



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Canadian Theses Service

Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

NOTICE

The quality of this microform 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 microform is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30.

AVIS

La qualité de cette microforme 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, tests publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

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

CONTRIBUTION A L'ETUDE DU PAYSAGE VEGETAL D'UNE
PESSIERE NORDIQUE (BAIE CULTUS, LAC KLUANE, YUKON).

par

Sylvain Parent

THESE PRESENTEE A
L'ECOLE DES ETUDES SUPERIEURES DE
L'UNIVERSITE D'OTTAWA
EN VUE DE L'OBTENTION DE
LA MAITRISE ES ARTS EN GEOGRAPHIE

UNIVERSITE D'OTTAWA

© Sylvain Parent, Ottawa, Canada, 1988.

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 0-315-46837-8



UNIVERSITÉ D'OTTAWA
UNIVERSITY OF OTTAWA

RESUME

Une étude spatio-écologique du paysage végétal d'une pessière a été menée sur la rive sud de la baie Cultus, lac Kluane, Territoire du Yukon. La recherche a pour but de circonscrire les facteurs abiotiques qui régissent la distribution spatiale des phytocénoses, de définir leur importance relative dans le milieu ainsi que de vérifier la récurrence spatiale des relations milieu abiotique/phytocénoses.

Afin de mettre en évidence les facteurs abiotiques primordiaux, une matrice de données, créée à partir d'un échantillonnage de l'aire d'étude, a été traitée par la méthode Pégase. Cinquante-cinq unités de paysage ont été circonscrites, chacune étant définie par une combinaison particulière de facteurs, un nombre déterminé d'observations et une entropie. Par la suite, trente-quatre unités de paysage ont été soumises à une analyse factorielle des correspondances dans le but de mettre en lumière les relations entre le milieu abiotique et les phytocénoses ainsi que les niches paysagiques de celles-ci.

Les résultats de l'étude révèlent un système phytocénotique moyennement organisé dans lequel une part importante de l'organisation totale du système demeure inconnue. L'analyse factorielle des correspondances a mis en évidence l'existence d'un gradient écologique de drainage ainsi que d'un gradient spatial d'échelonnement des phytocénoses. En outre, l'analyse factorielle a permis de définir la niche paysagique des phytocénoses présentes au sein de l'aire d'étude.

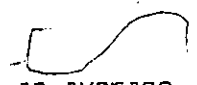


ABSTRACT

A spatial and ecological study of a spruce forest landscape has been undertaken on the southern bank of Cultus Bay, Kluane Lake, Yukon Territory. The research aims are as follows: identify the abiotic factors which control the spatial distribution of the plant communities, define their relative importance in the environment, and verify the spatial occurrence of the physical environment/plant communities relationships.

In order to bring to light the essential abiotic factors, a data matrix obtained through a thorough sampling of the study area was treated by the Pégase procedure. Fifty-five landscape units have been produced, each one characterized by a specific combination of factors, a precise number of sites, and an entropy. A correspondance analysis was then used with the thirty-four selected landscape units in order to reveal the relationship between the physical environment and the plant communities, and the landscape niches of those communities.

The results show a vegetational system with an average



organization in which an important portion of the total organization is left unknown. The correspondence analysis has indicated the existence of an ecological drainage gradient as well as a spatial gradient. Moreover, the correspondence analysis has enabled us to define the landscape niche of the five plant communities present in the study area.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma plus vive reconnaissance à mon directeur de thèse, M. Michel Phipps, pour m'avoir permis d'entreprendre la présente recherche malgré les aléas administratifs ainsi que pour m'avoir conseillé et avoir exprimé un grand intérêt pour le sujet. Mes remerciements vont en outre à mes dévoués collègues de terrain, MM. Robert Milne, Luc Carrier, Robert Fortin, Marc Renaud et Luc Beaudry. Je suis également très reconnaissant à M. et Mme Williams, de l'Arctic Institute of North America, pour leur aide et leur chaleureuse hospitalité et, particulièrement, à Marie-Luce qui a relu mon texte avec une attention exigeante qui m'a permis d'éliminer bien des imperfections ou des négligences. Que tous veuillent bien trouver ici l'expression de ma sincère gratitude.

La présente recherche a bénéficié de l'aide financière du Groupe de recherche nordique de l'Université d'Ottawa, sans laquelle le projet de recherche n'aurait vu le jour.

TABLE DES MATIERES

	PAGE
RESUME	ii
ABSTRACT	iv
REMERCIEMENTS	vi
TABLE DES MATIERES	vii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES ANNEXES	xii
INTRODUCTION	1
<u>Chapitre I</u> <u>Définition du cadre conceptuel</u>	
1.1 Problématique et but de la recherche	3
1.2 Hypothèse de recherche	7
1.3 Etudes antérieures et connexes	7
1.4 Précisions terminologiques	14
<u>Chapitre II</u> <u>Description de la région d'étude</u>	
2.1 Localisation géographique	17
2.2 Physiographie	19
2.3 Géologie	20
2.4 Géomorphologie	20
2.5 Climatologie	21
2.6 Ecologie	24
<u>Chapitre III</u> <u>Principes méthodologiques</u>	
3.1 Délimitation de l'aide d'étude	27
3.2 Phytocénoses	28
3.3 Variables environnementales	29
3.3.1 Variables édaphiques	30

3.3.2 Variables topographiques	44
3.4 Méthode Pégase	55
3.5 Analyse des correspondances - méthode	59
3.6 Classification - méthode	59
 <u>Chapitre IV Résultats</u>	
4.1 Traitement par la méthode Pégase	61
4.2 Résultats	62
4.2.1 Organigramme	64
4.3 Interprétation de l'organigramme	68
4.4 Analyse factorielle des correspondances	71
4.4.1 Classification des unités de paysage	71
4.4.2 Résultats et interprétation des facteurs	77
 <u>Chapitre V Discussion</u>	
5.1 Indétermination du système	88
5.2 Synthèse du milieu écologique	91
CONCLUSION	97
BIBLIOGRAPHIE	99
ANNEXES	106

LISTE DES FIGURES

	PAGE
Figure 1: Carte de localisation	18
Figure 2: Régime des précipitations annuelles moyennes, station de Burwash A, 1980-1985	22
Figure 3: Régime des précipitations nivales annuelles moyennes, station de Burwash A, 1980-1985	23
Figure 4: Profils pédologiques	33, 34
Figure 5: Courbe de perte d'indétermination	66
Figure 6: Organigramme	67
Figure 7: Dendrogramme de la classification	73
Figure 8: Perte de détail au cours des regroupements	74
Figure 9: Plan factoriel 1-2	78
Hors-texte: Photographie aérienne - baie Cultus	/

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 1: Fréquence relative des classes de matériel parental	31
Tableau 2: Fréquence relative des classes de sol	36
Tableau 3: Fréquence relative des classes de matériel pierreux	37
Tableau 4: Fréquence relative des classes de cendre volcanique	39
Tableau 5: Fréquence relative des classes de rochosité ...	40
Tableau 6: Fréquence relative des classes de texture Ah ..	41
Tableau 7: Fréquence relative des classes de drainage du sol	42
Tableau 8: Fréquence relative des classes de marbrures ...	43
Tableau 9: Fréquence relative des classes de pergélisol ..	44
Tableau 10: Fréquence relative des classes d'altitude relative	46
Tableau 11: Fréquence relative des classes de mésorelief parallèle	48
Tableau 12: Fréquence relative des classes de mésorelief perpendiculaire	49

Tableau 13: Fréquence relative des classes de microrelief .	50
Tableau 14: Fréquence relative des classes de pente	51
Tableau 15: Fréquence relative des classes d'orientation ..	53
Tableau 16: Fréquence relative des classes de drainage de la station	54
Tableau 17: Fréquence relative des classes de forme de terrain	55
Tableau 18: Contribution des variables à la néguentropie ..	63
Tableau 19: Matrice des fréquences relatives pour les classes de terrain	69
Tableau 20: Matrice des fréquences utilisées pour l'analyse factorielle	75,76
Tableau 21: Pourcentages respectifs des phytocénoses en fonction des groupes de la classification	76
Tableau 22: Matrice des notes factorielles	79
Tableau 23: Fréquence relative des phytocénoses en fonction des classes de terrain	83
Tableau 24: Entropie conditionnelle et spécificité des phytocénoses	84

LISTE DES ANNEXES

	PAGE
Annexe 1: Variables environnementales	106
Annexe 2: Phytocénoses	112
Annexe 3: Photographies des phytocénoses	114

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, les régions nordiques suscitent l'intérêt croissant des divers appareils administratifs et politiques, des industriels, du corps scientifique et du public, qui conçoivent les nombreux écosystèmes nordiques de manière différente et parfois diamétralement opposée. Ces intérêts ont engendré une exploitation diversifiée des régions boréales qui sont devenues des sources d'énergie (bois, hydro-électricité, etc.), de minéral et de loisir. L'exploitation des ressources a eu comme corollaire la création de besoins d'infrastructure, de routes, etc. Sous l'impulsion de tels besoins, des zones délimitées font l'objet d'aménagements dont l'existence et les exigences immédiates ont inévitablement des répercussions sur le milieu: érosion des sols, surexploitation, pollution des sols et des eaux, etc. Toutefois, ces aménagements ne comportent pas que des aspects négatifs. L'aménagement de zones de conservation constitue un exemple positif de l'activité humaine dans le Nord. Or, nombre de scientifiques et de gestionnaires reconnaissent la nécessité d'accroître nos connaissances sur les milieux

nordiques, notamment leur structure, leur fonctionnement et leur dynamisme, dans le but de favoriser une exploitation de ces ressources axée sur leur conservation ainsi que d'éviter ou, tout au moins, de minimiser toute perturbation de ces milieux.

Dans ce contexte, la présente recherche, qui s'inspire directement de l'écologie du paysage, contribue à la connaissance des milieux nordiques. Nous nous proposons en effet d'étudier la relation qui existe entre différents types de phytocénoses, floristiquement et spatialement distinctes, et les conditions de leur biotope. En outre, cette relation nous permettra, d'une part, de définir un certain niveau d'organisation écologique des phytocénoses et, d'autre part, de circonscrire les facteurs environnementaux les plus importants qui interviennent dans leur écologie. La mise en relation entre le milieu abiotique et les phytocénoses sera effectuée à l'aide d'une méthode analytique de traitement des données (Pégase) fondée sur des concepts de la théorie de l'information.

CHAPITRE I

DEFINITION DU CADRE CONCEPTUEL

1.1 Problématique et but de la recherche

Depuis plusieurs décennies, le principal courant de l'écologie a produit des recherches écosystémiques (Odum, 1962, 1969; etc.) qui s'appliquent à des espaces plus ou moins homogènes ou, en tout cas, dont l'hétérogénéité n'est pas explicitement prise en considération. En revanche, l'importance d'une hétérogénéité spatiale et temporelle dans un paysage est une notion avancée, de plus en plus souvent, par l'écologie du paysage. Ainsi, la nécessité de tenir compte du concept de patron spatial à l'intérieur des systèmes écologiques ainsi que des conséquences de ce patron sur la dynamique et la persistance des paysages s'impose peu à peu - (Forman et Godron, 1986). Ce renouveau d'intérêt pour le paysage, dont témoigne le nombre de rencontres internationales sur ce thème, s'inscrit dans la foulée d'une tradition bien établie, biogéographique notamment, ainsi

que de divers courants d'idées modernes (Neef, 1981). Cette complexité idéologique a engendré, selon Veen (1985), trois approches différentes de l'écologie du paysage qui, rappelons le, a pour objectif d'étudier la structure, le fonctionnement et le dynamisme d'espaces écologiquement hétérogènes.

La première de ces approches, de nature empirique, considère un paysage comme une surface, de dimensions kilométriques, dont les éléments ou écosystèmes interagissent perpétuellement. Ces interactions sont précisément l'objet des recherches (Forman, 1982). Comme certains auteurs se sont empressés de le souligner, la structure et le fonctionnement du paysage sont grandement tributaires de propriétés spatiales générales, telles que la forme et la taille des éléments de la mosaïque du paysage (Forman et Godron, 1981), de la proximité spatiale et de la connectivité de ces éléments (Merriam, 1984) ou, encore, des liens de causalité milieu abiotique - milieu biotique (Risser et al., 1984). La majorité de ces recherches visent donc l'écologie des communautés ou la dynamique des populations au sein du paysage. Il est évident que cette approche suscite l'élaboration de nouveaux concepts.

Une autre approche, toujours selon Veen (1985) et également de nature empirique, considère un paysage comme un système

d'interactions, entre éléments du paysage et au sein de ceux-ci, régi par des conditions imposées par un ou plusieurs systèmes hiérarchiquement supérieurs (ex.: cycle de l'eau, processus géomorphologiques à grande échelle) (Vink, 1983). Cette approche est fondée sur le principe directeur selon lequel la compréhension des phénomènes présents au niveau du paysage n'est pas uniquement tributaire de l'analyse des processus qui ont leur origine au sein même du paysage. Il en résulte une vision beaucoup plus globale du paysage.

