celui-ci fait l'objet de la section qui suit.

2.9 LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Une fois le phénomène tourbière bien défini, comme on vient de le voir, la recherche des relations écologiques impose qu'on puisse le localiser à l'intérieur de son environnement et décrire ce dernier. Pour ce faire, la caractérisation du milieu physique sera représentée par deux grands ensembles de variables. D'une part, nous aurons recours à des variables ayant un caractère terrestre, telles que; l'altitude des tourbières, leur position topographique, la rugosité du relief, ainsi que l'hydrographie et le substrat géologique correspondants. Elles seront divisées en classes et mettront en évidence l'importance de l'apport géogène dans le milieu.

Le deuxième ensemble de variables environnementales correspond aux caractéristiques climatiques. Nous en avons choisi 13 afin de décrire les plus importants aspects du climat, soit; cinq variables thermiques, six de précipitations, l'évapotranspiration potentielle et l'insolation effective. Elles sauront compléter la connaissance du milieu ambiant, surtout là où l'apport ombrogène a prévalu au cours du développement des tourbières. Les 19 variables utilisées sont expliquées en annexe 2.

2.9.1 L'ALTITUDE (A)

L'altitude des tourbières fut estimée, à partir des cartes topographiques à l'échelle 1:50 000, avec des courbes de niveaux de 50 pieds d'intervalle. Quoique large, ce degré de précision ne pose aucun problème à l'échelle où l'on travaille. De plus, les tourbières ont des superficies très variables, dotées de dénivellations internes trop faibles pour être représentées sur les cartes topographiques. Il est donc à conseiller de généraliser l'information, d'autant plus qu'elle sera regroupée en classes plus loin.

L'altitude des tourbières de la province varie de moins de 10 mètres, dans les régions côtières, à plus de 460 m. dans les hautes-terres. La majorité des dépôts cependant sont à moins de 200 m d'altitude. Dans une première tentative, nous les avons subdivisé en 15 classes de 30 m d'intervalle. Mais les classes d'altitude supérieures ont été regroupées étant donné le nombre trop faible de cas représentés. Ainsi, dans l'analyse des relations les tourbières seront représentées en sept niveaux d'altitude.

2.9.2 LA RUGOSITE (R)

Afin de décrire les particularités du relief entourant les tourbières, nous avons choisi de calculer la différence entre l'altitude du point le plus haut et celle du point le plus bas, à l'intérieur d'un rayon de 1 km. des limites des

tourbières. C'est une description assez grossière de la réalité, mais étant donné le grand nombre et la variété des cas (différentes formes et tailles), il serait exagéré de préciser d'avantage.

La dénivellation entourant les tourbières varie d'environ 2m à 195m. Elle a d'abord été subdivisée en 13 classes ayant 15m d'intervalle. Encore une fois, les classes extrêmes ont un faible effectif et seront regroupées plus loin pour donner un total de 7 classes.

2.9.3 LA POSITION TOPOGRAPHIQUE (PT)

Cette caractéristique fut choisie afin de vérifier si la position des tourbières par rapport au milieu environnant se reflète dans leur stratigraphie. Elle a été calculée à partir de la formule suivante:

$$PT = \frac{At - An}{\Delta A}$$

où At représente l'altitude de la tourbière, An, l'altitude minimum, mesurée pour la rugosité, et ΔA , la rugosité, c'est-à-dire la différence entre l'altitude maximum et minimum. La valeur correspondante est, en quelque sorte, un indice qui varie de 0 à 1. La valeur 0 correspond aux tourbières localisées au bas du relief (ayant la même valeur que l'altitude minimum); et la valeur 1, à celles localisées sur les sommets.

Le résultat de ce calcul doit cependant être interprété avec précaution, et toujours en relation avec la dénivellation correspondante. Ceci s'explique par le fait que la position d'une tourbière dans un relief peu accidenté n'aura pas la même signification qu'une autre associée à un entourage de très grande amplitude, et cela même si elles ont des valeurs semblables. Les valeurs furent divisées en cinq classes égales. Elles ont toutes un nombre suffisant de tourbières et aucune modification ultérieure ne sera nécessaire.

2.9.4 L'HYDROGRAPHIE (H)

Le quatrième type d'information correspond à la définition de la position des tourbières par rapport au réseau hydrographique. Etant donné l'étendue du territoire, la nature du problème et les objectifs envisagés, il est impossible dans le cas présent d'aller chercher des caractéristiques hydrométriques précises. Il serait plus approprié de considérer les conditions hydrographiques associées aux tourbières. Ainsi, les termes "hydrographie" ou "position hydrographique" seront ici favorisés aux termes "drainage" ou "condition de drainage" des tourbières.

Elles furent regroupées à l'intérieur de six grandes classes hydrographiques: position interfluviale (H01), de ruisseau (H04), de lac (H07), littorale (H12), alluviale (H10), et de marais salés (H11). Il arrive que des dépôts soient associés à deux ou plus de ces caractéristiques. Il

a donc fallu décider laquelle de ces dernières était la plus significative.

Les conditions interfluviales furent définies de plusieurs façons. En général, cette classe comprend les tourbières ne pouvant être définies par aucune des autres classes hydrographiques. Donc, cette classe peut correspondre à des conditions de source; c'est-à-dire à des dépôts situés à la source d'un cours d'eau, ou sur la ligne de partage entre plusieurs bassins de drainage. Elle peut aussi représenter des situations moins précises à l'intérieur des bassins versants. C'est le cas lorsque les tourbières se retrouvent près d'un lac ou d'un cours d'eau, sans toutefois être en contact direct avec ceux-ci.

Les conditions de lacs (H07) et de ruisseaux (H04) représentent seulement les cas où les tourbières sont en contact direct avec ceux-ci. Le long des rivières Saint-Jean et Oromocto (H10), la dynamique fluviale est plus intense par rapport aux autres cours d'eaux. En fait, leurs vallées sont soumises à de fortes inondations saisonnières qui apportent une grande quantité de sels minéraux. Ainsi, ces conditions "alluviales" seront différenciées de la classe "ruisseaux".

La position littorale (H12) regroupe les tourbières localisées à moins de 500 mètres de la côte. A l'intérieur des grands marais de Sackville, au sud-est de la province, les tourbières subissent une influence maritime certaine.

Sous l'effet des fluctuations journalières des marées de la Baie de Fundy, ce milieu saumâtre présente des particularités différentes de celles de la côte est de la province. Nous avons donc distingué ces conditions par rapport à la classe H12.

Les conditions alluviales et de marais salés ont des effectifs très faibles. Il serait à conseiller de les regrouper, comme ce fut le cas pour certaines classes des autres variables, mais une importance particulière est accordée à ces conditions extrêmes. Ces deux classes seront ainsi introduites sans modifications pour l'analyse des relations.

2.9.5 LA GEOLOGIE (G)

L'information géologique fut extraite d'une carte à l'échelle 1:500 000, produite par le Ministère des Ressources Naturelles de la province (1979). Cette carte présente les grandes formations géologiques, ainsi que les principaux types de roches qui les composent. Six classes géologiques furent choisies en mettant l'emphase sur le type de roches dominant.

Le premier groupe (G01) réuni la majorité des tourbières et correspond aux formations de grès et de conglomérats qui datent du Pennsylvanien. Cette classe correspond aussi au bassin structural recouvrant la partie est de la province. La deuxième classe (G02) regroupe les

dépôts associés aux formations granitiques du Dévonien. Le troisième groupe (G03) comprend des roches métamorphiques et volcaniques (Silurien à Mississipien). L'unité G04 se compose surtout de grauwacke et de schistes mis en place durant le Silurien et le Dévonien.

Les deux derniers groupes sont de l'époque Ordovicienne, mais G05 est surtout composé de roches sédimentaires argileuses, alors que G06 comprend des roches sédimentaires calcaires associées à des formations volcaniques et métamorphiques.

Etant donné que la plupart des tourbières ne sont pas en contact direct avec la roche en place, l'effet de la géologie se retrouve ainsi réduit. Cependant, si le sol qui sépare les deux est peu épais, il peut refléter certaines caractéristiques minéralogiques de la roche sous-jacente; ce qui permettra, si nécessaire, de discerner le rôle relatif de cette dernière.

2.9.6 LES DEPOTS MEUBLES (DM)

La classification des dépôts de surface a été produite principalement à l'aide de cartes à l'échelle 1:250 000 (Gadd, 1973; Rampton et Paradis, 1981a; 1981b; 1981c; et Gauthier, 1982; 1983). Une carte au 1:500 000 (Rampton et al, 1984) fut aussi consultée afin d'accorder un plus grand degré d'uniformité dans l'information.

Nous avons regroupé les tourbières à l'intérieur de six grandes unités: la roche en place (DM1), les dépôts de till (DM2), et morainiques (DM3), les sédiments fluvio-glaciaires (DM4), marins (DM5) et alluviaux (DM6).

Les tourbières qui reposent sur la roche en place, ou sur une mince couche de till ne dépassant généralement pas 50 cm. d'épaisseur furent regroupés dans la classe DM1. L'unité DM2 correspond à un placage de till de fond dont l'épaisseur varie de 0,5 mètres à 3 m. en général. Plus de 50 % des tourbières sont associées à ce type de dépôt.

Les moraines d'ablation (DM3) sont d'épaisseur variable, mais elles ont, en général, plus de 1,5 mètres. Elles peuvent avoir des formes striées, ondulées ou mamelonnées et leur micro-relief peut offrir des conditions propices au développement de nombreuses tourbières. Ce phénomène est visible, notamment au nord de Minto et de Sackville. La classe DM4 comprend les épandages fluvio-glaciaires et les dépôts de contact glaciaire (kames, esker).

En ce qui a trait au faciès marin (DM5), nous avons réuni les dépôts anciens et récents. Pour sa part, DM6 s'associe uniquement aux tourbières localisées à l'intérieur de la plaine alluviale de la rivière Saint-Jean.

Il arrive que les tourbières se retrouvent associées à deux ou plusieurs types de sédiments. Nous avons alors décidé de les représenter par les formations correspondantes

les plus récentes; ou celles qui semblaient être les plus "responsables" de la mise en place des tourbières. Ce problème de choix s'est surtout posé entre les dépôts de till et morainiques. Ce dernier fut favorisé car, étant en général plus épais, sa capacité de perturber le drainage local est plus grande.

2.9.7 LES VARIABLES CLIMATIQUES

La majorité de l'information climatique fut tirée des documents "Normales Climatiques Canadiennes, 1951-1980". Seuls l'évapotranspiration potentielle et l'épaisseur de neige au sol proviennent d'une autre source, soit le Manuel de Météorologie Agricole et Forestière, 1979. Etant donné que l'information n'est disponible que pour les stations météorologiques, elle fut extrapolée aux tourbières et cartographiée à l'aide du logiciel SYMAP (Synagraphic Mapping System). A partir des deux valeurs extrêmes, SYMAP procède de façon à interpoler dans l'espace, des classes d'égales valeurs. Entre deux stations, l'interpolation s'effectue en fonction de la distance qui les sépare et de leurs valeurs respectives. Nous avons d'abord choisi une représentation en 10 classes mais ce nombre fut diminué à six afin que chaque classe soit bien représentée. Comme dans le cas de l'altitude et de la rugosité, les classes ne seront pas toutes d'égale amplitude (voir annexe 2).

Selon les variables, le nombre de stations utilisées varie de 6 à 49. La plupart des variables ont été calculées à partir d'au moins 46 stations, sauf celles concernant l'enneigement (EN), l'insolation (IE) et l'évapotranspiration (EP). Les stations furent choisies de façon à ce que leur distribution soit la plus uniforme possible, tout en favorisant celles de premier ordre; c'est-à-dire celles ayant le plus grand nombre d'années d'enregistrement.

2.9.8 LES PRECIPITATIONS

L'eau est un facteur de première importance dans le développement des tourbières. L'apport en précipitations est ici représenté en six variables: précipitations totales annuelles (PA), précipitations moyennes de janvier (PN) et de juillet (PJ), nombre moyen de jours de pluie (JP), nombre moyen de jours de neige (JN) et les moyennes d'enneigement à la fin du mois de février (EN). Pour cette dernière, l'accumulation de neige au sol est maximale à la fin février, sauf dans le cas de "Charlo A". Pour celui-ci, la valeur du mois de janvier fut utilisée pour cette station.

2.9.9 LES TEMPERATURES

Elles sont divisées en cinq catégories, soit: la durée moyenne de la période sans gel (SG), le nombre moyen de degrés-jours de croissance (DJ), la température moyenne

annuelle (TY), la moyenne des maxima du mois de juillet (TX) et des minima de janvier ou février (TN). Pour cette dernière, nous avons choisi la moyenne des minima la plus basse, ce qui implique qu'environ 30% des stations sont représentées par des valeurs correspondant au mois de février.

2.9.10 L'INSOLATION EFFECTIVE

Cette variable représente le nombre moyen d'heures d'ensoleillement pour une année.

2.9.11 L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Cette information fut tirée du Manuel de la Météorologie Agricole et Forestière. Elle est présentée en valeurs hebdomadaires. Celles-ci ont été calculées en utilisant la méthode Baier-Robertson, et selon la formule de l'évaporation latente:

$$LE = -87.03 + 0.928Tx + 0.933(Tx - Tn) + 0.0468Qs$$

où LE est l'évaporation latente en pouces durant une journée avec une température maximum Tx, et une température minimum Tn. La valeur Qs correspond à la quantité de rayonnement solaire reçue par une surface horizontale au sommet de l'atmosphère. Ces valeurs furent ajustées et converties afin de donner des valeurs hebdomadaires d'évapotranspiration potentielle en unités métriques. Pour

plus de détails, le lecteur pourra se référer à Baier et Robertson (1965), et Russelo et al (1974).

Les valeurs hebdomadaires furent ici additionnées pour toute la saison de croissance. Elles représenteront l'importance relative de pertes d'humidité du sol pendant cette période. Cette information est un bon indicateur du degré d'assèchement de la surface des tourbières.

Dans l'analyse qui suit, un total de 19 variables environnementales seront comparées aux caractéristiques stratigraphiques des tourbières.

CHAPITRE III

APPLICATION ET MISE EN RELATION PAR L'ENTREMISE DE PEGASE

3.1 PROCEDURE

Au cours du chapitre précédent, nous avons défini un système écologique à trois grandes entrées: le sol, l'atmosphère et le biotique. Il est convenu ici que nous sommes en présence d'un système très complexe, à interactions multiples, et que la procédure Pegase pourra au mieux possible en dégager les affinités écologiques.