S'inspirant de la théorie générale des systèmes, la dernière approche, qualifiée d'holistique, étudie un modèle de relations liant, au sein du paysage, des ressources disponibles (eau, nutriments, énergie, etc.) et des communautés biotiques différentes. Au coeur de cette approche se trouve donc l'idée d'organisation spatiale-écologique du paysage (Van Leeuwen, 1966; Kwakernaak, 1982; Phipps, 1981a, 1981b, 1984; Berdoulay et Phipps, 1985), laquelle permet également d'étudier son dynamisme. Phipps (1984) distingue trois types d'organisation du paysage: une organisation spatiale-écologique proprement dite, où la végétation est le reflet des conditions du milieu abiotique et sa récurrence entièrement prévisible, une organisation topologique, où les interactions spatiales ont une incidence sur la distribution des communautés, et, en dernier lieu, une

organisation spatiale-écologique et topologique, où les deux types précédents d'organisation coexistent. Ces trois types d'organisation spatiale-écologique régissent l'ensemble des paysages. L'écologie du paysage doit donc accorder une attention particulière à cette approche car, selon Veen (1985), celle-ci contribuera fortement à l'élaboration d'une théorie globale en écologie du paysage. Notre recherche s'inscrit précisément dans cette question.

La végétation serait-elle le reflet des conditions du milieu abiotique? S'agirait-il plutôt de relations "lâches" où les phytocénoses ont réussi partiellement à s'autonomiser par rapport aux contraintes imposées par le milieu grâce à des mécanismes "d'expansion" (Risser et al., 1984)? Dans une telle situation, il devient intéressant de savoir comment se traduit spatialement et globalement cette autonomisation et quels sont le mode et le degré d'organisation spatiale-écologique du paysage (Phipps, 1984). Nous nous proposons donc, dans le cadre de la présente recherche, d'étudier la récurrence des relations au sein du paysage entre, d'une part, certaines combinaisons de caractères abiotiques et, d'autre part, les phytocénoses qui colonisent le milieu.

La présente recherche a donc pour objectif de circonscrire

les facteurs abiotiques qui régissent la distribution spatiale des phytocénoses, de définir leur importance relative dans le milieu ainsi que de vérifier la récurrence spatiale des relations milieu abiotique/phytocénoses.

1.2 Hypothèse de recherche

Dans un paysage évolué, les phytocénoses développées du point de vue physiologique (ex.: la pessière dense à Rhytidium rugosum) possèdent la niche paysagique la moins spécifique. Cette hypothèse sera vérifiée ou invalidée en soumettant les données de l'échantillonnage à un traitement informatique selon les logiciels Pégase (Partition d'un Ensemble Géographique/Analyse Spatiale Ecologique) et AFCOR (Analyse factorielle des correspondances).

1.3 Etudes antérieures et connexes

La présente recherche s'inscrit dans la foulée et s'inspire théoriquement de divers travaux menés en écologie du paysage, tant en Europe qu'en Amérique du Nord. Une brève revue des études phytosociologiques menées dans la région s'impose donc afin de dresser un tableau général des principales phytocénoses ainsi que de leurs stades successionnels. Ces précisions se révèlent

particulièrement pertinentes car elles confirment l'existence des phytocénoses trouvées au sein de l'aire d'étude.

On relève au cours des dernières années plusieurs études phytosociologiques effectuées dans le sud-ouest du Yukon. Ainsi, Douglas (1974) a étudié la végétation montagnarde dans la région de la rivière Alsek à l'aide d'une technique de reconnaissance rapide. L'étude a permis de circonscrire vingt-et-un types majeurs de communautés dont dix communautés arborescentes, six communautés arbustives et cinq communautés herbacées. Parmi les communautés arborescentes, Douglas distingue cinq communautés dominées uniquement par Picea glauca, dont quatre, selon l'auteur, sont climaciques, une communauté subclimacique dominée par Picea glauca et Populus tremuloides et quatre communautés où dominant soit Populus balsamifera, Populus tremuloides ou Salix scouleriana. Ces phytocénoses arborescentes sont fréquemment accompagnées par Shepherdia canadensis, Linnaea borealis et Arctostaphylos uva-ursi. En outre, l'auteur fait remarquer l'existence de deux types structuraux de phytocénoses climaciques à Picea glauca et Shepherdia canadensis: l'une fermée, l'autre ouverte. Au nombre des phytocénoses herbacées, deux communautés se distinguent des autres: la communauté pionnière à Artemisia alaskana ainsi que la communauté à Calamagrostis purpurascens. L'auteur mentionne, entre autres, l'absence inexplicquée de Picea

mariana de la région et la riche diversité de cette forêt boréale.

Birks (1977), pour sa part, a entrepris une étude de la végétation de la région à l'est du glacier Klutlan dans les monts St.-Elias en faisant appel aux méthodes européennes de phytosociologie, telles que modifiées par Dahl (1957). Quatre types majeurs de végétation sont ressortis de cette étude: une toundra arbustive à Betula glandulosa, une toundra à Dryas integrifolia, puis deux communautés arborescentes qui présentent des liens de similitude avec deux communautés décrites par Douglas, soit une forêt à Picea glauca, Betula glandulosa et Salix glauca et une phytocénose à Populus balsamifera, Shepherdia canadensis, Rosa acicularis et Arctostaphylos uva-ursi. Quelques années plus tard, Birks (1980) étudiait la végétation qui colonise les moraines terminales du glacier Klutlan à l'aide des mêmes méthodes. Au cours de cette étude, Birks a défini deux types de successions primaires, soit la série évolutive qui débute par la communauté dominée par Crepis nana suivie de Dryas drummondii et d'une communauté buissonnante à Salix et Shepherdia canadensis, puis de phytocénoses forestières à Picea glauca et Salix, à Picea glauca et Arctostaphylos uva-ursi, à Picea glauca et Ledum palustre, et à Picea glauca et Rhytidium rugosum. Cette succession végétale est caractéristique des milieux à pente nulle

ou très faible. Toutefois, lorsque la pente est plus abrupte, la succession végétale est sensiblement la même, à l'exclusion des premières communautés où Crepis nana est supplantée par Hedysarum mackenzii, qui cède ultérieurement la place à une communauté à Hedysarum mackenzii et à Salix, puis à une communauté buissonnante à Salix et à Shepherdia canadensis. Les phytocénoses qui suivent sont semblables à celles énumérées ci-dessus. En outre, Birks a circonscrit neuf phytocénoses différentes de celles qui avaient été étudiées quelques années auparavant. Dans cette région, Birks signale la présence d'une communauté ouverte à Picea glauca, Shepherdia canadensis et Arctostaphylos uva-ursi ainsi que d'une phytocénose à Picea glauca et à Salix glauca, lesquelles ont été antérieurement décrites par Douglas. Parmi les autres phytocénoses dignes de mention, on retrouve une communauté fermée à Picea glauca et à Ledum palustre, une communauté ouverte à Picea glauca et à Rhytidium rugosum, puis une communauté arbustive à Salix glauca et à Shepherdia canadensis.

En milieu nettement moins alpin cette fois-ci, Orloci et Stanek (1979) ont étudié la végétation qui borde la route de l'Alaska, à l'aide de la méthode des relevés de Braun-Blanquet, en guise d'étape préliminaire de la construction d'un gazoduc. Il convient de faire remarquer que la route de l'Alaska traverse cinq écorégions (Oswald et Senyk, 1977) et que celle qui nous

intéresse plus particulièrement est l'écorégion de la chaîne Ruby. Au sein de cette écorégion, Orloci et Stanek ont circonscrit sept phytocénoses importantes. En milieu très humide, en présence d'un pergélisol près de la surface, les auteurs signalent l'existence d'une communauté dominée par Picea mariana et Rhytidium rugosum alors qu'en milieu humide où le pergélisol est absent Picea mariana et Vaccinium uliginosum dominent. En milieu bien drainé, toutefois, Orloci et Stanek ont remarqué la présence de communautés à Picea glauca, Shepherdia canadensis, Arctostaphylos uva-ursi et Festuca altaica. Ce dernier type s'apparente à des communautés décrites par Birks (1980) et Douglas (1974). En outre, Orloci et Stanek ont retrouvé la communauté arbustive à Salix glauca décrite par Douglas (1974). Parmi les communautés herbacées les plus étendues, on remarque la communauté à Artemisia frigida, Calamagrostis purpurascens, Pulsatilla patens et Rosa acicularis. Une autre étude d'envergure a été entreprise par Hoefs, Cowan et Krájina (1975) qui ont concentré leurs travaux sur les communautés végétales du mont Sheep dans le cadre d'un programme de gestion de la faune ongulée. En utilisant la méthode des relevés de Braun-Blanquet, les auteurs ont fait apparaître trente-deux associations végétales groupées en vingt-trois alliances et en dix-sept ordres. Parmi ces associations, on remarque la communauté de transition, selon les auteurs, dominée par Populus tremuloides,

Rosa acicularis et Shepherdia canadensis. Cette communauté forme fréquemment une étroite bande de végétation entre une pelouse sèche et la forêt climacique à Picea glauca. En outre, on retrouve la phytocénose chamaephytique à Calamagrostis purpurascens et Arctostaphylos uva-ursi, très fréquente dans la région en milieu bien drainé, puis la communauté très répandue à Picea glauca et Hypnum procerrimum, qualifiée de climacique selon Hoefs, Cowan et Krajina. En somme, ces diverses études brossent un tableau phytocénotique général qui vient corroborer l'existence des communautés végétales de l'aire d'étude.

En sus des travaux phytosociologiques, des études écologiques ont été menées sur les divers écosystèmes forestiers du nord-ouest de l'Amérique du Nord. Bien qu'elles aient été essentiellement effectuées en Alaska, ces études n'en conservent pas moins toute leur pertinence. Au nombre de ces études, on remarque celle de Varie (1983) qui porte sur la relation entre, d'une part, l'état des nutriments et la température des sols et, d'autre part, la structure et le dynamisme de la végétation. Varie a conclu que Picea mariana dominait généralement les stations à faible productivité, alors que Picea glauca et certains feuillus (ex.: Populus tremuloides, Populus balsamifera) se retrouvaient dans les stations de meilleure qualité. Les travaux de Viereck et al. (1983) et de Van Cleve et al. (1983)

corroborent les conclusions de Yarie et appuient l'hypothèse selon laquelle les peuplements de Picea mariana sont associés à des sols pauvres et que leur faible productivité résulte surtout de la basse température et du haut niveau d'humidité du sol ainsi que de la faible activité des décomposeurs. En milieu boréal, le phénomène de l'appauvrissement du milieu en azote est fréquent. En raison de la basse température du sol, la décomposition et la minéralisation de la matière organique morte est fortement ralentie, parfois interrompue. Ce ralentissement engendre une accumulation de nutriments qui, sous la forme où ils se présentent, sont pratiquement non assimilables par la végétation. D'année en année, ces nutriments s'accumulent dans le sol, privant ainsi les végétaux d'éléments essentiels à leur croissance. Ces conditions sont donc responsables de la faible productivité de certains peuplements (Larsen, 1980).

Le Territoire du Yukon a également fait l'objet, au cours des décennies, d'études botaniques. Au nombre de celles-ci, mentionnons, à titre indicatif, les travaux de Raup (1945), Hulten (1941-1950, 1968), Drury (1953), Johnson et Raup (1964), Porsild (1966), Rowe (1972), Bird (1974), etc.

Du point de vue de l'écologie du paysage, à l'exception de celle de Price (1971), aucune recherche fondée sur l'étude de la

structure, du fonctionnement et de la dynamique d'espaces hétérogènes ou encore sur l'organisation spatiale-écologique du paysage n'a été menée au Yukon. Dans le cadre d'une étude biophysique d'une toundra alpine au sein de la chaîne Ruby, Price (1971) s'est penché sur la structure de la végétation qui colonisait divers versants en fonction de divers facteurs du milieu tels que l'orientation du versant, la présence de lobes de solifluxion, le microrelief, etc. Cette étude biophysique menée par Price se distingue de l'ensemble des recherches par son approche paysagique. Les diverses études écologiques susmentionnées, par contre, se contentent, et tel était leur objectif, de dresser un inventaire des phytocénoses ou d'établir des liens de causalité entre deux phénomènes. La notion de paysage n'apparaît pas.

1.4 Précisions terminologiques

A ce stade, nous croyons qu'il convient de clarifier quelques termes employés dans cette recherche. Nous parlons à plusieurs reprises de "paysage". Nous entendons ici par ce terme la portion de territoire caractérisée par un patron ("pattern") propre du relief, de la forme du terrain, des matériaux géologiques de surface, des sols, de la végétation et des plans d'eau. A l'intérieur d'un même paysage, on distingue des

"phytocénoses" qui correspondent à des assemblages d'espèces végétales, relativement bien définies et constantes, caractérisées par l'existence d'interactions entre les diverses espèces présentes et entre celles-ci et le milieu abiotique. En outre, nous entendons par "milieu abiotique" l'ensemble des caractères intrinsèques d'un biotope, d'ordre physique ou chimique (ex.: pente, orientation, matériel parental, etc.), qui déterminent les conditions édaphiques et climatiques (ex.: rayonnement incident, etc.) d'existence des phytocénoses. Ces caractères régissent le niveau de disponibilité des ressources susceptibles d'être assimilées par les phytocénoses et présentent des interactions au sein d'une sphère que l'on pourrait désigner sous le nom d'"abiosphère". Par "unité de paysage" nous entendons toute portion du paysage définie, selon le logiciel Pégase, par une combinaison particulière de caractères abiotiques, donc offrant un certain niveau de ressources et qui se révèle, empiriquement, porteuse d'une certaine phytocénose ou de plusieurs d'entre elles. Enfin, il s'impose de définir l'expression "niche paysagique". Il s'agit des relations privilégiées, qui s'expriment spatialement au sein du paysage, entre une phytocénose particulière et les facteurs abiotiques. Les niches paysagiques peuvent être définies à l'aide de l'analyse factorielle des correspondances et évaluées par l'entropie conditionnelle de l'environnement, qui correspond à la

diversité de l'environnement utilisée par cette phytocénose par rapport à la diversité de l'environnement disponible.

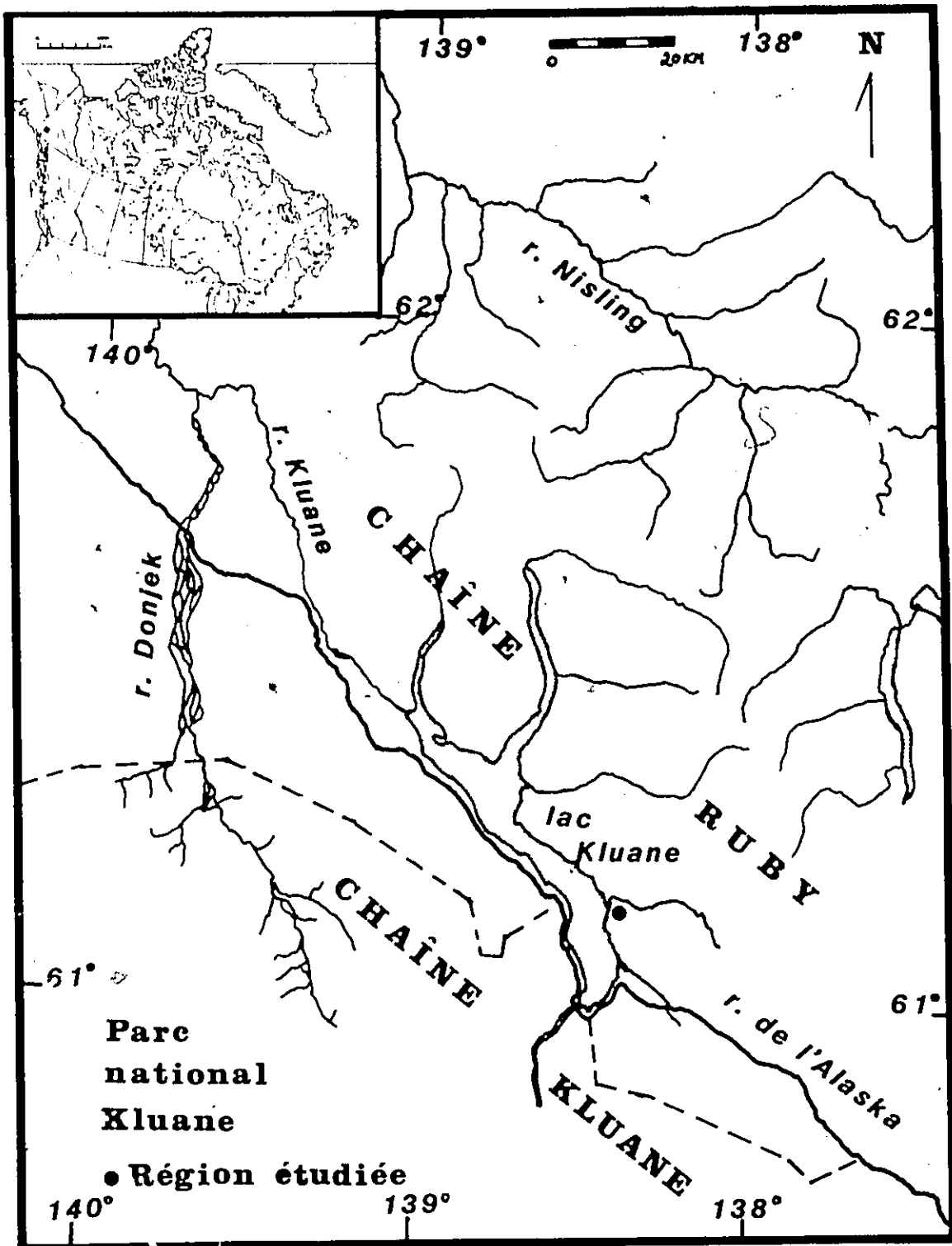
CHAPITRE II

DESCRIPTION DE LA REGION D'ETUDE

2.1 Localisation géographique

Sise approximativement à 250 km au nord-ouest de Whitehorse, Territoire du Yukon, la région d'étude est située sur la rive sud de la baie Cultus, lac Kluane, soit environ à 61°09' de latitude nord et à 138°25' de longitude ouest (figure 1). Caractérisée par une altitude variant entre 790 et 850 m, la zone d'étude s'étend au pied des collines Kluane, à l'intérieur de la vallée que constitue la tranchée Shakwak. Orientée suivant un axe sud-est-nord-ouest, la vallée Shakwak sépare deux régions physiographiques importantes: d'une part le plateau du Yukon qui s'étend au nord-ouest, dont la chaîne Ruby constitue les contreforts, et, d'autre part, les monts St.-Elias qui s'élèvent au sud-ouest (Muller, 1967; Bostock, 1972).

Fig. 1: Carte de localisation





Photographie aérienne - baie Cultus

2.2 Physiographie

Du point de vue de la physiographie, la vallée Shakwak constitue un immense couloir qui divise deux régions montagneuses importantes. D'une longueur de plus de 320 km et d'une largeur maximale de 16 km à proximité de l'extrémité sud-est du lac Kluane, cette vallée s'étend de la rivière Primrose, à l'est du lac Kusawa, jusqu'au-delà de la rivière White, où elle disparaît dans une immense vallée (Bostock, 1948). Au sud-ouest de la vallée Shakwak s'élève le massif des monts St.-Elias. Les montagnes qui forment ce massif sont recouvertes d'importantes masses et d'immenses étendues de glace et de neige. Les principaux sommets forment des groupes un peu isolés, séparés par de larges vallées comblées de glaciers aux altitudes supérieures à 2440 mètres. Alimentés par les précipitations des masses d'air qui proviennent de l'océan Pacifique, les champs de glace donnent naissance à plusieurs grands glaciers de vallées qui descendent jusqu'à l'océan le long de la côte de l'Alaska et vers la vallée Shakwak. Enfin, au nord-est de ce massif montagneux s'élèvent les contreforts du massif, les monts Kluane (Bostock, 1972). Au nord-ouest, la vallée Shakwak est bordée par le plateau du Yukon qui a la forme d'un bassin peu prononcé, dont la partie centrale s'élève à environ 1220 m. Le plateau du Yukon consiste en plusieurs subdivisions fondées sur les caractéristiques liées à

la dernière glaciation (Bostock, 1948).

2.3 Géologie

En matière de géologie, il convient de noter que les monts St.-Elias consistent en un eugéosynclinal composé de roches sédimentaires, volcaniques et intrusives où des fossiles, quoique peu abondants, ont permis d'établir une chronologie qui s'échelonne du Dévonien au début du Tertiaire. Contreforts du plateau du Yukon, la chaîne Ruby, pour sa part, est un batholite granitique intrusif (Bostock, 1948; Muller, 1967). A l'ouest de la vallée Brooks, les roches granitiques cèdent cependant la place à un assemblage de roches métamorphiques (Muller, 1967).

2.4 Géomorphologie

La rive sud de la baie Cultus est caractérisée par une topographie typique d'une terrasse de kame parsemée de kettles. Le paysage paraglaciale, vestige de la glaciation de Kluane, est attribuable à l'isolation et la fusion de culots de glace morte lors de la déglaciation. Ces phénomènes ont donc donné naissance à un paysage qui se prête bien à notre type de recherche. A l'intérieur de ce paysage, une zone d'une superficie de 0,17 km² a été délimitée aux fins de la présente étude.

2.5 Climatologie

Malgré la faible distance (environ 137 km) qui la sépare de l'océan Pacifique, la région étudiée possède un climat continental en raison de la présence des monts St.-Elias qui font obstacle à l'arrivée de masses d'air relativement chaud et humide provenant de l'océan Pacifique. Par conséquent, les précipitations sont faibles en raison d'un effet de Foehn, soit environ entre 220 et 300 mm par an (Service de l'environnement atmosphérique, 1984) en moyenne (station de Burwash A, (figure 2)), tandis que les températures témoignent d'un climat rigoureux. La température annuelle moyenne de la région est de $-3,9^{\circ}\text{C}$. En outre, la température annuelle de juillet est de 12°C , alors que celle de janvier est d'environ -21°C (Kendrew et Kerr, 1955). Au cours de l'hiver, les précipitations nivales de la région sont généralement peu élevées (figure 3) et se concentrent essentiellement au cours des mois d'octobre à avril. Le manteau nival (figure 3), toutefois, persiste d'octobre à mars, avec une épaisseur moyenne maximale d'environ quinze centimètres en février. A cette latitude, la durée du jour est passablement longue au cours de l'été, tandis qu'en hiver, l'inverse se produit. En effet, selon Smith et Thomson (1958), la durée du jour le 30 juin est de 19 heures 11 minutes, comparativement à 5

Fig. 2: Régime des précipitations annuelles moyennes,
station de Burwash A, 1980-1985