La matricé d'information est composée de 804 observations en ligne et de 20 caractéristiques en colonne, l'une d'elles représentant les types de tourbières, et 19 variables environnementales. Dans une première tentative avec Pegase, nous avons arrêté la procédure après le premier palier afin de regrouper les classes trop peu représentées. A cette étape, nous avons aussi tenté de rendre égal le nombre de classes pour toutes les variables. Etant donné que le calcul de l'information y est sensible, ceci va permettre de leur donner une chance égale.

Il en résulte que toutes les variables sont représentées en 5, 6 ou 7 classes. Elles sont décrites en annexe 2 et seront appliquées telles quelles au traitement.

Pour le déroulement complet de la procédure, les seuils d'arrêts pour la formation de sous-ensembles-solutions furent fixées de la façon suivante:

1. Un nombre d'observations inférieur à 30
2. Une entropie inférieure à 0,30
3. Aucune variable significative

Dans l'éventualité de cas ex aequo, une liste hiérarchique montrant l'ordre d'importance des variables est présentée au tableau 4

TABLEAU 4

LISTE HIERARCHIQUE DES VARIABLES EN ORDRE DECROISSANT D'IMPORTANCE

1	HYDROGRAPHIE	(H)
2	RUGOSITE	(R)
3	POSITION TOPOGRAPHIQUE	(PT)
4	DEPOTS MEUBLES	(DM)
5	GEOLOGIE	(G)
6	EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE	(EP)
7	INSOLATION EFFECTIVE	(IE)
8	PRECIPITATION MOYENNE ANNUELLE	(PA)
9	NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATION	(JP)
10	DEGRES-JOURS DE CROISSANCE	(DJ)
11	PERIODE SANS GEL	(SG)
12	PRECIPITATION MOYENNE DE JUILLET	(PJ)
13	PRECIPITATION MOYENNE DE JANVIER	(PN)
14	EPAISSEUR MOYENNE DE NEIGE	(EN)
15	TEMPERATURE MOYENNE MAXIMALE DE JUILLET	(TX)
16	TEMPERATURE MOYENNE MINIMALE DE JANVIER	(TN)
17	TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE	(TY)
18	NOMBRE DE JOURS DE NEIGE	(JN)
19	ALTITUDE	(A)

3.2 RESULTATS

Le déroulement des opérations s'est effectué en cinq paliers pour former 52 sous-ensembles-solution (voir figures 7 et 8). Parmi les 19 variables de départ, 13 furent sélectionnées réduisant ainsi 35,8% de l'entropie initiale. Parmi les variables non-représentées elles sont essentiellement de nature climatique, soit; les précipitations de janvier et de juillet, le nombre de jours de précipitation, les températures maximum et minimum ainsi que l'épaisseur de neige.

La figure 7 montre la courbe de réduction de l'entropie produite au cours de la formation des 52 S.E.S. Elle a l'allure d'une exponentielle négative qui s'arrête soudainement au 52e S.E.S., après épuisement de toutes les observations. Ceci s'explique par le fait que 49 fois sur 52, la procédure s'est arrêté en raison d'un nombre trop faible de cas. On peut alors supposer qu'il existe encore un potentiel d'organisation à l'intérieur des variables utilisées, et que celui-ci aurait pu être utilisé si le nombre d'observations eût été plus grand. En calculant l'asymptote de la courbe, on peut ainsi estimer la valeur théorique de la néguentropie du système. Dans le cas présent, elle correspond à une levée d'indétermination qui équivaut à 52,06%. Ainsi, en assumant que la procédure ne soit pas limitée par le nombre d'observation, l'information

contenue à l'intérieur des variables environnementales pourrait, en théorie, expliquer 52% de l'entropie du système de tourbières.

Nous sommes donc en présence d'un système moyennement organisé où certaines relations biophysiques existent, mais où une part importante (48%) demeure tout de même inconnue.

Quoiqu'il en soit, l'essentiel ici est de traduire l'information utilisée dans la procédure et cela, à l'aide du dendrogramme (figure 8).

3.2.1 LE DENDROGRAMME

Le dendrogramme (figure 8) retrace les étapes de la procédure telle qu'expliquée plus haut (sections 2.2 et 3.1). On y retrouve les variables sélectionnées, leurs classes correspondantes, ainsi que les sous-ensembles-solutions. A chaque classe sont inscrits le nombre d'observations et l'entropie.

Le dendrogramme correspond, en quelque sorte, au modèle d'organisation écologique de notre système, où les différentes combinaisons des caractéristiques abiotiques sont celles qui apportent le plus d'information face aux particularités des tourbières.

A chaque palier, l'ensemble de tourbières se retrouve ainsi progressivement réarrangé par l'apport d'information nouvelle puisée dans le milieu abiotique. D'un autre côté, PEGASE agit de façon à morceler l'ensemble initial, en groupes de plus en plus petits, où l'apport d'information

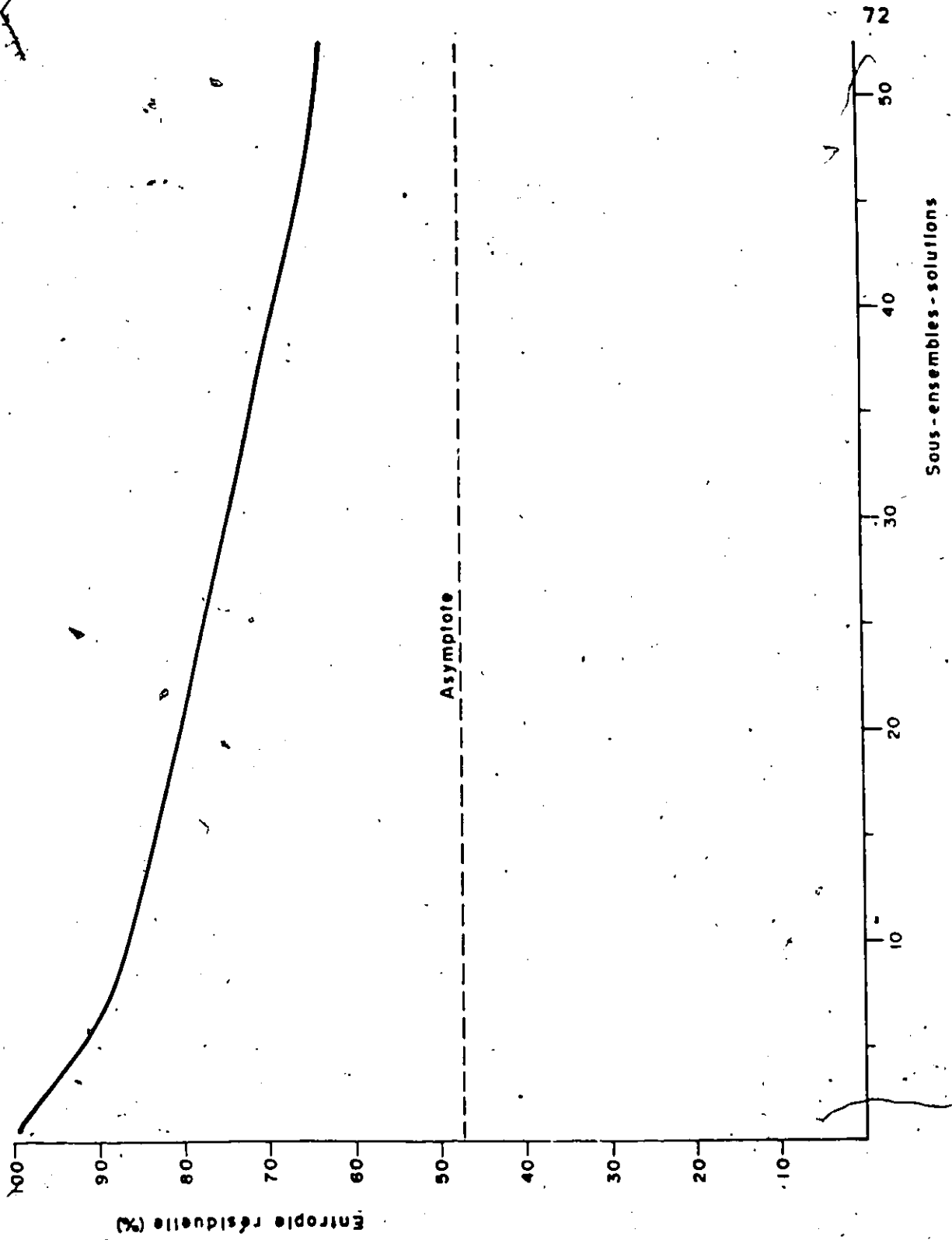


Figure 7: COURBE DE PERTE D'INDETERMINATION

devient de moins en moins grand. Ainsi, dans l'analyse des relations, une plus grande importance sera accordée aux premières variables sélectionnées. Aux paliers inférieurs, le nombre d'observations est fortement diminué par l'effet combinatoire des variables introduites. Par conséquent, les relations écologiques deviennent moins évidentes, et souvent, impossibles à interpréter. C'est pour cette raison que nous aurons recours, plus loin, à l'analyse factorielle des correspondances. Reconnue comme une aide à la synthèse, cette méthode permettra de mettre en évidence certains liens entre les types de tourbières et les sous-ensembles-solutions produits par les différentes combinaisons du milieu.

3.3 INTERPRETATION DU DENDROGRAMME

Au cours des trois premiers paliers, la procédure s'est heurtée, à six reprises, au problème des ex aequo qu'elle a d'ailleurs surmonté grâce à une liste hiérarchique établie à cet effet. Ces cas, apparaissant dès le premier palier, le rôle de cette liste hiérarchique devient primordial et nécessite donc des justifications particulières pour sauvegarder l'objectivité de la démarche.

Rappelons que lorsque deux variables sont ex aequo, cela peut être soit parce qu'elles fournissent des contributions égales, mais indépendantes à la néguentropie, soit parce qu'elles sont corrélées entre elles. Dans le

premier cas, la préséance donnée à l'une d'elle dans la liste hiérarchique ne compromet pas la mise en évidence du rôle de l'autre variable qui réapparaîtra tôt ou tard dans la procédure. Dans le deuxième cas, la préséance donnée à l'une, provoque le retrait de la variable corrélée. Dans la liste hiérarchique, il sera donc indiqué de donner la préséance à des variables plus "brutes", plus factuelles ou plus fiables quant à leur détermination par exemple. Ainsi l'exemple du premier palier illustre bien le premier cas. La préséance donnée à la variable hydrographie, variable factuelle et aisément contrôlable sur la carte, ne compromet nullement la mise en évidence du rôle de l'insolation qui réapparaît pleinement aux paliers suivants avec l'évapotranspiration.

Au premier palier, nous avons donc donné la préséance à l'hydrographie (H) sur l'insolation effective (IE) et sur les dépôts meubles (DM). Ce choix nous a permis, dès le début d'évaluer différentes conditions d'approvisionnement en éléments nutritifs dans le milieu.

Le tableau 5 montre comment les types de tourbières sont distribués à l'intérieur des six positions hydrographiques. Déjà deux sous-ensembles-solutions (1 et 2) sont créés, étant donné le nombre trop faible de cas représentés. Ceux-ci correspondant à deux conditions extrêmes associées d'une part, à la rivière Saint-Jean (H10) et d'autre part, aux "marais maritimes" de la région de

Sackville (H11). Ces deux sous-ensembles opposent les tourbières à carex très décomposé (T07), à celles formées principalement de sphaignes peu décomposées (T03-T05).

TABLEAU 5

MATRICE DES FREQUENCES POUR LES CLASSES HYDROGRAPHIQUES

	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	Total
H01	194	31	200	71	43	33	23	595
H04	17	1	1	19	2	37	5	82
H07	8	0	10	10	2	14	6	50
H10	3	1	0	0	0	1	9	14
H11	0	0	7	1	3	0	0	11
H12	6	6	24	1	15	0	0	52
Total	228	39	242	102	65	85	43	804

Parmi les autres classes hydrographiques, ce sont les conditions interfluviales (H01) qui sont de loin les plus communes. C'est aussi le seul groupe à être subdivisé en 5 paliers. Dans les autres classes, les effectifs plus faibles occasionneront des arrêts plus tôt dans la procédure.

Dans un système écologique complexe, comme celui dont il est ici question, il est rare que l'effet d'un seul facteur environnemental soit déterminant. Par contre, les probabilités des différents types de tourbières vont varier selon les classes des conditions hydrographiques. Pour

mettre ce phénomène en évidence nous utiliserons les indices d'affinités correspondant à la formule suivante;

$$F_0 - F_T$$

$$F_T$$

où F_0 est la fréquence observée et F_T , la fréquence théorique calculée selon l'hypothèse nulle du test chi-carré (χ^2). Ces indices furent calculés pour chaque cellule et sont représentés au tableau 6. Une certaine affinité positive se remarque entre les types T04, T06 et T07, et les classes H04, H07 et H10. C'est le long de la rivière Saint-Jean (H10) que l'apport en sels minéraux est le plus grand. Ce sont aussi les conditions les plus favorables à la présence de carex et à la décomposition telles que représentées par le type T07. Nous sommes ici en présence de tourbières typiquement minérotrophes qui n'ont pas encore réussi à échapper à l'influence géogène.

En ce qui a trait aux conditions de lacs (H07) et de ruisseaux (H04), l'alimentation latérale en nutriments n'est pas si extrême mais l'effet demeure visible, notamment dans la stratigraphie des types T07, T06 et T04. Ces milieux, plus stagnants, se distinguent aussi par la présence importante de gyttja (T06, - T04); phénomène qui réagit négativement avec H10. Cependant, la grande proportion de sphaignes rencontrée dans ces deux types indique que les tourbières ont réussi à passer du stade minérotrophe au

TABLEAU 6
INDICES D'AFFINITES ENTRE TYPES DE TOURBIERES ET
CLASSES HYDROGRAPHIQUES

:	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07
H01:	+0,15	+0,07	+0,12	-0,06	-0,11	-0,48	-0,28
H04:	-0,27	-0,75	-0,96	+0,83	-0,70	+3,27	+0,14
H07:	-0,44	-1,00	-0,34	+0,58	-0,51	+1,65	+1,24
H10:	-0,24	+0,47	-1,00	-1,00	-1,00	-0,32	+11,00
H11:	-1,00	-1,00	+1,11	-0,28	+2,37	-1,00	-1,00
H12:	-0,59	+1,38	+0,53	-0,85	+2,57	-1,00	-1,00

stade ombrotrophe. En d'autres termes elles se sont libérées de l'influence des eaux terrestres.