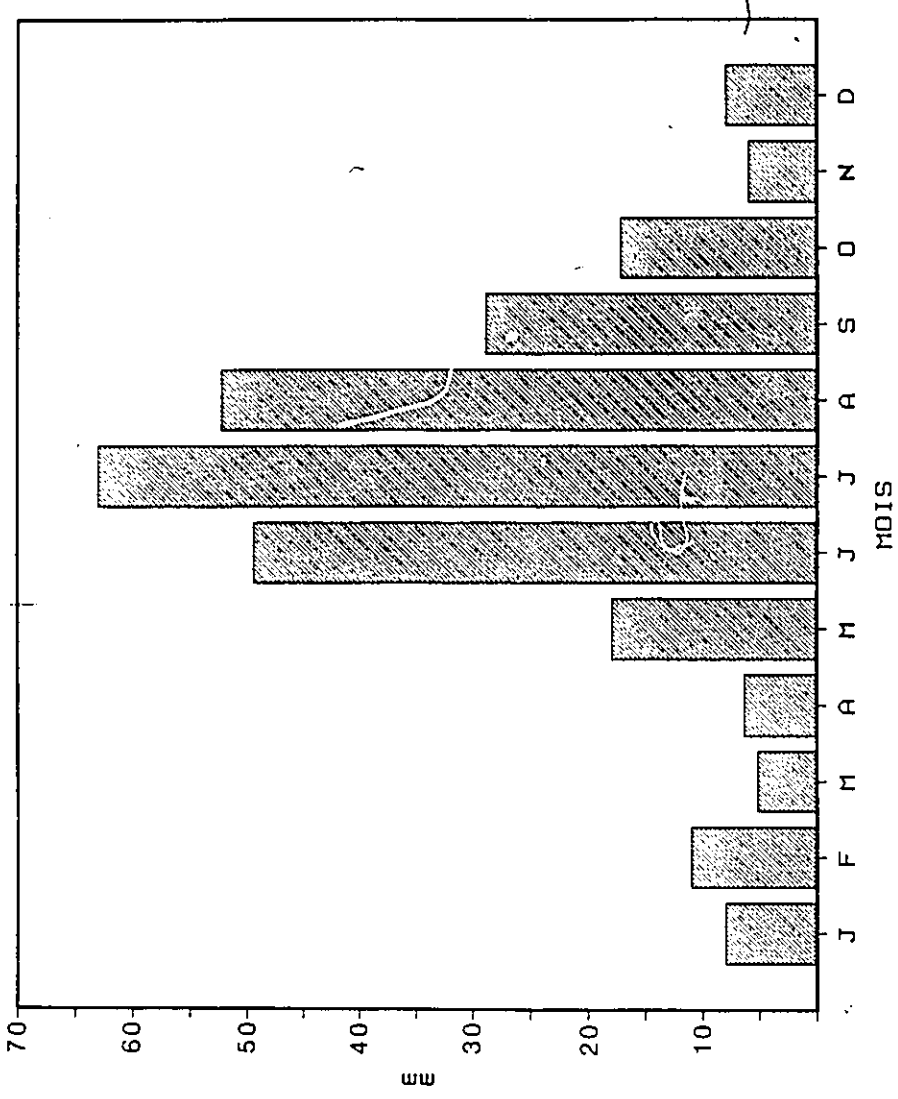
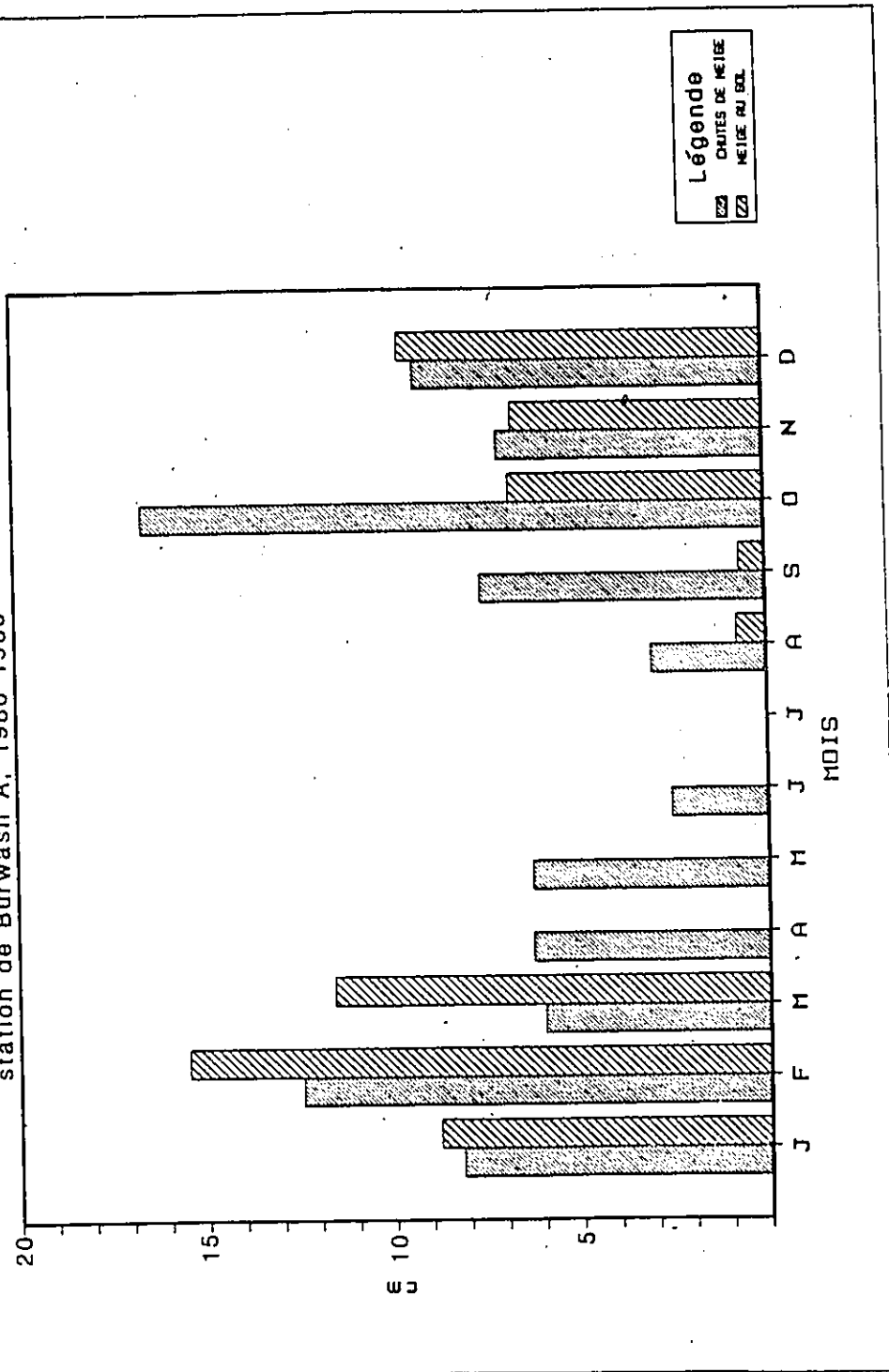


Fig. 3: Régime des précipitations nivales annuelles moyennes, station de Burwash A, 1980-1985



heures 42 minutes le 1er janvier. Ce phénomène a pour conséquence des écarts réduits de température durant la journée et des écarts accrus de température annuelle.

2.6 Ecologie

Du point de vue de l'écologie, la région étudiée s'inscrit d'abord dans l'écozone de la cordillère boréale (Bird et Rapport, 1986; Wiken, 1986). Au Yukon, cette écozone occupe une superficie de 218 235 km², soit 2,19% du territoire canadien. Par écozone, Bird et Rapport entendent tout

un système discret constitué par l'interaction des formes du relief (géographie physique), de l'eau, des sols, de la végétation, du climat, de la faune et de diverses interventions humaines.

En outre, le territoire du Yukon se subdivise en vingt-deux écorégions, dont celle qui nous intéresse plus particulièrement: l'écorégion de la chaîne Ruby (Oswald et Senyk, 1977). Comme le précisent les études phytocécologiques mentionnées au chapitre précédent, cette écorégion très hétérogène est caractérisée du point de vue floristique par la présence de Picea glauca

(Moench), Voss, Shepherdia canadensis (L.) Nutt. et Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng. en milieux xériques et bien drainés, tandis que Picea mariana (Mill.) B.S.P. recherche les milieux humides (Orloci et Stanek, 1979).

CHAPITRE III

PRINCIPES METHODOLOGIQUES

Rappelons que l'objectif de la présente recherche consiste à mettre en évidence au sein du paysage les relations écologiques entre, d'une part, le milieu abiotique et, d'autre part, les phytocénoses qui le colonisent. Dans ce contexte, nous avons adopté une approche méthodologique dans laquelle les communautés végétales ont été circonscrites sur le terrain et des mesures qualitatives (ex.: drainage de la station, altitude relative, etc.) ainsi que quantitatives (ex.: pente, orientation, etc.) ont été effectuées. En outre, ces deux types d'information ont été mis en relation grâce à la méthode Pégase et à une analyse factorielle des correspondances dans le but de cerner les relations écologiques, ainsi que leur ampleur, qui existent au sein de ce paysage.

3.1 Délimitation de l'aire d'étude

Une zone d'une superficie de 0,17 km² a été délimitée au sein du paysage situé sur la rive sud de la baie Cultus. La complexité environnementale de ce paysage, exprimée en termes d'entropie maximale (Hmax), s'élève à 1,61 et l'entropie initiale (Ho) du milieu abiotique au sein de l'aire d'étude, c'est-à-dire lorsque aucune contrainte n'est exercée par un ou plusieurs facteurs physiques, est de 1,54. L'entropie relative (Hr = Ho/Hmax) calculée à partir de ces deux paramètres témoigne de la représentativité de l'aire d'étude par rapport au paysage global, car 96% de la complexité totale de l'environnement paysagique est reflétée par l'aire d'étude.

Cette portion du paysage a été hachurée, suivant un axe ouest-est, de vingt-neuf transects, séparés de quinze mètres, le long desquels s'échelonnaient vingt-huit sites, distants les uns des autres de quinze mètres également. Le choix de cette distance de quinze mètres entre les sites s'explique d'abord par le morcellement des phytocénoses et par l'échelle de la variation des facteurs abiotiques dans l'espace. Une distance inférieure à quinze mètres aurait considérablement accru le nombre de sites sans pour autant apporter de nouvelles connaissances tandis qu'un

écart supérieur risquait d'engendrer l'omission de certains phénomènes. Cette approche a permis de créer une grille de 420 mètres de longueur sur 405 mètres de largeur et à l'intérieur de laquelle on compte au total 812 sites. Cette matrice serrée permet de bien faire ressortir les phénomènes physiques présents ainsi que d'éviter, dans une certaine mesure, que certains des facteurs écologiques soient sous-évalués.

3.2 Phytocénoses

Sept communautés végétales distinctes ont été identifiées dans le milieu. Décrites antérieurement par divers auteurs (Douglas, 1974; Hoefs, Cowan et Krajina, 1975; Birks, 1977; Orloci et Stanek, 1979; Birks, 1980), ces phytocénoses, accompagnées de leurs cortèges floristiques respectifs, sont les suivantes (voir également annexes 2 et 3):

Pessière dense: Picea mariana (Mill.) B.S.P.; Linnaea borealis L. ssp. americana (Forbes) Hult.; Petasites hyperboreus Rydb.; Rhytidium rugosum;

Pessière ouverte: Picea glauca (Moench) Voss; Shepherdia canadensis (L.) Nutt.; Rosa acicularis Lindl.; Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng.; Pulsatilla patens (L.) Mill. ssp.

multifida (Pritz.) Zamels;

Tremblaie: Populus tremuloides Michx.; Populus balsamifera L.;
Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng.; Rosa acicularis Lindl.;
Epilobium angustifolium L.; Calamagrostis purpurascens R. Br.;
Shepherdia canadensis (L.) Nutt.;

Pelouse sèche: Artemisia alaskana Rydb.; Carex nardina E. Fries.;
Penstemon gormanii Greene;

Pelouse sèche à Carex nardina E. Fries.;

Communauté à Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng.; Calamagrostis purpurascens R. Br.; Pulsatilla patens (L.) Mill. ssp. multifida (Pritz.) Zamels;

Communauté à Salix ssp.; Epilobium angustifolium L.; Mertensia paniculata (Ait.) G. Don.

3.3 Variables environnementales

En sus du type de phytocénose, deux ensembles de variables environnementales (voir annexe 1) ont été définis afin de circonscrire les phénomènes physiques présents ainsi que leur

importance écologique, soit neuf variables édaphiques et huit variables de nature topographique.

3.3.1 Variables édaphiques

3.3.1.1 Matériel parental (MP)

Dans la région de la baie Cultus, le recul des glaciers s'est accompagné du dépôt d'une couche de matériel fluvioglaciale à laquelle s'est superposée ultérieurement une couche de loess éolien. Ces deux couches de matériaux constituent le matériel parental, c'est-à-dire le matériel original à partir duquel le sol s'est formé sous l'action des agents pédogénétiques. Le matériel parental présente des caractères morphologiques variés. En effet, le matériel fluvioglaciale est parfois situé à une profondeur supérieure à 50 cm et surmonté d'une épaisse couche de loess (MP0). Deux cent trente sites sont caractérisés par ce type de matériel. Dans un grand nombre de cas (tableau 1), le matériel fluvioglaciale est de nature pierreuse et se trouve à une profondeur inférieure ou égale à 50 cm (MP1). La couche de loess sus-jacente est en conséquence moins épaisse. Comme l'indique le tableau 1, la troisième classe (MP2) est assez fréquente et correspond à un matériel fluvioglaciale encore

plus pierreux, recouvert d'une faible couche de loess. La quatrième classe (MP3) est presque inexistante. En effet, seuls quatre sites répondent aux caractéristiques préalablement établies, soit un matériel fluvio-glaciaire sableux, peu profond, surmonté d'une faible couche de loess. La dernière classe (MP4), enfin, représente les sites où le matériel fluvio-glaciaire n'a pas été atteint en raison de la présence d'un pergélisol.

TABLEAU 1
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES DE
MATERIEL PARENTAL (MP)

Classes	MP0	MP1	MP2	MP3	MP4
%	28,7	35,3	31,4	0,01	0,04

3.3.1.2 Sols (S)

Au sein du paysage étudié, les sols s'inscrivent dans l'ordre des régosols et dans celui des cryosols, soit des sols généralement peu évolués. Les sols régosoliques sont les plus fréquents et sont caractérisés par un profil peu développé. Leur drainage est généralement excellent à imparfait. Les sols cryosoliques, pour leur part, sont peu fréquents et sont

essentiellement caractérisés par la présence d'un pergélisol à moins d'un mètre de la surface du sol (Commission canadienne de pédologie, 1978).

L'échantillonnage de l'aire d'étude a permis de définir treize types de sol selon leurs caractères morphologiques (voir figure 4). Seuls les cinquante premiers centimètres de sol ont été échantillonnés. L'ensemble de ces sols se subdivise en trois groupes distincts, chacun caractérisé par un profil pédologique particulier. Comme le démontre le tableau 2, le premier groupe réunit les sols dont le profil pédologique ne comporte qu'un seul horizon. Ainsi, le sol cryosolique S01 est caractérisé par un horizon organique (H), noir et gras au toucher, surmontant un pergélisol. Ce sol est très peu fréquent. Le deuxième sol de ce groupe (S02), également très peu rencontré, possède un horizon Bh rouge, constitué d'une épaisse couche de loess. Le sol S03, pour sa part, est caractérisé par un horizon Bh ou un C peu profond. Le matériel fluvio-glaciaire est pierreux et très pierreux. En outre, ce sol est plus fréquent que les deux sols précédents.

Le deuxième groupe de sols, caractérisés par un profil pédologique à deux horizons, compte six sols différents. Le premier de ces sols (S04), assez fréquent, présente un profil à deux horizons: Ah et Bh. On retrouve ce sol dans toutes les

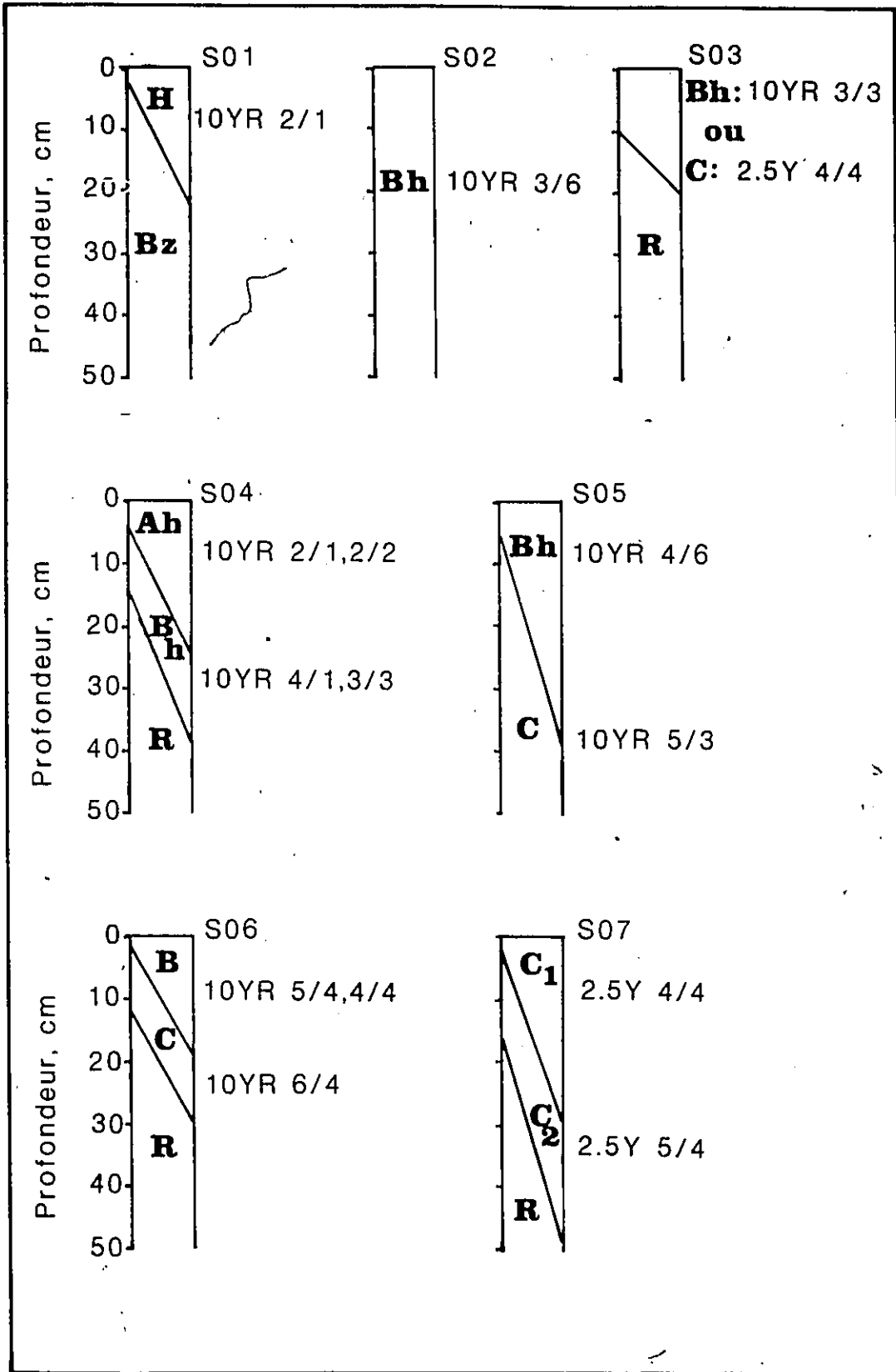


Figure 4: Profils pédologiques

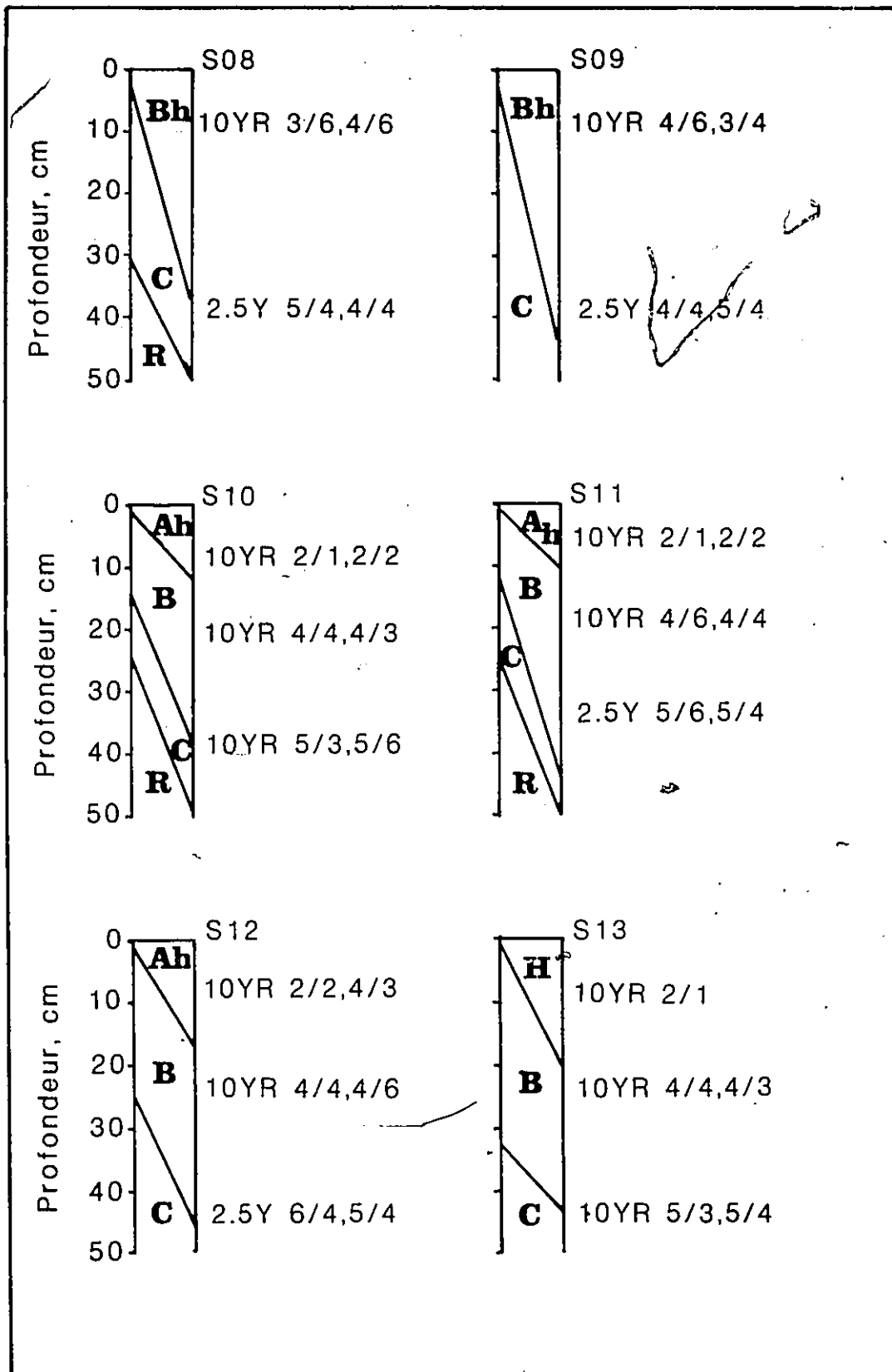


Figure 4: Profils pédologiques

conditions écologiques. Par contre, le sol S05 possède un profil différent (horizons Bh et C) où la couche de loess est très épaisse et où le matériel fluvio-glaciaire est situé à plus de 50 cm de profondeur. Toutefois, ce sol est très peu fréquent: seuls dix-neuf sites présentent ce type de profil. Légèrement plus fréquent, le sol S06 (figure 4) possède deux horizons (B et C) caractérisés par un matériel fluvio-glaciaire surtout pierreux, parfois très pierreux. Situé sur les terrasses, le sol S06 n'atteint jamais une épaisseur supérieure à 30 cm. Semblable au sol précédent mais de couleur entièrement jaune, le sol S07 se rencontre très peu. Le sol S08, cependant, est le plus fréquent de tous les sols. Ses caractéristiques pédologiques - horizons Bh et C, matériel fluvio-glaciaire pierreux et très pierreux, parfois profond - le font rencontrer un peu partout par opposition au sol S09, peu fréquent, dont les horizons B et C surmontent un matériel fluvio-glaciaire demeuré introuvable.

Le troisième et dernier groupe de sols, enfin, réunit quatre sols dont tous les profils comportent trois horizons: Ah (ou H), B et C. Comme l'indique le tableau 2, le sol S10, parfois situé sur une terrasse, est assez fréquent et possède un matériel fluvio-glaciaire pierreux. Ce sol est également parfois associé à l'existence d'un pergélisol en profondeur. Le sol S11, par contre, est peu fréquent et atteint rarement 50 cm de profondeur.

Les deux derniers sols, S12 et S13, présentent sensiblement les mêmes caractéristiques.

TABLEAU 2
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE SOL (S)

Classes	%
S01	1,8
S02	0,9
S03	10,6
S04	13,9
S05	2,3
S06	7,0
S07	1,5
S08	18,4
S09	7,9
S10	12,6
S11	6,9
S12	6,0
S13	10,0

3.3.1.3 Matériel pierreux (PI)

En sus des deux variables pédologiques susmentionnées, la variable matériel pierreux (PI) vient compléter le tableau des conditions édaphiques présentes à l'intérieur de l'aire d'étude. La présente variable représente donc le matériel que l'on

retrouve en profondeur et qui correspond au matériel originel, peu ou non altéré. Six classes ont été définies selon la profondeur à laquelle le matériel pierreux a été rencontré. Ainsi, la première classe (PI0) correspond aux stations où le matériel pierreux est demeuré introuvable, c'est-à-dire à une profondeur supérieure à 50 cm. Comme l'indique le tableau 3, c'est le cas d'un grand nombre de sites. La deuxième classe (PI1), peu fréquente, regroupe les stations dont le matériel pierreux affleure en surface. La classe PI2, cependant, est mieux représentée (tableau 3) et définit les sols dont le matériel pierreux se situe entre 11 et 20 cm de la surface. Les trois autres classes, PI3, PI4 et PI5, bien représentées, correspondent à un niveau toujours plus profond du matériel pierreux.

TABLEAU 3
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES DE
MATERIEL PIERREUX (PI)

Classes	PI0	PI1	PI2	PI3	PI4	PI5
%	33,0	2,8	14,1	19,5	16,0	15,1

3.3.1.4 Cendre volcanique (CV)

Deux éruptions consécutives du mont Bona en Alaska ont recouvert le sud du Territoire du Yukon et une partie des Territoires du Nord-Ouest, soit l'équivalent d'une superficie de 300 000 km², d'un manteau de cendre volcanique connue sous le nom de "White River Ash" (1250 AA) (Dewez, Geurts et Phipps, 1984). Selon Lerbekmo et al. (1975), la région de la partie méridionale du lac Kluane a été recouverte d'une couche de cendre White River variant entre 2,5 et 5,0 cm. Toutefois, ce manteau de cendre a été remanié localement sous l'action de l'érosion éolienne et hydrologique et présente maintenant un caractère discontinu. Au sein du paysage, certains sites (ex.: dépressions) caractérisés par une faible dissipation d'énergie (ex.: flux limité des masses d'air, écoulement faible de l'eau, etc.) favorisent une accumulation de cendre volcanique et de matériaux divers transportés par l'eau et le vent. En conséquence, par son accumulation à certains endroits propices, la cendre volcanique White River peut se révéler être un indicateur de l'accumulation de neige et, dans certains cas, de la présence tardive de bancs de neige. Ces bancs de neige assurent au milieu une alimentation constante en eau pendant une certaine période de l'année. La variable cendre volcanique tient précisément compte de l'absence (CV0) ou de la présence (CV1) de cendre volcanique dans le sol.