Entre les positions interfluviales (H01) et littorales (H11, H12) on remarque une gradation de T01 vers T05, en passant par T03. Dans les deux cas, l'approvisionnement latéral est limité et les tourbières deviennent vite ombrotrophes. Il apparaît cependant, que le développement des tourbières soit beaucoup plus avantage près des côtes. Ceci s'explique par la faible décomposition et l'importante accumulation rencontrées dans le type T05. De plus, les indices de T02 et T05 suggèrent que la proximité maritime permet et maintient l'implantation des sphaignes depuis les premiers stades de développement (T02).

A l'intérieur des terres, les positions interfluviales offrent des conditions plus diversifiées, où tous les types de tourbières peuvent être rencontrés. Ce sont cependant les types T01 et T03 qui sont les plus avantagés. Ce dernier s'apparente au type T05, quoique moins volumineux. Le type T01 est plus hétérogène, mais représente en général des cas où la décomposition est plus avancée avec une faible proportion de carex. Ces particularités ne sont pas favorisées à proximité du littoral.

De manière générale, le premier palier permet donc déjà de distinguer certaines relations entre les particularités stratigraphiques des tourbières et leur localisation face au réseau de drainage. Parmi les plus intéressantes, on remarque d'une part, que les éléments carex, gyttja et décomposition avancée s'associent aux conditions plus riches où l'influence géogène a persisté plus longtemps. D'autre part, ce sont les sphaignes et une plus faible décomposition qui se dégagent le mieux lorsque l'influence des eaux terrestres est réduite.

Au deuxième palier, deux ex aequo se sont produits; soit en présence des classes H01 et H04. Dans les deux cas, l'évapotranspiration potentielle (EP) a eu préséance sur l'insolation effective (pour H01), et aux précipitations annuelles (PA) et à l'altitude (A) (pour H04). Etant donné que cette variable a été calculée à partir de plusieurs paramètres climatiques, elle contient une information plus

synthétique, plus près de la réalité écologique. En outre, elle permettra d'examiner le lien entre la perte en eau à la surface des tourbières et le degré de décomposition. Ce choix se justifie bien, surtout dans le cas des conditions interfluviales. Cette classe est la plus répandue spatialement et la plus hétérogène, mais elle se caractérise surtout par des tourbières ombrotrophes ayant différents niveaux de décomposition.

En ce qui a trait aux positions de lacs (H07) et littorales (H12), elles sont subdivisées respectivement par la période sans-gel (SG) et la position topographique (PT).

A ce palier, 11 sous-ensembles-solutions (3 à 13) furent créés, notamment pour H04, H07 et H12. La discrimination de la classe "littorale" par la position topographique n'est pas claire. En s'approchant des sommets du relief (de PT1 à PT3), les tourbières deviennent plus volumineuses (T02 - T03 - T05). Cependant, à un niveau plus élevé (PT4), cette explication ne tient plus, dû à l'importance relative des types T01 et T02. Ce manque de distinction peut être causé par la nature de la variable sélectionnée. Nous savons que, dépourvue de la connaissance de la rugosité du milieu, la position topographique perd sa signification. Or nous savons que l'amplitude du relief est très faible, le long de la côte est de la province et que souvent, l'amplitude entre le niveau de la mer et l'altitude maximum correspond à l'accumulation de tourbe. Ceci peut aussi expliquer le fait qu'à position PT3 les tourbières

plus épaisses (T03, T05) , surplombent celles qui sont moins développées (T01, T02 à position PT1).

Associés aux lacs, les sous-ensembles 6 à 9 correspondent à quatre caractéristiques de la période sans-gel; SG3 étant la plus courte et SG7, la plus longue. Encore ici, les relations sont peu évidentes. L'entropie des classes demeure élevée sauf pour le sous-ensemble 9.

Les conditions de ruisseaux sont subdivisées au deuxième palier en quatre classes d'évapotranspiration potentielle (EP4 à EPA) dont une (EPA), se voit réduit au troisième palier par trois types de dépôts meubles. Ici se sont les types T01, T04 et T06 qui sont les mieux représentés. A faible évapotranspiration (EP4, EP5) ces trois types ont la même proportion. Cependant, à évapotranspiration élevée (EP9, EPA), c'est le type T06 qui devient le plus constant. C'est aussi le type le plus décomposé. Il apparaît au troisième palier que ce type s'est surtout développé en présence de till et de matériel morainique (S.E.S. 27, 28).

En ce qui a trait à la classe (H01), leur subdivision, au deuxième palier, en six classes d'évapotranspiration permet de découvrir plusieurs faits intéressants, notamment pour les types les plus ombrotrophes (T01, T03 et T05). Les autres types ne réagissent pas de façon constante face à cette variable.

Etant donné le grand nombre de cas représentés et l'hétérogénéité de cette classe, nous allons procéder à l'aide d'indices d'affinités. A partir de ces indices, nous avons tracé, à la figure 9, les profils écologiques pour les types T01; T03 et T05. La classe EP4 correspond à l'évapotranspiration la plus faible et EPA, la plus forte. Cette figure met en évidence le comportement des trois types, surtout face aux valeurs extrêmes d'évapotranspiration. La courbe de T05 (tourbières peu décomposées et à forte accumulation de sphaignes) passe d'une affinité très positive, en présence d'une faible évapotranspiration, à une affinité très négative lorsque l'évapotranspiration devient plus forte. Le type T03 suit à peu près le même tracé, quoique moins régulier. Pour sa part, le type T01 réagit de façon inverse; c'est-à-dire que son indice passe du négatif au positif en présence d'une évapotranspiration de plus en plus grande. On peut ainsi constater une relation certaine entre décomposition de la tourbe et la perte d'humidité à la surface des tourbières. En dépit de cette liaison qui apparait clairement dans la figure 9, cette variable n'est pas totalement déterminante. Une information supplémentaire est apportée par d'autres variables aux paliers suivants.

Au delà du deuxième palier les situations se compliquent à cause des combinaisons de variables de plus en plus nombreuses, et d'un morcellement de plus en plus grand

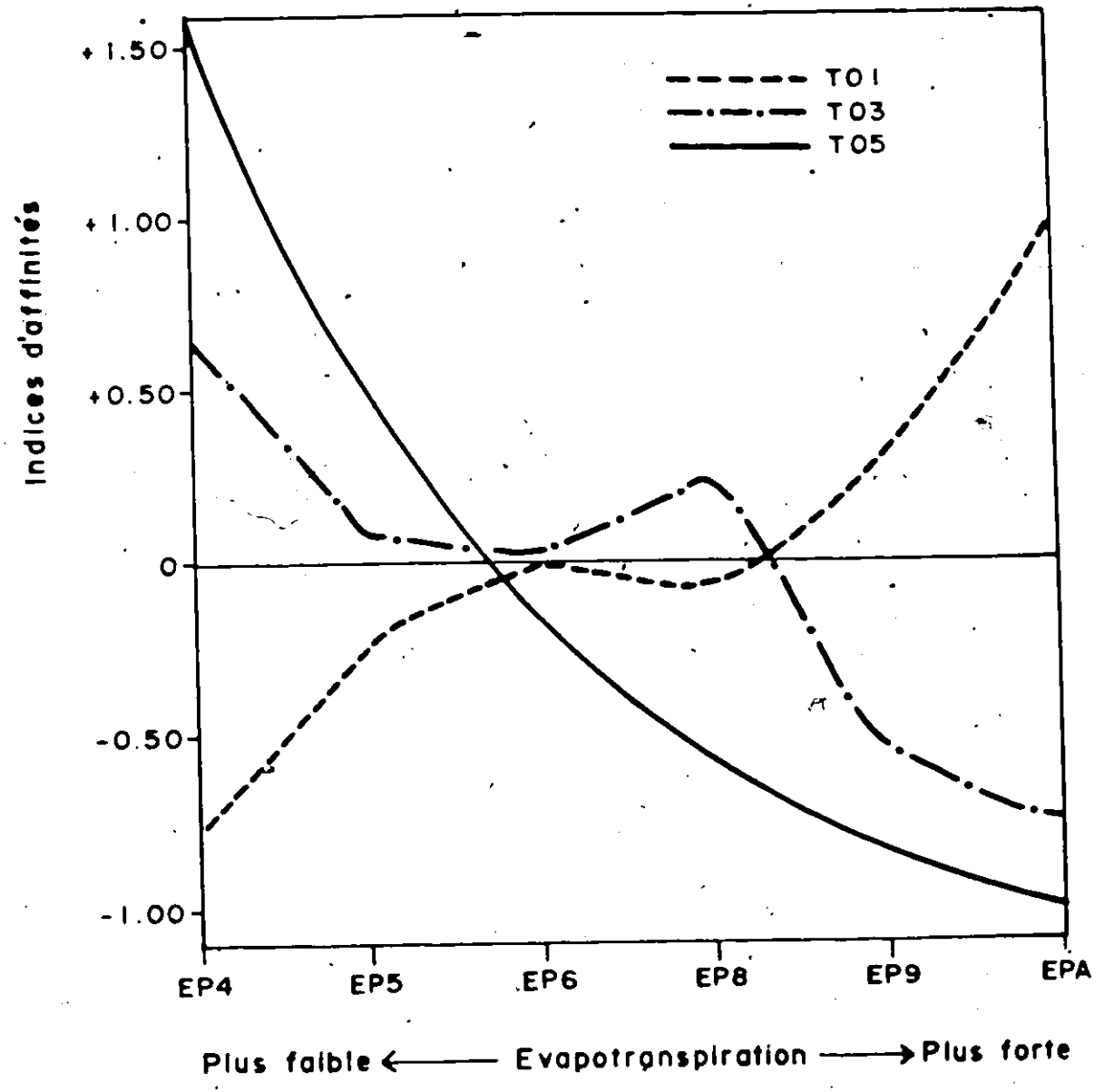


Figure 9: PROFILS ECOLOGIQUES DES TYPES T01, T03, T05 PAR RAPPORT AUX CLASSES D'EVAPOTRANSPIRATION

de l'ensemble des tourbières. La recherche des relations devient laborieuse. Comme alternative, nous aurons recours à l'analyse des correspondances.

3.4 L'AIDE A LA SYNTHÈSE PAR L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES

3.4.1 PROCEDURE

Cette méthode appartient aux méthodes d'analyse factorielle et a une parenté avec l'analyse en composantes principales. Cependant elle a été conçue pour l'analyse des tableaux de fréquences. En conséquence, elle prend en compte une matrice des distances de chi-carré qui caractérise la proximité entre les observations (Bequin, 1979; Legendre et Legendre, 1979; Laforge, 1981). Comme pour une analyse en composantes, les facteurs qui en résultent sont orthogonaux et en ordre décroissant d'importance. En outre, elle produit simultanément dans un même espace les facteurs représentant les variables et les lieux.

La matrice des correspondances est composée des 35 S.E.S. en ligne et de 7 types de tourbières en colonnes (tableau 7). Les données sont exprimées en fréquences absolues. Nous avons éliminé les sous-ensembles possédant moins de 11 observations; à l'exception du S.E.S 28 qui en possède 10, mais qui est très déterminé.

TABLEAU 7
 MATRICE DES FREQUENCES UTILISEES POUR L'ANALYSE
 FACTORIELLE

S.E.S.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07
1	3	1	0	0	0	1	9
2	0	0	7	1	3	0	0
3	2	0	1	3	1	5	0
4	3	0	0	6	1	4	2
5	5	0	0	9	0	10	0
7	5	0	5	0	0	8	3
11	0	2	9	0	6	0	0
12	2	0	10	0	8	0	0
13	4	2	4	1	1	0	0
14	6	3	29	1	9	0	0
15	0	0	11	0	5	4	0
18	13	0	10	3	0	0	0
19	3	1	18	2	5	0	0
20	3	0	5	4	5	4	2
22	5	0	9	7	0	0	0
23	19	4	21	1	1	0	0
24	14	0	0	5	1	5	0
27	4	0	0	1	0	8	3
28	0	1	0	0	0	9	0
30	7	1	1	3	0	2	1
31	3	4	2	0	1	0	1
32	7	1	16	6	5	0	3
34	9	0	7	5	0	2	0
35	8	0	3	2	1	0	2
36	3	1	12	0	0	1	1
37	8	2	1	0	0	1	0
38	5	0	0	4	1	1	0
39	3	1	13	2	0	0	0
42	12	2	4	0	0	0	2
44	7	1	4	0	0	0	0
45	2	4	9	0	6	0	0
48	13	0	4	4	0	0	1
49	1	0	2	7	0	0	1
50	17	1	0	0	0	0	3
51	15	0	0	2	0	0	0

3.4.2' , RESULTATS ET INTERPRETATION DES FACTEURS

Les cinq facteurs représentés comptent pour 94,9% de la variance totale. Seuls les quatre premiers sont retenus et sont présentés deux à deux à l'intérieur de 6 plans; soit les plans 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4 et 3-4. Sur ces plans, les types de tourbières ainsi que les sous-ensembles-solutions sont liés aux facteurs (ou axes) par une note factorielle.

La figure 10 montre la distribution des types de tourbières et des sous-ensembles par rapport aux deux premiers facteurs. On remarque deux alignements, perpendiculaires l'un à l'autre, et oblique par rapport aux deux axes. Il est très intéressant de noter que la position des types de tourbières le long de ces alignements correspond exactement aux deux cheminements évolutifs présenté à la figure 6. D'une part, nous avons la série T07, T04 et T06 montrant une accumulation de plus en plus importante de sphaignes au-dessus d'une base minérotrophe importante; d'autre part la série T02, T03 et T05 qui montre une accumulation de plus en plus grande de sphaignes mais dans un contexte qui a presque toujours été ombrotrophe. Le point de jonction de ces deux alignements aux environs de T01 est aussi crucial car il confirme la position intermédiaire de ce type. Dans cette figure, le facteur 1 exprime une polarité entre les types T05 et T06. Ces deux types représentent les plus grandes tourbières ombrotrophes rencontrées dans la province, mais elles sont de genèse

botanique différente, puisque T06 se distingue par sa base minérotrophe importante (notamment de gyttja) suivie de l'accumulation de sphaigne dans des conditions ombrotrophes. A l'opposé, T05 est pratiquement dépourvu de gyttja et de carex, et l'ombrotrophie y fut atteinte très tôt dans leur développement. Pour la bonne compréhension de cette recherche, il est crucial de bien noter le point suivant. Si l'analyse actuelle trouve ces relations entre les types de tourbières que nous avons déjà décrits et caractérisés dans le chapitre 2, ce n'est pas parce que des différences existent intrinsèquement dans ces tourbières; c'est uniquement parce qu'il a été possible de les discriminer sur la base des caractéristiques environnementales. En d'autres termes, nous découvrons ici que ces types établis sur des critères intrinsèques et génétiques ont, en plus des écologies (des niches écologiques) différentes que nous pourrions caractériser en examinant les S.E.S. auxquels sont associés ces différents types.