Le tableau 4 révèle que la classe CV0 regroupe la majorité des sites alors qu'une faible proportion (39%) de l'ensemble des sites sont caractérisés par la présence de cette cendre.

TABLEAU 4
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES DE
CENDRE VOLCANIQUE (CV)

Classes	CV0	CV1
%	61,0	39,0

3.3.1.5 Rochosité (RC)

Il est nécessaire de traduire la surface du sol occupée par un matériel rocheux, c'est-à-dire des pierres de dimensions centimétriques à décimétriques, ou par la roche-mère qui affleure afin de mieux définir le milieu physique et de circonscrire l'importance écologique de cette variable. Six classes de rochosité ont été établies. La première classe (RC1) s'applique aux stations caractérisées par l'absence de matériel rocheux ou par une très faible surface occupée par la roche (< à 5%). Comme l'indique le tableau 5, la majeure partie des sites se rencontrent à l'intérieur de cette classe. La deuxième classe

(RC2) regroupe les stations à caractère légèrement rocheux et correspond à une très faible proportion de l'ensemble des sites. Peu représentées, les trois autres classes représentent des conditions de rochosité modérée à excessive.

TABLEAU 5
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE ROCHOSITE (RC)

Classes	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5
%	95,0	3,0	1,7	0,6	0,0

3.3.1.6 Texture de Ah (TX)

La présente variable doit permettre de circonscrire la texture de l'horizon superficiel. Quatre classes ont été établies, à savoir celle du limon (TX0) qui regroupe la majorité des sites (tableau 6), du sable (TX1), peu représentée, celle du limon/sable (TX2), qui compte peu de sites, et, enfin, celle du sable/limon (TX3), également peu représentée.

TABLEAU 6
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE TEXTURE Ah (TX)

Classes	TX0	TX1	TX2	TX3
%	70,0	1,6	19,2	9,6

3.3.1.7 Drainage du sol (DO)

La variable drainage du sol (DO) permet également de tenir compte des conditions hydriques dans le solum. La présente variable se subdivise en quatre classes. La première de celles-ci correspond à de bonnes conditions (DO1) de drainage alors que les classes DO2 et DO3 représentent respectivement des conditions modérées et médiocres. Enfin, la dernière classe (DO4) représente des conditions de drainage bloqué. Comme le révèle le tableau 7 ci-dessous, la majeure partie des sites d'échantillonnage se concentrent dans les deux premières classes.

TABLEAU 7
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE DRAINAGE DU SOL (DO)

Classes	DO1	DO2	DO3	DO4
%	51,0	34,0	12,2	3,4

3.3.1.8 Marbrures (MT)

En période humide, un sol peut être partiellement ou totalement saturé par les eaux de pluie ou de fonte, notamment lorsque la perméabilité d'un ou plusieurs horizons est très faible. Le milieu dépourvu d'air devient asphyxiant et réducteur; le fer (Fe^{3+}) passant partiellement à l'état ferreux (Fe^{2+}). Ultérieurement, l'eau contenue dans les horizons disparaît par évaporation et par percolation. Le milieu redevient oxydant. Les marbrures témoignent de ce phénomène et sont des indicateurs d'un mauvais drainage du sol. Ainsi, afin de tenir compte de ce phénomène parfois relié à l'existence d'un pergélisol, deux classes ont été établies: absence (MT0) et présence (MT1) de marbrures. Le tableau 8 résume la répartition des sites en fonction des classes. Au sein de l'aire d'étude, les conditions

environnementales caractérisées par l'absence de marbrures (MTO) dominant nettement.

TABLEAU 8
 FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
 DE MARBRURES (MT)

Classes	MTO	MT1
%	89,4	10,6

3.3.1.9 Pergélisol (PG)

A cette latitude, le milieu physique est caractérisé par l'existence d'un pergélisol discontinu. Sa présence dans le sol aura une incidence sur le drainage et, par conséquent, sur la végétation. Pour tenir compte de ce phénomène, la variable pergélisol a été créée et compte deux classes, soit PG0, qui correspond à l'absence de pergélisol dans le sol, et PG1 qui représente la présence d'un pergélisol. Comme le montre le tableau 9, les sites caractérisés par l'absence d'un pergélisol (PG0) constituent la grande majorité des sites de l'aire d'étude.

TABLEAU 9
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE PERGELISOL (PG)

Classes	PG0	PG1
%	95,6	4,4

3.3.2 Variables topographiques

La structure de la surface terrestre (ex.: pente, altitude relative, etc.) a une large action sur la végétation locale, car elle y fait apparaître des traits climatiques ou édaphiques (Polunin, 1967). En effet, certains facteurs topographiques exercent une influence sur le microclimat et sur la disponibilité de l'eau à l'intérieur de la station. L'orientation, par exemple, régit en partie l'insolation du milieu, laquelle exerce une influence sur les températures de l'air et du sol et, par conséquent, sur l'humidité relative et l'évaporation (Polunin, 1967; Lemée, 1978). Par ailleurs, la raideur d'une pente est importante en elle-même, car elle détermine, en grande partie, la stabilité de la surface et la rétention de l'eau. Les variables topographiques se révèlent donc être des éléments essentiels qui

régissent la variabilité des facteurs climatiques.

3.3.2.1 Altitude relative (AR)

Compte tenu du fait que l'altitude est sensiblement la même sur toute l'étendue de l'aire d'étude et que les vastes terrasses de kame, ponctuées de nombreux kettles, confèrent à l'ensemble du paysage étudié un aspect très accidenté, il est apparu nécessaire de cerner la position relative des stations, les unes par rapport aux autres, à une échelle topographique, car divers phénomènes physico-chimiques et climatiques qui président à la pédogenèse, à la colonisation de milieux, etc. sont en relation avec les processus d'écoulement des fluides. La présente variable permet donc de circonscrire les différentes formes qu'adopte la topographie. Sept classes ont été établies. La première, AR1, définit les stations situées au sommet de terrasses qui ne sont plus que des vestiges et qui se présentent sous forme de crêtes allongées. Cette classe n'englobe que peu de sites comme l'indique le tableau 10. La classe AR2, par contre, regroupe le plus grand nombre de sites (180), lesquels sont situés en haut de pente tandis que ceux qui sont situés en contrebas, c'est-à-dire en milieu de pente (AR3), sont également bien représentés. La quatrième classe, AR4, représente les sites situés au bas de la pente de l'une de ces crêtes allongées. Enfin, pour terminer de

localiser les sites d'observation en relation avec les crêtes allongées, la classe AR5, peu représentée, regroupe les sites situés au pied de ces crêtes. La classe AR6 est la moins représentée (tableau 10) et correspond à des stations concaves. La dernière des classes (AR7), enfin, correspond à une topographie plane et regroupe 93 sites.

TABLEAU 10
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
D'ALTITUDE RELATIVE (AR)

Classes	%
AR1	11,1
AR2	22,2
AR3	19,0
AR4	17,8
AR5	10,5
AR6	8,0
AR7	11,5

3.3.2.2 Mésorelief parallèle (MA)

Afin d'évaluer la concavité et la convexité d'une station dans l'espace, les variables mésorelief parallèle (MA) et mésorelief perpendiculaire (ME) ont été élaborées. La première

variable (MA) tente d'évaluer la convexité ou la concavité d'une station déterminée par rapport à l'axe formé par la pente de la station tandis que la deuxième variable (ME) évalue les mêmes paramètres mais, cette fois-ci, selon un axe perpendiculaire à la pente. Cinq classes ont été établies pour la variable mésorelief parallèle. La classe MA0 définit les sites à forte concavité, (c'est-à-dire dans le cas d'une dépression topographique dont la flèche est supérieure à 75 cm sur un rayon de quinze mètres). Comme le démontre le tableau 11, ces sites sont peu nombreux. La deuxième classe (MA1), cependant, est mieux représentée et correspond à des sites à concavité moyenne (25 à 75 cm). Les sites à la fois faiblement concaves et faiblement convexes (25 cm) sont au nombre de 383 et se regroupent dans la classe MA2. En outre, la convexité d'une station se traduit par les classes MA3 (convexité moyenne, 25 à 75 cm) et MA4 (forte convexité, plus de 75 cm) où MA3 compte 172 sites tandis que MA4 est peu représentée.

TABLEAU 11
 FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
 DE MESORELIEF PARALLELE (MA)

Classes	MA0	MA1	MA2	MA3	MA4
%	3,3	21,9	47,2	21,2	6,3

3.3.2.3 Mésorelief perpendiculaire (ME)

La première classe, ME0, regroupe vingt-et-un sites caractérisés par une forte concavité (plus de 75 cm). Une deuxième classe, ME1, est mieux représentée et correspond à des sites à concavité moyenne (25 à 75 cm) tandis que ME2 rassemble, comme l'indique le tableau 12, plus de la majorité des sites, soit 462, lesquels sont caractérisés par une faible concavité et une faible convexité. Les sites caractérisés par une convexité moyenne se regroupent dans la classe ME3 et sont peu nombreux. Les sites fortement convexes (plus de 75 cm) (ME4), par contre, sont encore moins représentés (tableau 12).

TABLEAU 12
 FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES DE
 MESORELIEF PERPENDICULAIRE (ME)

Classes	ME0	ME1	ME2	ME3	ME4
%	2,6	18,6	57,0	17,5	4,3

3.3.2.4 Microrelief (MR)

En étudiant l'influence de la topographie sur la végétation, on ne peut ignorer le rôle du microrelief (MR). Par microrelief, nous entendons l'ensemble des inégalités, de dimensions centimétriques à décimétriques, d'une surface topographique, comprenant aussi bien des creux que des saillies. Cinq classes de microrelief ont donc été établies afin de définir cette variable. Chacune des classes représente une certaine amplitude du microrelief. La classe MR0 correspond, par conséquent, à un microrelief faiblement accidenté, c'est-à-dire dont la valeur se situe à l'intérieur de la fourchette 0-9 cm. Le tableau 13 révèle que la majorité des sites d'observation se regroupent dans cette classe. En outre, la classe MR1, également bien représentée, définit un microrelief peu accidenté (10-19 cm) tandis que MR2 correspond à un microrelief moyennement accidenté (20-29 cm) où

seuls soixante-quatre sites possèdent cette caractéristique. Les deux dernières classes, MR3 et MR4, qui représentent respectivement un microrelief assez accidenté et fortement accidenté, sont très peu fréquentes dans l'aire d'étude. En effet, vingt-trois sites sont caractérisés par un microrelief assez accidenté (MR3) (30-39 cm) tandis que sept sites sont fortement accidentés (MR4).

TABLEAU 13
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE MICRORELIEF (MR)

Classes	MR0	MR1	MR2	MR3	MR4
%	53,8	34,6	7,9	2,8	0,8

3.3.2.5 Pente (PE)

La pente constitue une autre variable d'importance dans le paysage car elle préside à un bon nombre de phénomènes importants dont le ruissellement, la quantité de rayonnement incident et d'énergie d'advection transmise, etc. Afin de bien définir cette

variable, sept classes ont été créées. Dans l'ensemble, ces classes comportent un nombre à peu près égal de sites. Aucune ne réunit la majorité des sites d'observation. Comme l'indique le tableau 14, la classe PE0 correspond à un relief plan et regroupe 17,14% des sites alors que les sites caractérisés par une très faible pente (PE1 = 1 à 4 degrés) ne constituent que 10,85% de l'ensemble des sites. En outre, les classes PE2 et PE3 représentent des pentes faibles (5-8 et 9-12 degrés). La classe PE4 correspond à des pentes modérées (13 à 16 degrés) où l'on ne retrouve que soixante-douze sites. Cependant, la classe PE5, la mieux représentée, correspond à des sites d'observation caractérisés par une forte pente. La dernière classe, PE6, groupe les sites à pente abrupte (25-34 degrés).

TABLEAU 14
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE PENTE (PE)

Classes	PE0	PE1	PE2	PE3	PE4	PE5	PE6
%	17,1	10,6	15,2	14,2	8,9	20,1	13,7

3.3.2.6 Orientation (O)

L'orientation d'une station permet à celle-ci de recevoir une quantité plus ou moins grande d'énergie incidente, ce qui influence la température de la station, l'évapotranspiration, le rayonnement infrarouge et les conditions d'existence des phytocénoses. Pour tenter de capter l'influence de l'orientation, l'espace a été subdivisé en huit secteurs qui correspondent aux principales directions suivantes: plein nord, nord-est, plein est, sud-est, plein sud, sud-ouest, plein ouest et nord-ouest. Une autre classe, 000, vient s'ajouter aux précédentes car les sites plans ne sont pas orientés vers un point cardinal particulier. Enfin, mentionnons que le plus grand nombre de sites sont orientés plein ouest (OWW) et qu'ils représentent, comme l'indique le tableau 15, à peine plus du cinquième du total.