A l'extrémité positive, le type T06 correspond aux sous-ensembles-solutions formés au voisinage de rivages lacustres (H07) ou le long des ruisseaux (H04) (S.E.S. 3, 4, 5, 7, 27, 28). A l'extrémité négative, ce sont les sous-ensembles formés en relation avec le littoral marin (S.E.S. 2, 11, 12) qui s'associent le mieux au type T05. Ces stades de développement se distinguent clairement le long du facteur 2. Les tourbières les moins développées verticalement se

situent du côté négatif du facteur 2 (T01, T02, T07), alors que celles dotées d'une plus forte accumulation sont disposées du côté positif (T03, T05, T04, T06).

Afin de vérifier cette interprétation et de mieux discriminer le rôle de ces deux facteurs, nous avons effectué une rotation du système d'axes, selon le critère partimax, de façon à ajuster ces deux axes le long des deux alignements reconnus à la figure 10. Contrairement à la rotation varimax utilisée pour l'analyse en composantes, qui n'est qu'une simple transformation mathématique du système d'axe dans lequel l'utilisateur ne joue aucun rôle, le critère partimax repose d'abord sur l'interprétation des facteurs produits par l'analyse initiale. Le critère mathématique est la maximisation de la variance partielle, c'est-à-dire la variance calculée en ne tenant compte, pour chaque facteur, que des variables que l'interprétation suggère comme éléments associés au facteur. Ainsi, à l'aide de la figure 10, nous ajusterons le premier facteur de façon à maximiser la variance de T06 et du S.E.S 28; et le deuxième axe, en fonction de T05 et des S.E.S. 2, 11, 12. Le tableau 8 montre la matrice des notes factorielles reliant les types de tourbières et les s.e.s aux facteurs.

Après rotation (figure 11), le facteur 1 dégage clairement, en un même ensemble, la correspondance entre les tourbières possédant la plus forte quantité de gyttja (T06) et les positions ripariennes (H04, H07). Il est intéressant de noter que ces deux positions hydrographiques distinctes

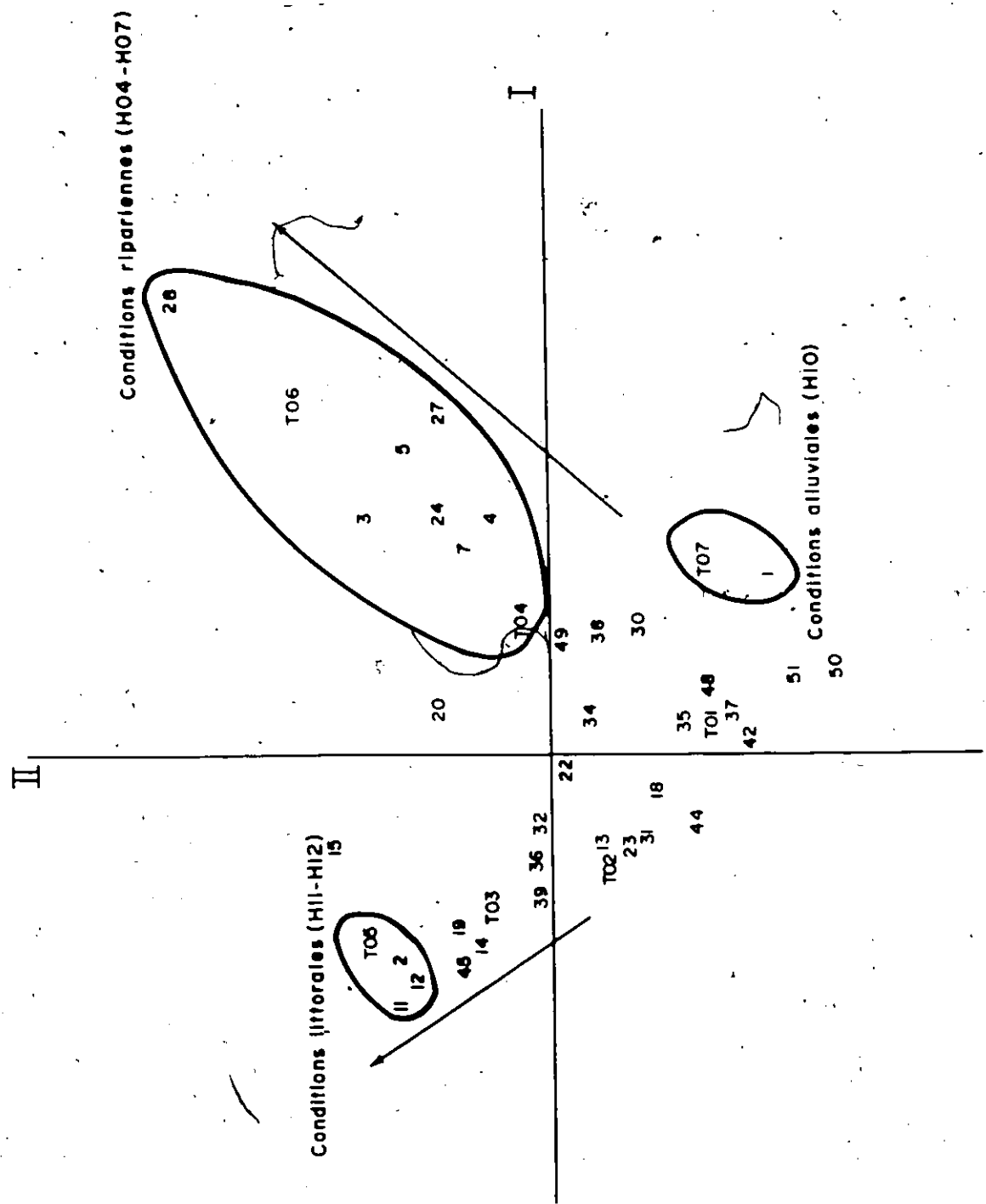


Figure 10: PLAN FACTORIEL 1-2 AVANT ROTATION

TABLEAU 8
MATRICE DES NOTES FACTORIELLES APRES ROTATION

	FACTEURS			
	1	2	3	4
T01	-0,278	-0,582	-0,092	-0,307
T02	-0,132	0,426	0,117	-0,881
T03	-0,262	0,499	-0,165	-0,045
T04	0,051	-0,431	-0,251	1,009
T05	-0,046	1,174	-0,002	0,106
T06	1,764	-0,365	0,050	0,183
T07	0,030	-0,507	1,974	0,048
1	-0,048	-0,569	2,709	-0,066
2	-0,234	0,961	-0,155	0,288
3	1,101	-0,253	-0,228	0,461
4	0,546	-0,465	0,279	0,797
5	1,075	-0,615	-0,298	0,702
7	0,929	-0,329	0,437	-0,153
11	-0,166	1,241	-0,045	-0,144
12	-0,208	1,107	-0,083	0,045
13	-0,290	0,163	-0,181	-0,364
14	-0,266	0,725	-0,155	-0,123
15	0,431	0,833	-0,116	0,050
18	-0,406	-0,344	-0,310	-0,088
19	-0,275	0,667	-0,184	0,060
20	0,333	0,258	0,214	0,400
22	-0,350	-0,179	-0,346	0,610
23	-0,360	-0,015	-0,235	-0,422
24	0,804	-0,469	-0,273	0,590
27	1,341	-0,608	0,642	-0,003
28	2,753	-0,254	-0,085	-0,286
30	0,091	-0,596	0,024	0,017
31	-0,203	0,334	0,348	-0,887
32	-0,291	0,252	0,129	0,250
34	-0,086	-0,381	-0,316	0,223
35	-0,370	-0,414	0,286	0,005
36	-0,153	0,257	0,023	-0,230
37	-0,094	-0,512	-0,207	-0,823
38	-0,035	-0,536	-0,314	0,559
39	-0,338	0,264	-0,264	0,014
42	-0,384	-0,460	0,212	-0,596
44	-0,396	-0,311	-0,250	-0,590
45	-0,178	0,997	-0,048	-0,381
48	-0,409	0,639	-0,124	0,027
49	-0,294	-0,430	0,005	1,468
50	-0,430	-0,884	0,372	-0,615
51	-0,460	-0,994	-0,333	-0,344

ont à peu près le même effet sur la stratigraphie et l'évolution des tourbières, c'est-à-dire qu'elles avantagent toutes les deux la présence de T06. Le facteur 2 pour sa part, montre un gradient de T05 vers T01 et T07, et correspond à un gradient de la décomposition et de l'accumulation. Ce facteur sera discuté plus loin à l'aide du plan factoriel 2-4.

Cette rotation a permis aussi, dans le plan 1-3 (figure 12), d'isoler le type T07 et le S.E.S. 1, le long du troisième facteur. Ce facteur rend compte des tourbières entièrement minérotrophes, notamment celles localisées le long de la rivière Saint-Jean (H10). Dans ce plan, les facteurs 1 et 3 opposent nettement deux différents types de tourbières ayant été fortement influencées par deux conditions d'approvisionnement géogène distinctes.

En ce qui concerne les positions interfluviales (H01) et littorales (H11, H12), elles se répartissent assez distinctivement dans le plan 2-4 (figure 13). A l'extrémité positive du facteur 2, un rapprochement est évident entre les sous-ensembles-solutions formés en milieu littoral (S.E.S. 2, 11, 12) et le type T05. Le S.E.S. 13 se trouve décalé des trois autres parce que ses constituants s'approchent plus des caractéristiques des types T03 et T01.

Les sous-ensembles restants, correspondent aux positions interfluviales. Ils recouvrent tout le plan traduisant ainsi la diversité des conditions écologiques associées à ce groupe. En descendant d'un palier dans la

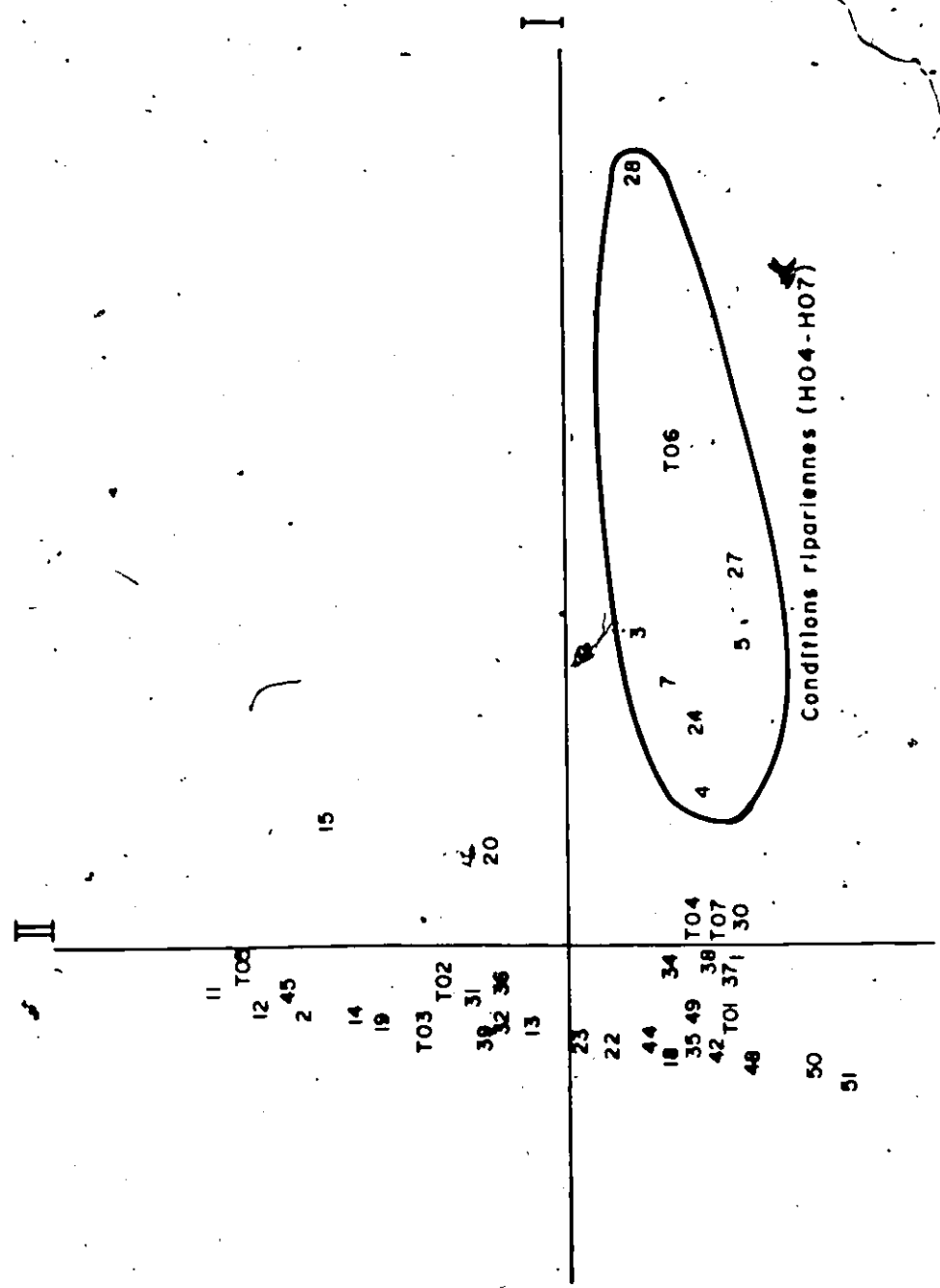


Figure 11: PLAN FACTORIEL 1-2 APRES ROTATION

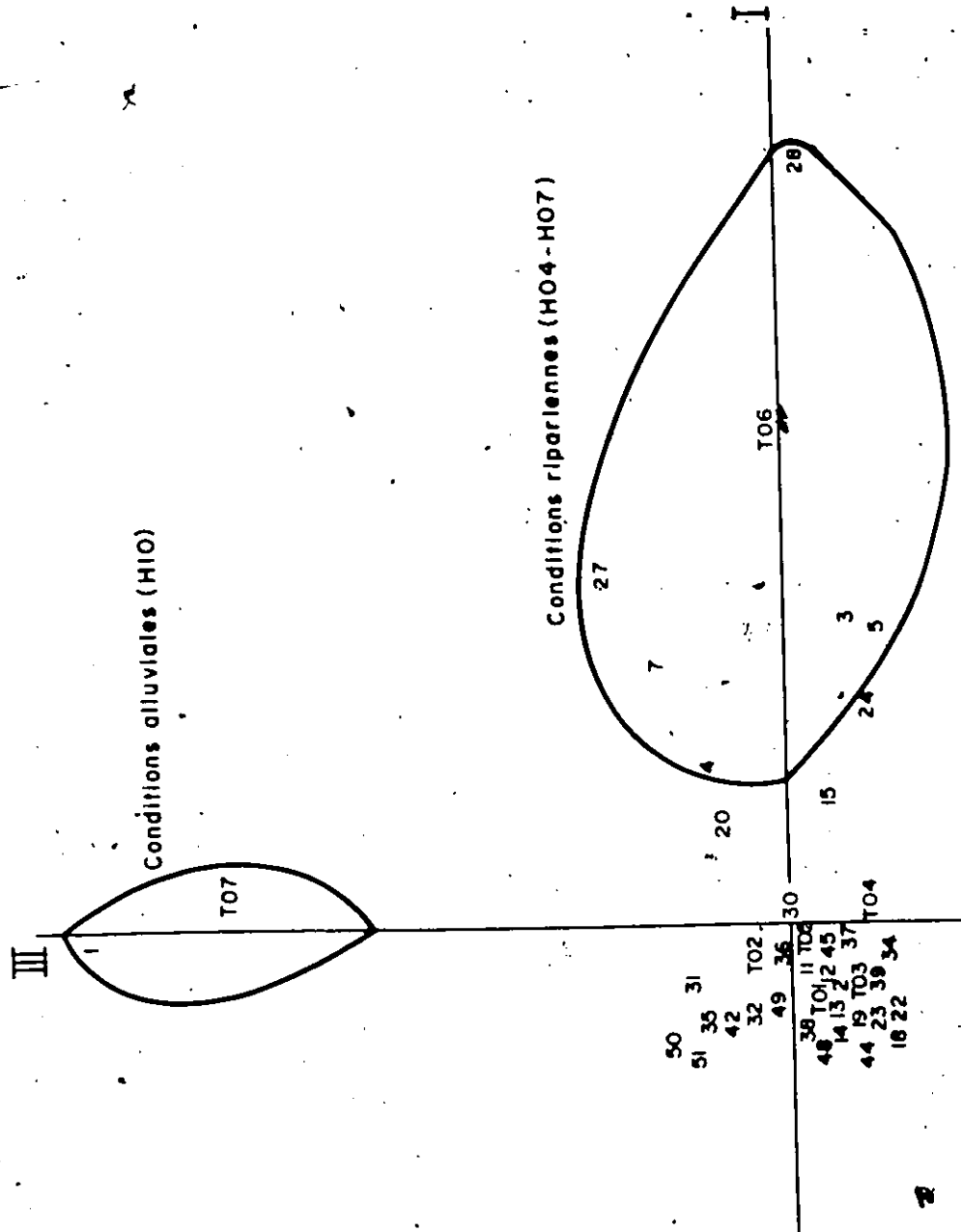


Figure 12: PLAN FACTORIEL 1-3 APRES ROTATION

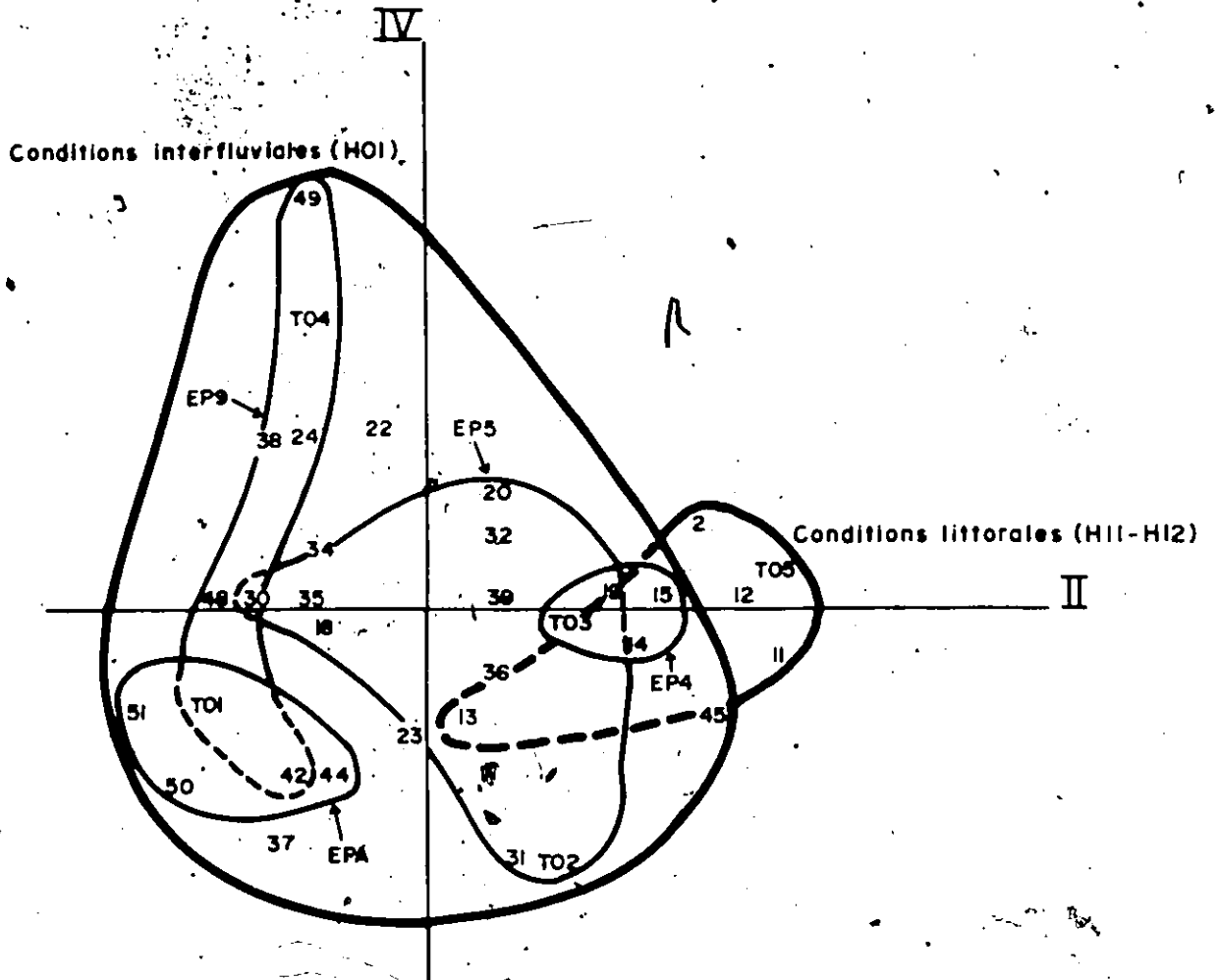


Figure 13: PLAN FACTORIEL 2-4 APRES ROTATION

hiérarchie des variables (voir dendrogramme, figure 8), une organisation certaine des sous-ensembles apparaît en raison des différents niveaux d'évapotranspiration potentielle. Le long de l'axe 2, on remarque une progression de T05 vers T03 et T01. Les deux extrêmes de cet axe distinguent aussi les sous-ensembles correspondant aux classes extrêmes d'évapotranspiration (EP4 et EPA). A proximité des types T05 et T03, on retrouve les sous-ensembles 14 et 15, correspondant à l'évapotranspiration minimum (EP4). A l'autre extrême, en présence d'une évapotranspiration maximum (EPA), ce sont des tourbières plus décomposées, moins développées (T01) qui sont les mieux représentées (S.E.S. 44, 50, 51). Selon ce schéma, l'évapotranspiration jouerait donc un rôle dans le phénomène de décomposition et d'accumulation.

Ici, il est important de remarquer la proximité ou la similitude entre les conditions littorales et les conditions de faible évapotranspiration (EP4) appartenant à la classe H01. Cette ressemblance n'était pas évidente dans le dendrogramme, car ces deux classes hydrographiques étaient distinctes. Or, l'analyse des correspondances permet maintenant de montrer que les tourbières du type T05 et également du type T03 ont une affinité marquée à l'égard de ces deux types de conditions. En outre, on constate que dans la province, l'évapotranspiration est minimum à proximité du littoral et augmente vers l'intérieur des

terres. Il devient donc clair que l'effet du littoral ou de la proximité maritime s'exprime par le truchement de l'évapotranspiration.

La distribution dans le plan, des sous ensembles formées par les classes EP5 et EP9 montre aussi certaines tendances des caractéristiques des tourbières face à cette variable. Pour EP5, les tourbières peuvent avoir des caractéristiques s'approchant du type T01 avec l'influence de d'autres facteurs environnementaux (S.E.S. 18, 30).

Par contre dans des conditions de plus grande évapotranspiration (EP9), les tourbières ne peuvent pas préserver leur matériel végétal contre la décomposition; par ce fait, elles ne parviennent jamais à l'accumulation caractéristique des types T03 et T05. C'est pour cette raison que l'étirement se fait le long de l'axe 4 en faveur de T04 (S.E.S 24, 42, 48, 49 et T01, T04).

La position de T01 est encore une fois très significative. Nous avons vu que ce type est relativement hétérogène. Par sa position dans le plan 2-4, il conserve ce caractère hétérogène dont les caractéristiques peuvent s'approcher soit vers T03, soit vers T04.

Les sous-ensembles-solutions correspondant aux classes moyennes d'évapotranspiration (EP6 et EP8) sont irrégulièrement distribuées dans tout le plan. L'explication avancée plus haut ne tient plus et ce, même en prenant compte des variables sélectionnées aux paliers 3, 4 et 5.

Pour EP8, les S.E.S. 22 et 23 correspondent respectivement en positions topographiques basses (PT1) et moyennes (PT3). Une position intermédiaire (PT2) forme, à l'aide de deux classes voisines des précipitations neigeuses (JN3, JN4), les S.E.S. 38 et 39. Au bas du relief, des types à tendance minérotrophes peuvent se développer (S.E.S. 22) semblables au type T04. Plus haut dans le relief l'ombrotrophie devient plus évidente. Cependant, à position topographique intermédiaire, on retrouve le S.E.S. 39 près de T03 et le S.E.S. 38 près de T04 et T01. Ici on ne voit pas les relations. Il en est de même pour EP6 et les S.E.S. 34, 35, 36, 37 et 45. Les subdivisions successives ne permettent pas interprétation cohérente de cette distribution.

De façon générale pour les conditions interfluviales, c'est l'évapotranspiration qui va commander la différenciation des tourbières; en tourbières avec forte accumulation de sphaignes peu décomposées (T05) lorsque l'évapotranspiration est faible (EP4), vers des tourbières relativement moins épaisses et de plus en plus décomposées lorsque l'évapotranspiration augmente (vers T01).

La classe H01 supporte une grande diversité de tourbières. L'apport d'information supplémentaire permet de réduire progressivement cette diversité à l'intérieur de combinaisons de variables de plus en plus nombreuses. Cependant, certaines combinaisons n'ont pu dégager de façon cohérente des comportements particuliers au sujet des

tourbières. Nous pouvons tout de même affirmer que les variables sélectionnées sont celles qui apportent le plus d'information. Cela n'implique pas nécessairement que ces variables sont liées de façon causale aux types de tourbières considérés. Elles peuvent être liées à d'autres variables, connues ou non, qui elles auraient un effet potentiel sur les tourbières.

Quoiqu'il en soit, cette méthode a permis, par le biais des correspondances, de dégager quelques grands traits généraux de cette complexité écologique et ce, en discriminant les différents types de tourbières sur la base des caractéristiques environnementales. L'hydrographie et l'évapotranspiration sont celles qui expriment le mieux les conditions écologiques associées aux tourbières.

A proximité d'un lac ou d'un ruisseau ce sont les tourbières ayant une plus grande proportion de gyttja (T06) qui sont mises en évidence (facteur 1). Dans un milieu où l'influence géogène est plus intense, comme le long de la rivière Saint-Jean, les carex et la forte décomposition prévalent (facteur 3) et se distinguent par des tourbières typiquement minérotrophes.

Là où l'apport latéral en sels minéraux est plus restreint, comme en position interfluviale ou littorale, ce sont les sphaignes et l'ombrotrophie qui prédominent. De plus, pour ces cas, l'apport logique d'une information climatique a permis de mettre en évidence le lien entre la

décomposition et l'accumulation de ces tourbes et la perte d'humidité à la surface des tourbières. Cependant, la relation n'est évidente qu'en présence des classes extrêmes d'évapotranspiration. Pour les classes moyennes, la relation n'est pas évidente. D'autres facteurs peuvent agir, mais il a été impossible de trouver des liens cohérents avec des variables sélectionnées dans les paliers suivants.

CHAPITRE IV

DISCUSSION ET CONCLUSION

4.1 INDETERMINATION DU SYSTEME

Dans cette étude, nous avons tenté d'élaborer un modèle à la fois géographique et écologique des relations entre la stratigraphie des tourbières et l'environnement physique. En utilisant l'espace géographique comme médium d'information (ou encore comme transmetteur d'information), nous avons réussi à évaluer le degré d'organisation fonctionnelle du phénomène "tourbières" au Nouveau-Brunswick. Ici, l'espace était représenté par 804 éléments; chacun défini par un type de tourbière et 19 caractéristiques environnementales. A l'intérieur de cet espace, la procédure Pegase a mis en évidence les variables apportant le plus d'information face à la stratigraphie des tourbières. Ainsi, la formation des 52 sous-ensembles-solutions correspond en quelque sorte à la structure la plus pertinente du système de relation tourbière/environnement. Malgré ce fait, une part relativement importante du système demeure indéterminée. Cette "structure" formée de 52 S.E.S. n'explique que 36% de l'organisation des tourbières. Nous avons vu que si on

éliminait la contrainte posée par le manque d'observations, cette valeur pourrait en théorie atteindre 52%. Afin de bien apprécier les résultats, il serait intéressant d'évaluer d'abord les raisons pour lesquelles cette indétermination est aussi grande. Nous en proposons trois.