TABLEAU 15

FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
D'ORIENTATION (O)

Classes	%
O00	17,1
O11	4,2
O12	9,1
O13	12,8
O14	5,8
O15	6,4
O16	15,2
O17	21,8
O18	7,5

3.3.2.7 Drainage de la station (DA)

La variable drainage de la station (DA) est étroitement liée aux variables du mésorelief et à la pente car elle permet également d'évaluer l'influence de la forme du relief sur divers phénomènes physiques. Quatre classes permettent de définir le drainage de la station (DA). La première de celles-ci, DA1, correspond à des stations bien drainées et regroupe (tableau 16) la majorité des sites. La deuxième classe, DA2, possède également une partie importante des sites et représente des stations à drainage modéré. En outre, les stations à drainage médiocre (DA3)

sont au nombre de 116 tandis que celles à drainage inexistant (DA4) sont encore moins représentées.

TABLEAU 16
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE DRAINAGE DE LA STATION (DA)

Classes	DA1	DA2	DA3	DA4
%	51,1	25,4	14,3	9,2

3.3.2.8 Forme géomorphologique (FG)

La présente variable permet de distinguer les sites en fonction de leur localisation sur les terrasses de kames. Ainsi, la classe FG1 réunit les sites situés sur une terrasse de kame. Par surcroît, cette classe englobe la majeure partie des sites, comme nous pouvons le constater au tableau 17. A l'opposé, on retrouve la classe FG2 qui regroupe les sites localisés dans les kettles.

TABLEAU 17
FREQUENCE RELATIVE DES CLASSES
DE FORME GEOMORPHOLOGIQUE (FG)

Classes	FG1	FG2
%	64,9	35,1

3.4 Méthode Pégase

La méthode de traitement de l'information Pégase (Partition d'un Ensemble Géographique/Analyse Spatiale Ecologique) a été décrite et appliquée par Phipps (1981b) dans le contexte d'études de l'organisation écologique et spatiale des communautés végétales. Cette méthode nous permettra de mesurer la relation qui existe entre, d'une part, les phytocénoses présentes au sein de l'aire d'étude et, d'autre part, certaines caractéristiques du milieu physique.

Présentant des similarités avec la régression multiple, la méthode Pégase permet de faire ressortir les variables environnementales qui expliquent le mieux le déterminisme écologique des phytocénoses et leur localisation par rapport aux

facteurs abiotiques, à l'aide d'instruments de mesure qui sont l'entropie et l'information mutuelle. Exprimés en termes de différence d'entropie du système, les résultats se présentent sous la forme d'un organigramme qui illustre le caractère divisif de la méthode et qui définit un certain nombre de sous-ensembles solutions ou unités de paysages (U.P.) qui réduisent l'indétermination. Chacune de ces unités comporte un groupe de sites d'observation caractérisés par une combinaison particulière de facteurs physiques du milieu qui seront en général fortement corrélés à une phytocénose particulière.

Revenons toutefois au point de départ. La méthode permet de traiter une matrice de données constituée, dans ce cas-ci, de 812 sites d'observation définis par dix-sept variables environnementales ainsi que par une phytocénose particulière. La méthode Pégase procède d'abord au calcul de l'entropie de l'ensemble des phytocénoses P selon la formule suivante:

$$H(P) = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

où n est le nombre de phytocénoses et p_i la probabilité d'occurrence de la phytocénose i. La valeur ainsi obtenue représente l'entropie initiale du système ou encore son indétermination potentielle maximale. Dans le contexte de la

présente étude, l'entropie initiale correspond à la possibilité pour un système d'adopter un nombre important de configurations différentes. En somme, si aucune contrainte, de quelque nature que ce soit, n'est exercée sur le système, nous pourrions imaginer une situation selon laquelle les diverses phytocénoses pourraient être indifféremment permutées dans l'espace (Phipps, 1981a). Ces permutations créeraient des patrons de distribution tout aussi vraisemblables puisque, par convention, nous proposons que le paysage étudié est exempt de contraintes. Or, nous savons que de telles contraintes existent, exercées par le milieu physique. Il est alors évident qu'il n'est plus possible d'échanger les phytocénoses à partir du moment où nous savons qu'une caractéristique physique du milieu influence leur distribution. En conséquence, nous devons tenir compte de l'existence d'un certain ordre au sein du système. Cet ordre correspond à la néguentropie) du système (Phipps, 1979, 1981a, 1981b). En somme, la probabilité d'observer un certain type de phytocénose à un endroit déterminé de l'aire d'étude sera en partie inféodée aux caractéristiques physiques du milieu à cet endroit. La méthode Pégase a donc pour objet de circonscrire les facteurs abiotiques qui exercent la plus forte contrainte sur la localisation des phytocénoses. Afin de cerner ces facteurs abiotiques, on fait appel à un instrument de mesure, l'information mutuelle, qui correspond à la différence entre

l'entropie a priori, où aucune contrainte n'est exercée par le milieu, et l'entropie a posteriori, où une contrainte est exercée sur la végétation. L'information mutuelle (IM) est exprimée par la formule suivante:

$$IM = H(P) - H(P/E)$$

où $H(P/E)$ correspond à l'entropie conditionnelle des phytocénoses lorsqu'une variable environnementale E est connue. Lorsque la valeur de $H(P/E)$ est inférieure à l'entropie initiale $H(P)$, l'information mutuelle IM aura une valeur élevée, supérieure à un seuil de signification précis. La variable environnementale E exercera alors une forte contrainte.

Au début de l'application de la méthode Pégase à la matrice de données, chacune des variables E est testée par rapport à la variable dépendante P . La variable dont l'information mutuelle est la plus élevée sera sélectionnée. L'ensemble des sites d'observation sera par la suite subdivisé en x sous-ensembles (nombre de classes que comporte la variable). A l'étape suivante de la méthode, chacun de ces sous-ensembles est considéré comme une entité indépendante par rapport à laquelle sont testées les variables qui demeurent. Cette subdivision successive des sous-ensembles se poursuit jusqu'à ce que l'une des trois règles suivantes s'applique:

- a) le nombre d'observations dans un sous-ensemble est inférieur au nombre minimal requis pour effectuer le test statistique;
- b) l'entropie d'un sous-ensemble est presque nulle (c'est-à-dire qu'une grande part d'indétermination a été levée); et
- c) la quantité d'information apportée par les variables qui demeurent est insuffisante.

3.5 Analyse des correspondances - méthode

L'analyse factorielle des correspondances constitue une méthode d'ordination qui s'apparente à l'analyse en composantes principales. Elle est essentiellement employée dans le cas de matrices de fréquences. En outre, elle traite une matrice préalablement créée des distances de chi-carré qui reflète la proximité des observations les unes par rapport aux autres (Laforge, 1981; Legendre et Legendre, 1984). La méthode permet de produire des facteurs orthogonaux qui constituent l'espace factoriel.

3.6 Classification - méthode

Afin de faciliter l'interprétation des résultats de l'analyse factorielle des correspondances, il se révèle utile d'effectuer une classification des unités de paysage en fonction

de la similitude des distributions de phytocénoses. Ce regroupement des diverses unités permet de simplifier les caractéristiques phytocénotiques du paysage et de dégager les liens de similitude entre unités. Pour ce faire, les trente-quatre unités de paysage retenues, définies par la méthode Pégase, sont classées selon une méthode hiérarchique agglomérative. Fondée sur un critère de similitude, cette méthode (CIFREN) regroupe progressivement les unités individuelles à l'intérieur de groupes jusqu'à ce que l'ensemble des unités soit réuni. Toutefois, l'homogénéité à l'intérieur d'un groupe décroît en fonction de sa taille.

CHAPITRE IV

RESULTATS

4.1 Traitement par la méthode Pégase

La matrice de données obtenue d'un échantillonnage de l'aire d'étude comporte donc 812 observations, chacune caractérisée par les dix-sept variables physiques et par l'un des sept types de phytocénoses. Un premier essai avec la méthode Pégase, interrompu immédiatement après le premier palier, a permis d'identifier les classes de variables trop peu représentées. Ces classes ont été regroupées avec celles qui leur ressemblaient le plus. De la même façon, cette étape préliminaire a permis de remarquer que deux types de phytocénoses, soit la pelouse sèche (PAC) à Carex et la communauté à Salix (SAL) (voir annexe 2), étaient fortement sous-représentées. En conséquence, la phytocénose PAC a été regroupée avec la communauté PAA en raison d'une grande affinité floristique et écologique. La phytocénose SAL, pour sa part, a été éliminée car elle ne correspondait qu'à 1,11% des communautés

végétales et qu'elle présentait peu d'affinité avec les autres phytocénoses.

A la suite de ces regroupements, la matrice de données a été traitée par la méthode Pégase. Les seuils d'arrêt en vue de la formation des unités de paysage ont été établis de la façon suivante:

- a) un nombre de sites d'observation inférieur à 30;
- b) une entropie inférieure à 0,30;
- c) l'absence d'une variable significative.

4.2 Résultats

Comme le montre l'organigramme (figure 6), le traitement de la matrice de données a produit sept paliers qui produisent au total cinquante-cinq unités de paysage. L'entropie initiale a été réduite de 43,76%. Parmi les dix-sept variables environnementales, treize ont été sélectionnées. Les quatre variables physiques non représentées sont de nature édaphique, à savoir les sols, le matériel parental, les marbrures et la rochosité.

La courbe de perte d'indétermination (figure 5) illustre la

TABLEAU 18
CONTRIBUTION (%) DES VARIABLES
A LA NEGUENTROPIE

1. Forme de terrain	29,6
2. Cendre volcanique	13,6
3. Drainage de la station	11,4
4. Altitude relative	8,3
5. Mésorelief parallèle	6,4
6. Orientation	6,0
7. Matériel pierreux	5,0
8. Microrelief	5,0
9. Drainage du sol	3,6
10. Mésorelief perpendiculaire	3,5
11. Pergélisol	3,0
12. Pente	3,0
13. Texture de Ah	1,6
14. Sols	0,0
15. Matériel parental	0,0
16. Rochosité	0,0
17. Marbrures	0,0

réduction de l'entropie au cours de la formation des cinquante-cinq sous-ensembles solutions. Elle s'interrompt au cinquante-cinquième sous-ensemble après avoir traité l'ensemble des 802 observations. En fait, la grande majorité des arrêts (91%) du processus divisif sont imputables à une insuffisance de sites

dans les sous-ensembles de l'organigramme. Dans ce cas, on peut cependant estimer la valeur de la néguentropie totale théorique en cherchant l'asymptote d'une fonction théorique (exponentielle négative) ajustée sur les valeurs expérimentales. Dans la présente analyse, la néguentropie théorique est de 48,95% de l'entropie initiale. En conséquence, il est possible d'affirmer que la néguentropie réelle du système, qui s'élève à 43,76% aurait pu atteindre 48,95%, n'eût été le nombre limité d'observations. En d'autres termes, en présence d'un très grand nombre d'observations, la méthode Pégase aurait pu, en théorie, expliquer 48,95% de l'entropie du système phytocénotique.

Compte tenu des variables considérées, nous pouvons conclure que le paysage présente une organisation moyenne où une part importante (51,05%) de l'organisation totale du système demeure indéterminée.