En premier lieu, il est évident que les 19 variables utilisées ne représentent qu'une partie de tous les déterminants abiotiques possibles. Cependant, d'après nos connaissances a priori de l'écologie des tourbières, nous avons cherché à représenter du mieux possible les principaux aspects des facteurs abiotiques potentiellement actifs. Ainsi, il semble peu probable que l'introduction d'une information nouvelle apporte beaucoup plus d'ordre à ce système.

En second lieu, une part d'information peut être perdue en raison de l'échelle de mesure utilisée et du degré de précision accordé à la caractérisation des éléments du système à comparer. En ce qui a trait à la classification des tourbières, l'utilisation d'analyses multivariées a permis d'en dégager, de façon adéquate, les grands traits. Bien que dans la méthode de groupement, le choix du critère du centroïde a permis d'atténuer le phénomène d'enchaînement, il n'a cependant pas éliminé le problème de chevauchement entre les groupes. Ce problème est impossible à surmonter à moins d'agrandir considérablement le nombre de groupes et par là, de mettre en cause l'utilisation d'une

méthode de classification. Dans la recherche des relations, c'est dans ces zones de chevauchements que se perd sans doute une part de la signification et du rôle des facteurs abiotiques.

Au sujet des variables environnementales, PEGASE ainsi que l'analyse des correspondances ont mis en évidence certains faits intéressants, notamment en ce qui concerne le rôle de la situation hydrographique. D'une part, la définition de "position interfluviale" (H01) semble trop large. Ceci s'explique non seulement par le fait que cette classe englobe la majorité des observations, mais aussi parce qu'elle contient le plus grand nombre d'observations pour tous les types de tourbières (sauf pour T06). Or nous avons vu que la présence de certains types (comme T05 et T07) s'expliquait beaucoup mieux par d'autres conditions hydrographiques. Il est possible qu'une meilleure discrimination des types de tourbières aurait pu être atteinte si l'on avait subdivisé cette classe selon d'autres critères plus précis, comme par exemple, en tenant compte de la configuration du relief adjacent (e.g. cuvette, plateau). De même façon, on retrouve dans cette classe des tourbières possédant une forte proportion de gyttja, ce qui indique qu'elles ont pris naissance dans un environnement lacustre, mais que celui-ci n'est plus visible. Voici un très bon exemple du décalage temporel entre l'information stratigraphique et celle de l'environnement actuel. Il

n'est pas certain que ce problème aurait pu être évité en précisant davantage cette classe.

Contrairement à une définition trop large des conditions interfluviales, celle de la classe "littorale" semble être trop restreinte. Ici, cette classe comprend les cas localisés à moins de 500m de la côte. A ce sujet, Korpijaakko (1976), Damman (1977) et Keys (1980) ont démontré que l'influence maritime pouvait se faire sentir beaucoup plus loin à l'intérieur des terres. Il nous est possible d'appuyer ces observations au sujet de la stratigraphie des tourbières. L'analyse des correspondances (facteur 2 du plan 2-4) a mis en évidence la grande ressemblance entre certaines tourbières à position interfluviale (S.E.S. 14-15-19) et celles localisées le long du littoral (S.E.S. 2-11-12). La forte proportion de sphaignes et la faible décomposition en sont les caractéristiques les plus marquantes. Ces tourbières correspondent aux plus faibles valeurs d'évapotranspiration (EP4). Or, il apparaît que EP4 se situe dans les régions côtières, notamment au Nord-Est et au Sud-Ouest de la province. Ainsi, même si les S.E.S. 2-11-12 et S.E.S. 14-15-19 ont été classifiés dans deux unités hydrographiques différentes, la procédure Pegase et l'analyse des correspondance ont tout de même réussi à mettre en évidence leurs caractéristiques communes, et cela au prix d'une perte du niveau d'organisation globale du système.

Nous pourrions procéder de même façon pour d'autres variables, mais ces quelques exemples sont suffisants pour démontrer que les états du système ne peuvent pas toujours être identifiés de façon optimale, et qu'une partie de l'information traitée demeure indéterminée.

En troisième lieu, une grande part de l'indétermination du système peut s'expliquer en raison de la grande complexité de la dynamique des tourbières telle que transmise par la connaissance de la stratigraphie. En réalité, la stratigraphie traduit deux dynamiques distinctes; l'une correspond aux apports géogènes et l'autre, aux apports ombrogènes. Comme la plupart des tourbières étudiées sont ombrotrophes, elles contiennent donc, réunies dans leur stratigraphie, ces deux sources d'information. Cependant, l'information contenue dans chaque variable environnementale ne peut expliquer qu'un seul de ces deux aspects. Ainsi lorsque PEGASE sélectionne une variable comme étant la plus significative, elle ne peut souvent pas s'appliquer à toute l'information exprimée dans la stratigraphie.

Enfin à l'intérieur de la dynamique propre de l'écosystème des tourbières, deux grandes propriétés répondant aux principes cybernétiques, doivent être mentionnées. Ce sont les propriétés d'auto-régulation et de rétroaction. Bien que dans cette recherche, nous avons tenter d'évaluer l'effet de l'environnement sur le biotique,

il ne faut pas oublier que celui-ci agit aussi sur son environnement. Cela est d'autant plus évident lorsqu'il s'agit de tourbières (Worley, 1981). A ce phénomène de rétroaction s'accompagnent aussi des propriétés d'autorégulations permettant aux tourbières de tempérer, s'il y a lieu, les variations dans les apports abiotiques (Ivanov, 1981). En d'autres termes, les tourbières ont la propriété, en se développant, de s'isoler du milieu, à la fois en le transformant et en générant des moyens internes de résistances propices à leur survie (appauvrissement et acidification du milieu, grande capacité de rétention de l'eau, contrôle des fluctuations de la nappe phréatique, etc.). Ainsi quelque soit la quantité d'information apportée par la connaissance de l'environnement, il semblerait qu'une part ne peut pas être fournie par les apports extérieurs, mais plutôt par les propriétés internes des tourbières.

4.2 PROBLEMES DES EX AEQUO

Nous avons vu au chapitre des résultats que la procédure Pegase a dû faire face, à six reprises à des situations ex aequo, et cela à l'intérieur des trois premiers paliers. Dans chaque cas, les deux ou trois variables confrontées contiennent un potentiel d'organisation équivalent. Elles sont soit corrélées

(c'est-à-dire, qu'elles expliquent le même patron spatial), ou encore, elles apportent de l'information différente, mais à poids égal.

La présence des ex aequo dès les premiers paliers peut paraître problématique, en ce sens que le choix de la variable devient celui imposé par l'utilisateur, et que la suite des opérations peut sembler entachée d'une part de subjectivité. Cependant, ce "problème" à tout de même permis de mettre en évidence, dès le premier palier, la dualité pouvant exister entre l'influence d'origine terrestre (représenté ici par l'hydrographie et les dépôts meubles) et celle d'origine aérienne (l'insolation effective). Comme il l'a été indiqué précédemment, ces deux sources d'informations agissent à deux niveaux différents dans la stratigraphie des tourbières. Ainsi, il y a de fortes chances que l'insolation soit peu corrélée avec les deux autres variables. En effet après avoir sélectionné l'hydrographie, elle réapparaît aux trois paliers suivants. Il faut cependant mentionner qu'elle fut à nouveau rejetée au deuxième palier (pour l'ensemble H01) au profit de l'évapotranspiration potentielle, mais nous reviendrons sur ce point plus loin. Donc, que l'on choisisse l'un ou l'autre de ces deux ensembles de variables, cela n'altère pas la signification des résultats, mais seulement le sens au niveau de l'interprétation. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons changé, dans la liste hiérarchique,

l'ordre de priorité entre l'hydrographie et l'insolation afin que cette dernière soit sélectionnée en premier lieu. Il en résulte que l'hydrographie demeure aussi une variable très importante dans l'explication du phénomène; ce qui confirme leurs rôles complémentaires.

Notre vision stratigraphique du phénomène nous a incité à choisir au premier palier une variable à caractère terrestre aux dépens de l'insolation. En opérant de la sorte il a été possible de situer, dès le début, les tourbières en fonction des régimes nutritifs prévalant (soit à caractère géogène ou ombrogène).

Entre l'hydrographie et les dépôts meubles, il est logique de penser que certaines classes soient fortement corrélées. Par exemple, entre les dépôts marins (DM5) et les positions littorales (H11-H12) et entre les positions alluviales (H10) et les alluvions (DM6). Pour les autres classes, la corrélation n'est pas aussi évidente, mais étant donné que la variable "dépôts meubles" n'est sélectionnée qu'une seule fois (au 3e palier pour H04), cela indique qu'elle apporte très peu d'information nouvelle autre que celle contenue dans l'hydrographie.

Comme pour l'insolation, nous avons fait opérer Pegase, cette fois en sélectionnant les dépôts meubles au premier palier. En procédant ainsi, nous avons pu remarquer que l'hydrographie contribuait tout de même à une part relativement importante de l'information apportée au

système. Nous pouvons donc conclure que la variable "hydrographie" contient une information beaucoup plus complète face aux caractéristiques des tourbières. D'une part, lorsqu'elle est sélectionnée au premier palier, elle élimine pratiquement toute l'information représentée par les dépôts meubles. D'autre part, même si cette dernière variable est choisie l'hydrographie apporte tout de même une grande part d'information supplémentaire.

Au deuxième palier, deux situations ex aequo se sont présentées; soit en présence des classes H01 et H04. Dans les deux cas, l'évapotranspiration potentielle fut sélectionnée aux dépens de l'insolation effective (pour H01) et de l'altitude et des précipitations annuelles (pour H04).

Le choix logique d'une variable climatique au deuxième palier permet d'évaluer les caractéristiques de la tourbe dans la portion ombrotrophe du profil. Puisque dans les conditions ombrotrophes, les sphaignes sont toujours dominantes, et ce dans toute la province, l'autre descripteur le plus apte à identifier des variations régionales serait la décomposition.

Dans une tourbière, la décomposition a lieu principalement au-dessus de la nappe phréatique (Goode, et al, 1977). Au-dessous de cette limite, la masse de tourbe, ainsi que l'eau qui s'y trouve sont pratiquement biologiquement inactives (Worley, 1981). Si le niveau d'eau demeure près de la surface pendant la majeure partie de

l'année le processus de décomposition sera minimisé, et vice-versa. Cette condition est surtout nécessaire durant l'été lorsque l'activité biologique est la plus intense. Le régime hydrique d'une tourbière est donc un facteur important vis-à-vis de la décomposition. Il se définit par trois grands processus:

1. L'apport d'eau dans le système: c'est-à-dire la quantité et la fréquence des précipitations.
2. La perte d'eau, soit par écoulement ou par évapotranspiration.
3. La rétention d'eau dans la masse tourbeuse.

Des études traitant de l'hydrologie des tourbières ont démontré qu'il était très difficile d'évaluer et de mesurer les deux derniers processus. D'une part, la quantité d'eau perdue par écoulement dépend de la quantité apportée et la capacité de rétention qui, à son tour, dépend des propriétés physiques de la tourbe et de son degré de saturation. D'autre part l'évapotranspiration est régie par les propriétés hygrométriques de l'air (température, radiation, humidité, vent), par le type de végétation et par la quantité d'eau disponible dans la tourbe. De façon générale, la portion supérieure du profil de tourbe possède une forte conductivité hydraulique, permettant ainsi par écoulement l'évacuation rapide du surplus d'eau. A mesure que l'on descend dans le profil, la conductivité hydraulique est beaucoup plus faible et lorsque la nappe d'eau baisse, la perte par écoulement arrête et seulement

l'évapotranspiration contribue à diminuer davantage le niveau d'eau. Si la nappe phréatique atteint un certain niveau critique, la capacité de rétention de l'eau par la tourbe devient plus forte que la capacité d'évaporation et la perte d'eau s'arrête. Il faut préciser que ce scénario simplifié ne s'applique qu'à des écosystèmes stables et non perturbés.

Ces lignes avaient pour but de démontrer que la décomposition s'expliquait beaucoup mieux en termes de perte d'eau qu'en termes d'apport d'eau. Ainsi l'évapotranspiration potentielle a semblé être la variable la plus représentative pouvant expliquer ce phénomène. En effet, nous l'avons très bien démontré au chapitre des résultats.

Dans la catégorie "interfluviale", on peut remarquer par le dendrogramme que l'insolation effective (IE) apparaît aux 3e et 4e paliers, et ce même après avoir été repoussée au deuxième palier par l'évapotranspiration. Ceci indique que les deux variables ne sont pas aussi corrélées que l'on aurait cru. Nous savons par exemple qu'il y a corrélation entre l'évaporation et le bilan radiatif (Goode et al., 1977). Ce manque de corrélation peut s'expliquer par le fait que l'insolation effective est une valeur réelle des heures d'ensoleillement calculée pour toute l'année alors que l'évapotranspiration potentielle est une valeur estimée pour la saison de croissance à partir du rayonnement solaire arrivant au sommet de l'atmosphère.

Au troisième palier les trois ex aequo apparaissent tous dans la classe (H01), soit pour EP4, EP5 et EP8. Une fois rendu à cette étape dans la procédure, il est difficile de justifier le choix d'une variable, d'autant plus que la complexité inhérente au système contribue peu à faciliter ce choix. Pour EP4, nous avons donné préséance à la géologie (G) aux dépens de l'enneigement (EN). Ce choix a occasionné quatre sous-ensembles terminaux dont un (G01) possédant 48 observations.

En ce qui a trait à EP5, la variable "précipitations annuelles" (PA) fut sélectionnée aux dépens des précipitations neigeuses (PN) et de la température moyenne minimale de Janvier (TN). Enfin la classe EP8 fut subdivisée par trois positions topographiques (PT) au lieu des précipitations annuelles. Les variables refoulées ne sont dans aucun cas réapparues aux paliers suivants. Cependant, aucune conclusion concernant leur degré de corrélation ne peut être tirée étant donné que les observations furent vite épuisées.

4.3 ROLE DE L'HYDROGRAPHIE ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

L'analyse des relations montre clairement que les différents types de tourbières, définies selon leurs caractéristiques intrinsèques, ont aussi des niches écologiques différentes, et que celles-ci se caractérisent

fort bien par les conditions hydrographiques et d'évapotranspiration. Il a été souligné au premier chapitre que l'eau jouait un rôle essentiel dans l'écologie des tourbières. En réalité elle joue un double rôle car elle sert, à la fois, à conserver la matière organique morte et à approvisionner la végétation en éléments nutritifs. Ainsi, dépendant des propriétés de l'eau apportée dans le milieu, les tourbières vont prendre différentes caractéristiques. Dans cette étude, l'information produite par l'hydrographie et l'évapotranspiration potentielle a permis d'évaluer le rôle de deux aspects de la dynamique de l'eau dans ces écosystèmes.

En premier lieu, il a été possible de distinguer certaines relations entre les particularités stratigraphiques des tourbières et leurs positions par rapport au réseau de drainage. En réalité, cette variable a mis en évidence la dynamique nutritive dans laquelle les tourbières ont évoluées.

Le long de la rivière Saint-Jean (H10), les tourbières sont soumises à de grandes fluctuations de la nappe d'eau. En périodes d'inondation, une grande quantité d'éléments nutritifs est apportée dans le milieu, alors qu'en périodes d'étiage, le milieu enrichi, accompagné d'une baisse de la nappe d'eau, permettent l'implantation d'espèces végétales plus exigeantes ainsi qu'une activité biologique relativement plus importante. Ceci peut expliquer pourquoi

on y retrouve les tourbières les plus décomposées et contenant une très faible proportion de sphaignes (T07). Le développement vertical de ces dépôts reste en-deça des limites d'influences des eaux minérales, c'est-à-dire qu'elles sont minérotrophes. Elles montrent qu'elles n'ont pas encore réussi à atteindre le niveau d'ombrotrophie permettant une accumulation significative. Donc, soit qu'elles sont relativement jeunes, soit que les conditions physiques posent certaines contraintes pour leur développement optimum. Une chose est certaine cependant, c'est que cette dernière hypothèse peut être appuyée par la présence d'une forte décomposition qui, nous le savons limite l'accumulation.

En ce qui a trait aux positions de lacs (H07) et de ruisseaux (H04), leurs effets sur la stratigraphie des tourbières sont équivalents (voir indices d'affinités tableau 6). Il est normal que dans ces conditions, l'importance du gyttja soit mise en évidence (T06 dans la figure 11). Cependant, il est intéressant de remarquer que même si l'apport géogène fut important à un moment donné, les tourbières ont réussi à se libérer de cette influence pour devenir ombrotrophe. Nous avons vu que dans le cas de la rivière Saint-Jean, il est probable que les conditions abiotiques extrêmes aient, jusqu'à présent, empêché les tourbières d'échapper à leur dépendance minérotrophique.

Pour les tourbières à position interfluviale (H01) et le long du littoral (H11 et H12), les sphaignes sont en général prédominantes (T01, T02, T03, T05). Ceci correspond bien au fait que dans ces conditions, l'influence géogène fut vite surmontée et que la portion ombrotrophe des tourbières devrait être comparativement importante. Etant donné que la définition de la classe H01 est très large, elle peut aussi soutenir un grand nombre de cas appartenant aux autres types de tourbières. En ce qui a trait aux classes H11 et H12, elles ont à peu près le même effet sur la stratigraphie des tourbières.

Entre les conditions littorales et interfluviales, c'est la décomposition de la tourbe qui se distingue le mieux. De manière générale, les résultats ont démontré que plus on s'éloigne de la côte, plus les sphaignes sont décomposées. Etant donné que nous sommes en présence de conditions fortement ombrotrophes, la raison de ce phénomène ne peut s'expliquer autrement que par l'apport d'une information climatique. Dans le cas présent, la variable qui correspond le mieux à cette variation est l'évapotranspiration potentielle (EP). Bien que les valeurs de cette variable soient des estimations, elles permettent néanmoins de comparer le potentiel hygrométrique de l'air d'une région à l'autre de la province. En quelque sorte, la variable EP est le descripteur complet en terme d'information, car il réunit dans une même valeur les

interactions existant entre plusieurs paramètres climatiques.

Dans les études sur l'hydrologie des tourbières, l'évapotranspiration fut toujours considérée comme un des facteurs contribuant à l'élimination de l'eau des tourbières (Boelter et Verry, 1977). Ces études se sont surtout attardées à l'évaluation de son rôle dans le régime hydrique des tourbières. Dans la présente recherche cependant, grâce à une approche plus régionale, il a été possible de démontrer que ces différences dans le potentiel d'évapotranspiration (plus faible le long de la côte) correspondaient de façon assez évidente avec les variations existant dans le degré de décomposition et d'accumulation de la tourbe ombrotrophe. C'est probablement le résultat le plus intéressant qui pourrait être vérifié de façon plus systématique dans le futur.

4.4 CONCLUSION

Bien que l'on reconnaisse que le phénomène "tourbière" soit fortement contrôlé par l'environnement physique, il en reste encore beaucoup à apprendre au sujet des mécanismes d'échanges écologiques qui s'y manifestent. Cette recherche s'est attachée à comprendre et expliquer la distribution spatiale écologique des tourbières et ce, par une approche particulière:

1. La connaissance actuelle de l'écologie des tourbières résulte en grande partie de recherches axées sur la végétation. Dans le cas présent, nous avons voulu ajouter à cette connaissance par le biais de la stratigraphie des tourbières.
2. Le phénomène d'interactions peut être perçu à différentes échelles. Ici, nous l'avons recherché en mettant l'accent sur l'espace géographique, c'est-à-dire en cherchant les variations spatiales communes reconnues dans la tourbe et dans l'environnement. De là, l'ensemble des tourbières de la province fut défini comme un système pouvant révéler un certain degré d'organisation.
3. Le choix de la théorie de l'information et de PEGASE a permis de répondre à notre besoin de relier l'écologie à la géographie et ce, sous prétexte de rechercher l'organisation écologique de l'espace. De plus, PEGASE fut conçue pour traiter des valeurs nominales; ce qui est un grand avantage car dans l'étude de systèmes naturels, il est souvent difficile d'en représenter adéquatement les caractéristiques par des valeurs quantitatives.

En ce qui a trait aux résultats, ils reflètent très bien la grande complexité associée à la dynamique des tourbières. Bien que l'idéal aurait été d'expliquer le phénomène "tourbière" dans son entité, ce n'était pas là le but de cette recherche. Au contraire, nous avons voulu

explorer les relations écologiques à partir d'un minimum de descripteurs simples pouvant facilement expliquer les grands aspects de la tourbe.

Dans les analyses spatiales et écologiques des tourbières, la tourbe fut souvent mise de côté car l'information n'était pas disponible, ou trop fragmentaire. Cependant, il est probable dans l'avenir que la tourbe devienne un sujet d'étude de plus en plus commun, ce grâce aux programmes d'inventaires comme ce fut le cas au Nouveau-Brunswick. La présente recherche en est un bon exemple.

BIBLIOGRAPHIE

- ATLAN, H. 1972. L'Organisation biologique et la théorie de l'information. Herman. Paris. 300 p.
- 1974. On a Formal Definition of Organization. J. Theoret. Biol. 45: 295-304
- BAIER, W. and Robertson, G.W. 1965. Estimation of Latent Evaporation From Simple Weather Observations. Can. J. Plant Sci. 45: 276-284.
- BEGUIN, H. 1979. Méthodes d'analyse géographique quantitative. Litec. Paris. 252 p.
- BOELTER, D.H. and VERRY, E.S. 1977. Peatland and Water in the Northern Lake States. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-31, North Cent. For. Exp. Stn., St-Paul, Minnesota. 22 p.
- BOSTOCK, H.S. 1972. Subdivisions physiographiques du Canada. Dans: Géologie et Ressources Minérales du Canada. Partie A. R.J.W. Douglas et L.P. Tremblay (dir.). Commission Géologique du Canada. pp. 13-34.
- CAMERON, C.C. 1968. Relation of Commercial Quality of Peat to Bedrock and Geologic Structure. Proceeding of the Third International Peat Congress. Quebec. August 18-23, 1968. E.M.R. and N.R.C. Ottawa. pp. 98-101.
- CHALMERS, R. 1890. Report on the Surface Geology of Southern New Brunswick. Geological Survey of Canada, Annual Report for 1888-1889, v.4. Part N. 92 p.
- DAI, T.S., HAAVISTO, V.F. and SPARLING, J.H. 1974. Water level Fluctuation in a Northeastern Ontario Peatland. Can. J. For. Res. 4:76-81
- DALE, M.B. 1981. Systems Analysis and Ecology. In: Systems Behavior. Open System Group (ed.). Harper and Row, London. pp. 214-227.
- DAMMAN, A.W.H. 1977. Geographical Changes in the Vegetation Pattern of Raised Bogs in the Bay of Fundy Region of Maine and New Brunswick. Vegetatio. 35: 137-151.

- DANSEREAU, P. and SEGADAS-VIANNA, F. 1952. Ecological Study of the Peat Bogs of Eastern North America. 1. Structure and Evolution of Vegetation. Can. J. Bot. 30: 490-520.
- GADD, N.R. 1973. Quaternary Geology of Southwest New Brunswick with Particular Reference to Fredericton Area. Geological Survey of Canada. paper 71-34. 31 p. map 12-1971.
- GANONG, W.F. 1897. Upon Raised Peat Bogs in the Province of New Brunswick. Trans. Roy. Soc. Can. II. vol 3 sec IV, pp. 131-163.
- GAUTHIER, R. 1980. La Végétation des tourbières et les sphaignes du parc des Laurentides, Québec. Etudes Ecologiques 3. Laboratoire d'Ecologie Forestière. Université Laval, Québec. 634 p.
- GAUTHIER, R.C. 1982. Surficial Deposits, Northern New Brunswick. Geological Survey of Canada. Open file 856.
- 1983. Surficial Materials of Northern New Brunswick. Geological Survey of Canada. Open file 963.
- GODRON, M. 1968. Quelques Applications de la Notion de Fréquence en Ecologie Végétale. Oecologia Plantarum. 3: 185-212.
- GOODE, D.A., MARSAN, A.A. and MICHAUD, J.-R. 1977. Water Resources. In: Muskeg and the Northern Environment in Canada. N.W. Radforth and C.O. Brawner (eds.). Univ. Toronto Press. pp. 299-331.
- GUILLERM, J.L. 1971. Calcul de l'Information Fournie par un Profil Ecologique et Valeurs Indicatrices des Espèces. Oecologia Plantarum. 6: 209-225.
- HEINSELMAN, M.L. 1963. Forest Sites, Bog Processes, and Peatland Types in the Glacial Lake Agassiz Region, Minnesota. Ecol. Monogr. 33:327-374.
- 1970. Landscape Evolution, Peatland Types, and the Environment in the Lake Agassiz Peatlands Natural Area, Minnesota. Ecol. Monogr. 40:235-261.
- HOBBS, H.C. 1980. Case Histories of Three Sphagnum Bogs in Northeastern Minnesota. In: Proceedings of the 6th International Peat Congress, Duluth, Minnesota. U.S.A. pp. 38-46.
- IVANOV, K.E. 1981. Water Movement in Mirelands. Academic Press. London. 276 p. (traduit du Russe).

- KEYS, D. 1980. Assessment and Management of the Peatlands in New Brunswick, Canada. Symposium on Peat as an Energy Alternative, Arlington, Virginia. December 1-3, 1980. Institute of Gas Technology, Chicago.
- 1983. Summary of the Techniques Used in the Inventory of the Peatlands of New Brunswick, Canada. In: Proceedings of a Peatland Inventory Methodology Workshop. S.M. Morgan and F.C. Pollett (eds.). L.R.R.I. and Newfoundland Forest Research Center. pp. 75-87.
- KEYS, D., GEMMELL, D.E. and HENDERSON, R.E. 1982. New Brunswick Peat - Resources, Management, and Development Potential. In: Symposium 82, A Symposium on Peat and Peatlands. J.D. Sheppard, Joyce Musial and T.E. Tibbetts (eds.). Shippagan, New Brunswick. Sept. 12-15, 1982. pp. 222-236.
- KEYS, D. and HENDERSON, R.E. 1985. Investigation of the Peatlands of New Brunswick. Mineral Development Branch. Dept. Nat. Res. Fredericton. Open File Report. 83-10
- KORPIJAAKKO, M.L. 1976. On the Geobotanical and Paleontologic Development of Muskeg in New Brunswick. Unpublished Ph. D. thesis, U. of New Brunswick, Fredericton. 154 p.
- LAFORGE, H. 1981. Analyse multivariée pour les sciences sociales et biologiques avec applications des logiciels BMD, BMDP, SPSS, SAS. Editions Etudes Vivantes. Montréal. 317 p.
- LEGENDRE, L. et LEGENDRE, P. 1979. Ecologie numérique, tome I; Le traitement multiple des données écologiques, 197 p. tome II; La structure des données écologiques, 247 p. Collection d'Ecologie 12 et 13. Les presses de l'Université du Québec.
- MARCHAND, B. 1972. L'Usage des statistiques en géographie. Espace géographique. 2: 79-100.
- MATHER, P.M. 1976. Computational Methods of Multivariate Analysis in Physical Geography. John Wiley and Sons (eds.). Toronto. 352 p.
- MOORE, P.D. and BELLAMY, D.J. 1974. Peatlands. Springer-Verlag. New York. 221 p.
- MORIN, E. 1977. La Méthode: 1. La Nature de la Nature. Editions du Seuil. Paris. 399 p.
- MOTT, R.J. 1975. Palynological Studies of Lakes Sediment Profiles from Southwestern New Brunswick. Can. J. Earth Sci. 12: 273-288.

- PHIPPS, M. 1981a. Entropy and Community Pattern Analysis. J. Theoret. Biol. 93: 253-273.
- PHIPPS, M. 1981b. Information Theory and Landscape Analysis. Proc. Int. Congr. Neth. Soc. Landscape Ecol. Veldhoven. 1981. pp. 57-64.
- PIELOU, E.C. 1975. Ecological Diversity. John Wiley and Sons. 165p.
- RADFORTH, N.W. 1977. Muskeg Hydrology. In: Muskeg and the Northern Environment in Canada. N.W. Radforth and C.O. Brawner (eds.). Univ. Toronto Press. pp. 130-147.
- RADFORTH, N.W. and BRAUNER, C.O. (Eds). 1977. Muskeg and the Northern Environment in Canada. Univ. Toronto Press. Toronto. 399 p.
- RAMPTON, V.N. and S. PARADIS. 1981a. Quaternary Geology of Woodstock Map Area (21-J), New Brunswick. New Brunswick Dept. Nat. Res. 37 p. Map Report 81-1.
- 1981b. Quaternary Geology of Moncton Map Area (21-I), New Brunswick. New Brunswick Dept. Nat. Res. 31 p. Map Report 81-2.
- 1981c. Quaternary Geology of Amherst Map Area (21-H), New Brunswick. New Brunswick Dept. Nat. Res. 36 p. Map Report 81-3.
- RAMPTON, V.N., GAUTHIER, R.C., THIBAUT, J. and SEAMAN, A.A. 1984. Quaternary Geology of New Brunswick. Geological Survey of Canada. Memoir 416. 77 p.
- RUSSELO, D., EDEY, S. and J. GODFREY. 1974. Selected Tables and Conversions Used in Agrometeorology and Related Fields. Agriculture Canada publ. 1522.
- SJORS, H. 1959. Bogs and Fens in the Hudson Bay Lowlands. Arctic. 12: 2-19.
- STANEK, W. 1977a. Classification of Muskeg. In: Muskeg and the Northern Environment in Canada. N.W. Radforth and C.O. Brawner (eds.). Univ. of Toronto Press. Toronto. pp. 31-62.
- 1977b. A List of Terms and Definitions. In: Muskeg and the Northern Environment in Canada. N.W. Radforth and C.O. Brawner (eds.). Univ. Toronto Press. Toronto. pp. 367-387. (appendix).

TERASMAE, J. 1977. Postglacial History of Canadian Muskeg.
In: Muskeg and the Northern Environment in Canada. N.W.
Radforth and C.O. Brawner (eds.). Univ. Toronto Press.
pp. 9-30.

VERRY, E.S. and BOELTER, D.H. 1978. Peatland Hydrology.
In: Wetland Functions and Values : The State of Our
Understanding. Proc. of the National Symposium on
Wetlands, Lake Buena Vista. B.E. Greeson, J.R. Clarke,
J.E. Clarke (eds.). pp. 389-402.

WORLEY, I.A. 1981. Maine Peatlands: Their Abundance,
Ecology, and Relevance to the Critical Areas Program of
the State Planning Office. Maine Critical Areas Program.
Plan. Rep. No. 73. 387 p.



Annexe 1

INFORMATION DE BASE

Au Nouveau-Brunswick, les tourbières représentent un élément important du paysage. Elles recouvrent un peu moins de 10% du territoire, soit environ 140 000 hectares et se concentrent surtout le long d'un axe nord-est, sud-ouest qui traverse la province et qui s'étend jusqu'au Maine.

Au cours des années, cette ressource fut l'objet d'études et d'utilisations diverses, reliées à des fins domestiques, agricoles, énergétiques et pharmaceutiques. D'un autre côté, depuis les dernières décennies, les tourbières en tant qu'écosystème sont de plus en plus considérées à des fins de conservations. Au Nouveau-Brunswick, elles se distinguent surtout par la très haute qualité de tourbe à sphaigne peu décomposée qu'elles ont générée. Déjà Ganong (1897) à la fin du siècle dernier, avait remarqué la haute qualité de tourbe horticole pouvant être exploitée de ces milieux incultes. Aujourd'hui, 18 grandes tourbières sont exploitées pour la production de tourbe horticole et d'autres produits connexes (Keys, 1983). De plus, depuis les années 70, un intérêt marqué s'est porté plus particulièrement au niveau du potentiel énergétique des tourbières.

En raison d'un intérêt croissant envers cette ressource, il a semblé nécessaire de mieux en connaître la nature et l'importance, pour éventuellement en permettre une évaluation adéquate du potentiel et une gestion plus efficace. Afin de combler à ces exigences, un inventaire "in situ" complet de toutes les tourbières de 25 hectares (ha) et plus fut donc entrepris entre 1975 et 1981 sous l'égide du Ministère d'Expansion Economique et Régional (MEER) et du Ministère des Ressources Naturelles de la province.

Un peu plus de 800 tourbières furent inventoriées selon une méthode similaire à celle utilisée en Finlande. L'avantage de cette méthode permet d'obtenir un maximum d'information à partir d'un minimum de relevés.

Chaque tourbière fut d'abord examinée à l'aide de photos aériennes afin d'évaluer la méthode d'inventaire la mieux adaptée. En général, sur les tourbières ayant une superficie de plus de 100 ha., un quadrillage fut planifié et marqué d'une ligne centrale épousant le plus grand axe de la tourbière et de lignes secondaires, perpendiculaires traversant l'axe principal à environ tous les 500 mètres d'intervalle. Sur ces lignes, les relevés furent établis à tous les 100 mètres d'intervalle.

Pour les tourbières plus petites, l'échantillonnage à été fait au hasard, en respectant à la fois, la distance entre les relevés et une densité d'échantillonnage d'environ 1 site par 4 hectares.

Pour chaque site, l'information botanique, stratigraphique et topographique a été notée de façon à être directement introduite dans l'ordinateur. La végétation fut codée, utilisant le modèle de classification Radforth, quoique légèrement modifié afin d'adhérer aux besoins visés par le programme d'inventaire de la province.

Cette méthode n'identifie pas les espèces botaniques. Elle permet seulement de distinguer les particularités concernant la taille et la lignosité de la végétation dominante à partir d'une combinaison de codes (3 au maximum) représentés par les lettres de A à I; A, étant les espèces arborescentes de plus de 5 mètres de hauteur et I, le couvert muscinal.

A chacun des sites, une carotte d'échantillons fut extraite à l'aide d'une tarière Hiller. Tout le profil fut divisé en intervalles à partir desquelles furent notées les particularités botaniques et de l'humification de la tourbe.

Les composantes botaniques furent identifiées à l'intérieur de 6 grandes classes: sphaignes, carex, éricacées, bois, linaigrettes et autres. Leur pourcentage fut arrondi à 10% près. Les détritiques organiques (gyttja, dy, sapropel, etc.) déposés dans des conditions subaquatiques, furent identifiés sous le terme "ooze" afin de les différencier de la tourbe.

Le degré de décomposition fut estimé et noté à l'aide de l'échelle de décomposition Von Post. Cette échelle varie

de 1 à 10; 1 étant la tourbe non décomposée et 10, la tourbe entièrement humifiée.

L'évaluation stratigraphique de la tourbe s'est fait par appréciation tactile et visuelle. La détermination des composantes botaniques était relativement facile pour une tourbe peu décomposée, mais devenait plus difficile lorsque la décomposition était plus avancée. Malgré la très grande efficacité de cette méthode, il a fallu tout de même faire appel au jugement des personnes chargées de l'inventaire. L'information recueillie possède ainsi une portion subjective qui peut être discutable. Elle sera cependant minimisée dans la présente recherche.

Pour la plupart des tourbières un ou deux échantillons stratigraphiques représentatifs ont été recueillis et analysés en laboratoire afin d'en mesurer les propriétés physiques, chimiques et calorifiques.

Une fois les données du terrain compilées, des cartes isopaques et topographiques furent produites pour chaque tourbière. Dans les deux cas, les isolignes furent tracées à des intervalles d'un mètre. Les lignes d'inventaires, les sites d'échantillonnages, les limites de la tourbière, des terrains publics et privés ont aussi été ajoutés.

Sur les cartes isopaques, l'épaisseur totale de la tourbe, celle de la couche peu humifiée (H1 à H4) et l'humification moyenne pondérée furent notés à chaque site. De ces cartes fut aussi calculée, la superficie des tourbières.

Une fois ces données entrées dans l'ordinateur, des logiciels furent mis au point afin d'en effectuer tous les calculs nécessaires pour chaque site chaque tourbière et pour l'ensemble des tourbières de la province. L'information stratigraphique est disponible à trois niveaux:

- pour la couche peu décomposée (H1 à H4),
- pour la couche humifiée (H5 à H10),
- et pour l'ensemble de ces deux couches.

Pour chaque tourbière, et à chaque niveau, l'information peut être recouverte en quelques *25 tableaux; dont, la profondeur moyenne pondérée, le pourcentage, le volume et l'humification moyenne de 22 composantes botanique, etc. Ces tableaux sont aussi disponibles à l'échelle régionale, c'est-à-dire pour toutes les tourbières mises ensembles, ou pour un groupe qu'on peut choisir à partir d'une combinaison de l'un ou l'autre des 600 paramètres possibles. Par exemple, si l'on demande des tourbières situées à l'intérieur de certaines coordonnées géographiques, ayant un tel type botanique dominant et un certain degré de décomposition, l'ordinateur va fournir tous les cas qui correspondent à ces critères.

Des profils représentant la distribution des composantes botaniques dominantes, l'humification, ainsi que d'autres données furent aussi produits à l'aide de

l'ordinateur. D'autres détails d'ordre plus général ont été recueillis afin de compléter l'information, comme par exemple, la localisation, l'accès, les caractéristiques locales du drainage, l'utilisation potentielle ainsi que d'autres remarques pertinentes.

Ce programme d'inventaire a permis une évaluation tridimensionnelle et détaillée des tourbières de la province. L'information recueillie peut servir à de multiple usages; autant dans le domaine de la gestion et de l'aménagement, que pour des besoins économique et scientifiques.

Annexe 2

LES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

CLASSES	NOMBRE DE	CARACTERISTIQUES
	TOURBIERES	
<u>ALTITUDE (mètres)</u>		
A01	172	0- 29
A02	95	30- 59
A03	140	60- 89
A04	137	90-119
A05	166	120-149
A06	27	150-239
A09	27	240-et plus

RUGOSITE (mètres)

R01	98	0- 14
R02	375	15- 29
R03	175	30- 44
R04	51	45- 59
R05	51	60- 74
R06	32	75-104
R08	22	105 et plus

POSITION TOPOGRAPHIQUE

PT1	209	0-0.19
PT2	204	0.20-0.39
PT3	218	0.40-0.59
PT4	126	0.60-0.79
PT5	47	0.80-1.00

HYDROGRAPHIE

H01	595	position interfluviale
H04	82	de ruisseau
H07	50	de lac
H10	14	alluviale
H11	11	de marais salés
H12	52	de littorale

GEOLOGIE

G01	607	grès, conglomérat (Pennsylvanien)
G02	63	granites (Dévonien)
G03	20	roches métamorphiques et granitiques (de Silurien à Mississipien)
G04	66	greywacke et schistes (Silurien et Dévonien)
G05	27	roches sédimentaires argileuses (Ordovicien)
G06	21	roches sédimentaires calcaires et volcaniques (Ordovicien)

DEPOTS MEUBLES

DM1	39	roche en place
DM2	424	till
DM3	121	moraine
DM4	63	fluvio-glaciaire
DM5	143	marin
DM6	14	alluvions

PRECIPITATION MOYENNE ANNUELLE (MM)

PA1	55	945,4-1045,2
PA3	224	1045,2-1095,1
PA4	328	1095,1-1145,0
PA5	134	1045,0-1194,9
PA6	40	1194,9-1294,7
PA8	23	1294,7-1444,4

PRECIPITATION MOYENNE DE JANVIER (MM)

PN1	89	69,7- 93,4
PN4	288	93,4-101,3
PN5	200	101,3-109,2
PN6	129	109,2-117,2
PN7	55	117,2-133,0
PN9	43	133,0-148,8

PRECIPITATION MOYENNE DE JUILLET (MM)

PJ3	90	69,8- 82,6
-----	----	------------

PJ4	81	82,6- 86,9
PJ5	162	86,9- 91,2
PJ6	285	91,2- 95,5
PJ7	135	95,5- 99,8
PJ8	51	99,8-112,6

NOMBRE DE JOURS DE PRECIPITATION (Jours)

JP1	115	97 -118
JP4	117	118 -125
JP5	137	125 -132
JP6	127	132 -138
JP7	135	138 -145
JP8	173	145 -166

NOMBRE DE JOURS DE NEIGE (Jours)

JN2	146	23 - 32
JN3	138	32 - 36
JN4	144	36 - 41
JN5	179	41 - 49
JN7	147	49 - 58
JN9	50	50 - 60

PERIODE SANS GEL (Jours)

SG1	140	53- 90
SG4	140	90-102
SG5	179	102-115
SG6	173	115-127

SG7	133	127-139
SG8	39	139-176

DEGRES-JOURS DE CROISSANCE (°C)

DJ3	22	1272,3-1456,1
DJ4	62	1456,1-1517,3
DJ5	77	1517,3-1578,6
DJ6	172	1578,6-1639,9
DJ7	357	1639,9-1701,1
DJ8	114	1701,1-1884,9

TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE (°C)

TY3	16	2,0-3,3
TY5	71	3,3-4,1
TY6	262	4,1-4,5
TY7	235	4,5-4,9
TY8	142	4,9-5,4
TY9	78	5,4-6,2

TEMPERATURE MOYENNE MAXIMALE DE JUILLET (°C)

TX1	6	17,9-18,7
TX6	39	22,1-22,9
TX7	86	22,9-23,7
TX8	147	23,7-24,5
TX9	464	24,5-25,4
TXA	62	25,4-26,2

TEMPERATURE MOYENNE MINIMUM DE JANVIER (OU FEVRIER) (°C)

TN2	29	-19,7- -17,2
TN3	212	-17,2- -16,0
TN4	276	-16,0- -14,7
TN5	137	-14,7- -13,5
TN6	112	-13,5- -12,2
TN7	38	-12,2- -7,2

EPAISSEUR MOYENNE DE NEIGE A LA FIN JANVIER (OU FEVRIER)

(MM)

EN2	82	25,4-33,5
EN3	158	33,5-37,6
EN4	260	37,6-41,6
EN5	181	41,6-45,7
EN6	53	45,7-49,8
EN7	70	49,8-66,0

INSOLATION EFFECTIVE ANNUELLE (Heures)

IE1	71	1835,0-1852,5
IE2	120	1852,5-1870,1
IE5	179	1870,1-1922,7
IE6	118	1922,7-1940,2
IE9	129	1940,2-1992,8
IEA	187	1992,8-2010,3

EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (MM)

EP4	134	475,8-560,4
-----	-----	-------------

EP5	193	560,4-581,6
EP6	132	581,6-602,8
EP8	133	602,8-645,1
EP9	99	645,1-666,2
EPA	133	666,2-687,4