4.2.1 Organigramme

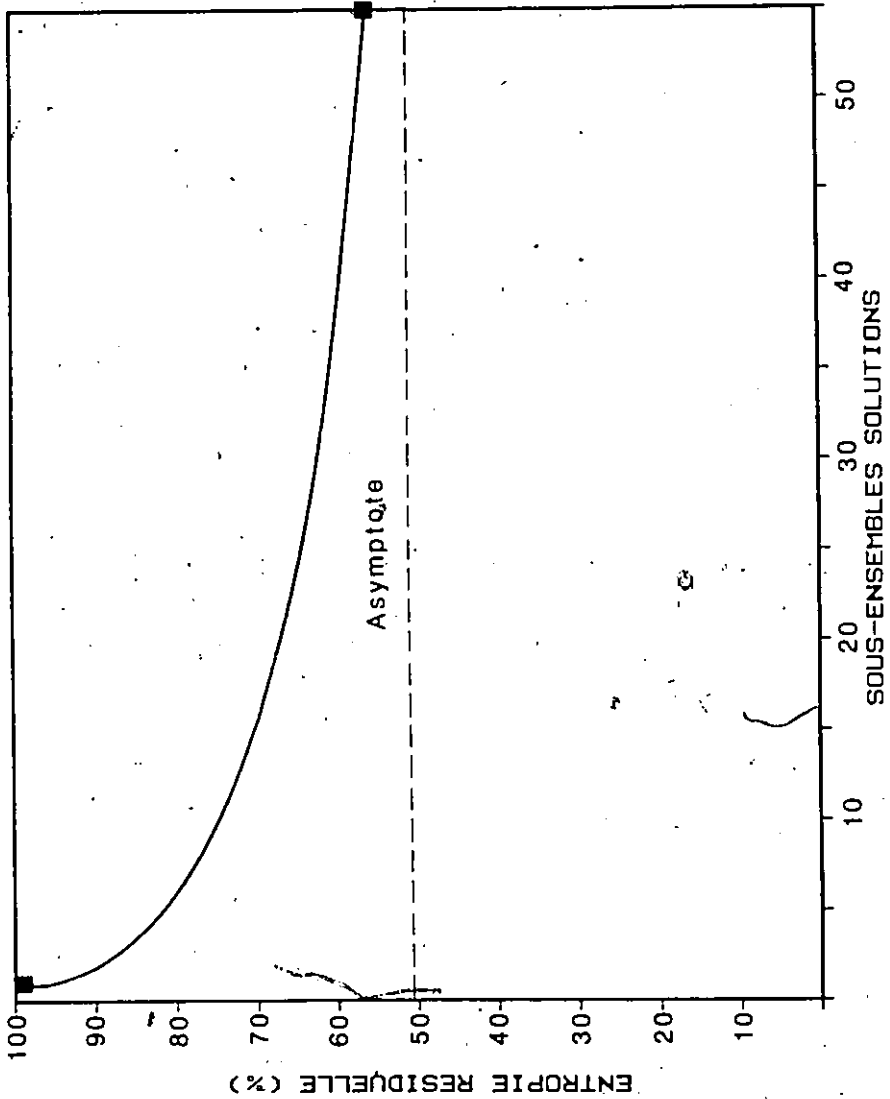
L'organigramme (figure 6) indique les diverses étapes du traitement des données par la méthode Pégase. A chacune de ces étapes, la variable environnementale qui apporte le plus d'information, c'est-à-dire celle qui permet de lever la plus grande part d'indétermination, sera sélectionnée. Cet

organigramme indique les variables retenues ainsi que leurs différentes classes correspondantes. Chacun des sous-ensembles est défini par un nombre d'observations, son entropie et un numéro lorsqu'il constitue un sous-ensemble solution, c'est-à-dire quand le sous-ensemble n'est plus morcelé par la méthode.

En outre, l'organigramme correspond, d'une certaine façon, au modèle d'organisation écologique de l'aire d'étude, où les différentes caractéristiques abiotiques sélectionnées sont celles qui permettent le mieux d'expliquer, en partie, l'occurrence spatiale des phytocénoses.

L'ensemble présent au départ des sites d'observation est, de palier en palier, progressivement morcelé par l'apport d'information fourni par le milieu abiotique. L'ensemble initial est donc fragmenté en groupes de plus en plus petits dans lesquels l'apport d'information présente une importance de moins en moins grande. Dans ce contexte, les premières variables sélectionnées sont primordiales. Au fur et à mesure de la fragmentation, le nombre d'observations est grandement réduit. En conséquence, les relations écologiques deviennent de moins en moins apparentes, voire impossibles à interpréter. Nous aurons ultérieurement recours à l'analyse factorielle des correspondances afin de mieux dégager les liens entre les

Fig. 5: Courbe de perte d'indetermination



phytocénoses et les unités de paysage.

4.3 Interprétation de l'organigramme

La topographie très accidentée de l'aire d'étude constitue un facteur puissant de ségrégation des communautés végétales. Le milieu est caractérisé par la présence de terrasses de kame, qui dominent le paysage par leur superficie, ainsi que de kettles. Le premier palier de l'organigramme établi par Pégase reflète l'opposition de ces deux types de milieux. En effet, la première variable environnementale sélectionnée, à savoir la forme de terrain (FG), a permis de fragmenter l'ensemble initial des sites d'observation suivant les deux classes de la variable: les sites caractérisés par une terrasse de kame et ceux qui sont caractérisés par l'existence d'un kettle. Le tableau 19 révèle la distribution des types de phytocénoses au sein des deux classes géomorphologiques. On remarque que les deux types de pessières dominent dans les kettles (FG2) tandis que les pelouses sèches (PAA) et la communauté à Arctostaphylos uva-ursi (PCH) recherchent les milieux associés aux terrasses de kame (FG1). Il est à noter, cependant, que la pessière ouverte (POU) est plus fréquente dans cette dernière classe que le sont les pessières denses. La localisation des diverses phytocénoses dans l'un ou l'autre des milieux topographiques témoigne des exigences

écologiques de ces phytocénoses relativement à leur croissance, leur évolution. En somme, le premier palier permet déjà de mettre en évidence certains liens qui relient, d'une part, les diverses phytocénoses et, d'autre part, les formes de terrain.

TABLEAU 19

MATRICE DES FREQUENCES RELATIVES
POUR LES CLASSES DE TERRAIN

	PFE	POU	TRE	PAA	PCH	%
FG1	11,9	20,9	10,7	25,2	31,3	100
FG2	57,7	32,4	4,2	0,4	5,3	100

Au deuxième palier, les ensembles terrasses de kame (FG1) et kettles (FG2) sont respectivement subdivisés par la cendre volcanique (CV) et le pergélisol (PG). Dans ce palier, un seul sous-ensemble solution, ou unité de paysage, a été formé et regroupe des sites d'observation où le pergélisol est à proximité de la surface du sol. Ces sites, comme l'indique l'organigramme (figure 6), sont localisés dans des kettles, en présence du pergélisol, où le drainage est totalement bloqué. Seules les pessières denses (PFE) s'accroissent de ces milieux froids et

humides. En outre, dans la classe où le pergélisol est absent (PG0), ce sont toujours les pessières denses (PFE) qui dominent (52%), suivies de près par les pessières ouvertes (POU) (36%).

L'ensemble terrasse de kame (FG1) a été subdivisé en deux classes de cendre volcanique (absence (CV0) et présence (CV1)). Les sites où la cendre volcanique est absente sont dominés par les pelouses sèches (FAA) et la communauté à Arctostaphylos uva-ursi (PCH). Ce sont des milieux xériques à humides où l'accentuation du relief peut avoir contribué à l'élimination de la cendre. Cependant, ce sont les pessières qui dominent dans les sites où la cendre est présente ou s'est accumulée. A la faveur des conditions topographiques favorables, le manteau de cendre volcanique est demeuré intact ou s'est accru. Ces mêmes conditions semblent avoir également favorisé l'implantation des pessières.

Aux ~~saliers~~ saliers suivants, l'interprétation se révèle plus complexe en raison d'un plus grand nombre de sous-ensembles ainsi que d'un morcellement plus important des phytocénoses en fonction des variables environnementales. L'analyse factorielle des correspondances nous permettra de dégager les liens entre les communautés végétales et le milieu abiotique.

4.4 Analyse factorielle des correspondances

La matrice des fréquences traitée par l'analyse factorielle des correspondances comporte trente-quatre unités de paysage sur un total de cinquante-cinq sous-ensembles solutions, les unités de paysage regroupant moins de dix observations ayant été éliminées. Comme nous pouvons le constater au tableau 20, les unités de paysage correspondent aux lignes de la matrice et les cinq phytocénoses aux colonnes.

4.4.1 Classification des unités de paysage

Le dendrogramme de la classification (figure 7) indique, de palier en palier, les diverses étapes du regroupement, fondé sur un critère de similitude. Chaque palier correspond à un groupe spécifique d'unités de paysage.

A la base du dendrogramme, on retrouve les trente-quatre unités de paysage distinctes. Au sommet de l'arbre, en revanche, les unités ne forment qu'un tout et la perte de détail est maximale (figures 7 et 8). Les valeurs correspondant aux différents paliers sont exprimées en quantité d'information mutuelle. En outre, la méthode de classification n'établit aucun

niveau d'arrêt qui définirait des types d'unités de paysage. Il convient d'établir nous-mêmes ce niveau d'arrêt afin de circonscrire des types d'unités. Un niveau d'arrêt peut être arbitraire et reposer sur des considérations statistiques. Toutefois, le niveau d'arrêt choisi est fondé plutôt sur l'homogénéité des unités de paysage tout en minimisant la perte de détail. En vertu de cette règle, le niveau d'arrêt a été fixé entre le vingt-huitième et le vingt-neuvième palier, soit à une valeur correspondant à une information mutuelle de 29,91. Ce niveau a permis de délimiter six groupes, désignés par les lettres A à F, relativement homogènes d'unités de paysage (figure 7). Ces groupes d'unités de paysage établis par la classification nous aideront à interpréter les résultats de l'analyse factorielle des correspondances.

Le premier de ces groupes, désigné par la lettre A, réunit cinq unités de paysage (les unités 1, 20, 26, 34 et 47). Comme l'indiquent la figure 9 et le tableau 21, ce groupe d'unités de paysage est caractérisé par la dominance quasi-totale de la pessière dense (PFE). Seules quelques communautés, très peu représentées, de pessière ouverte (POU) et de tremblaie (TRE) sont présentes. Le deuxième groupe (B), en revanche, ne comprend que trois unités de paysage (les unités 7, 23 et 35) et semble être un groupe de transition dans lequel la pessière dense ne

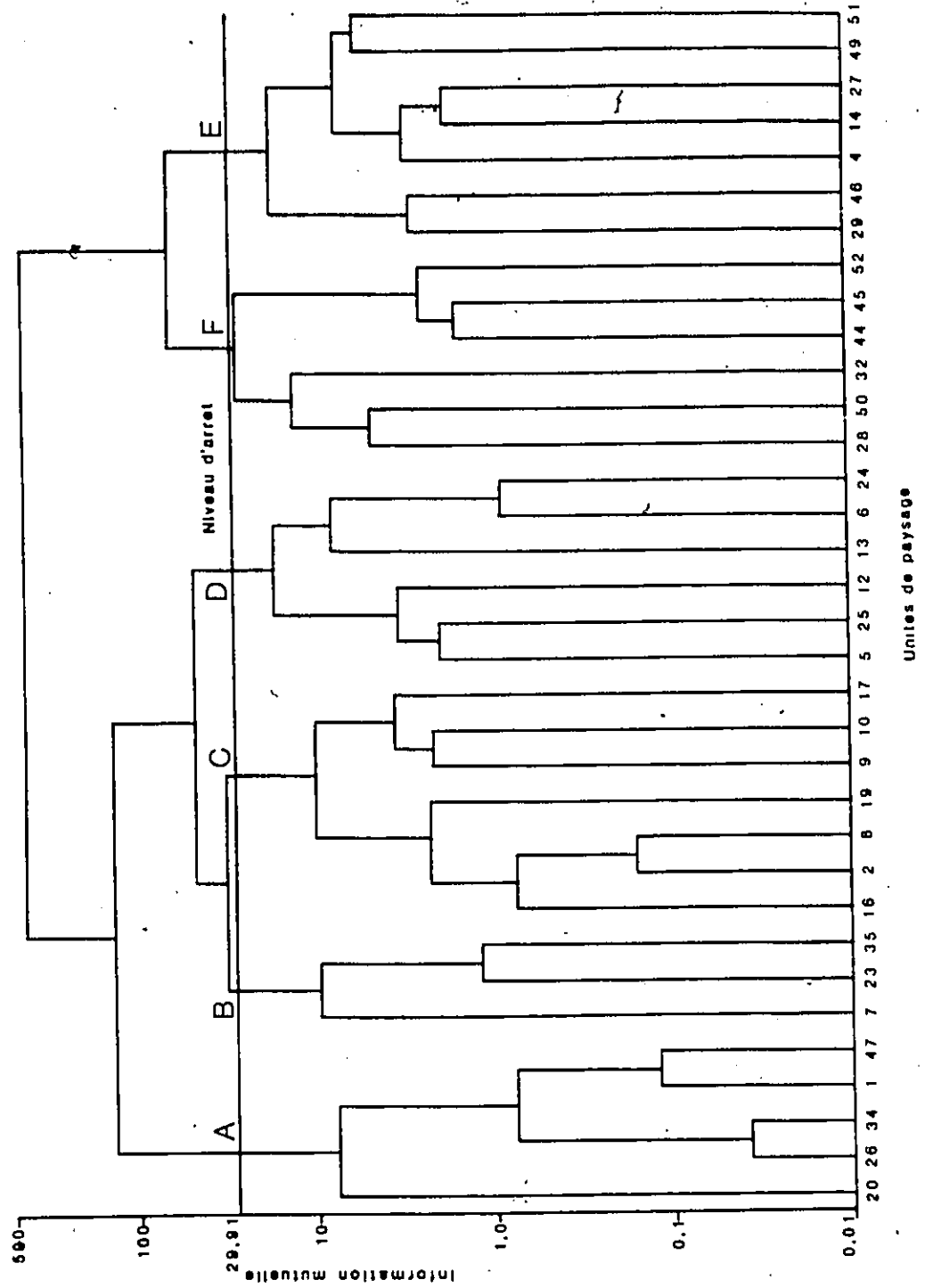
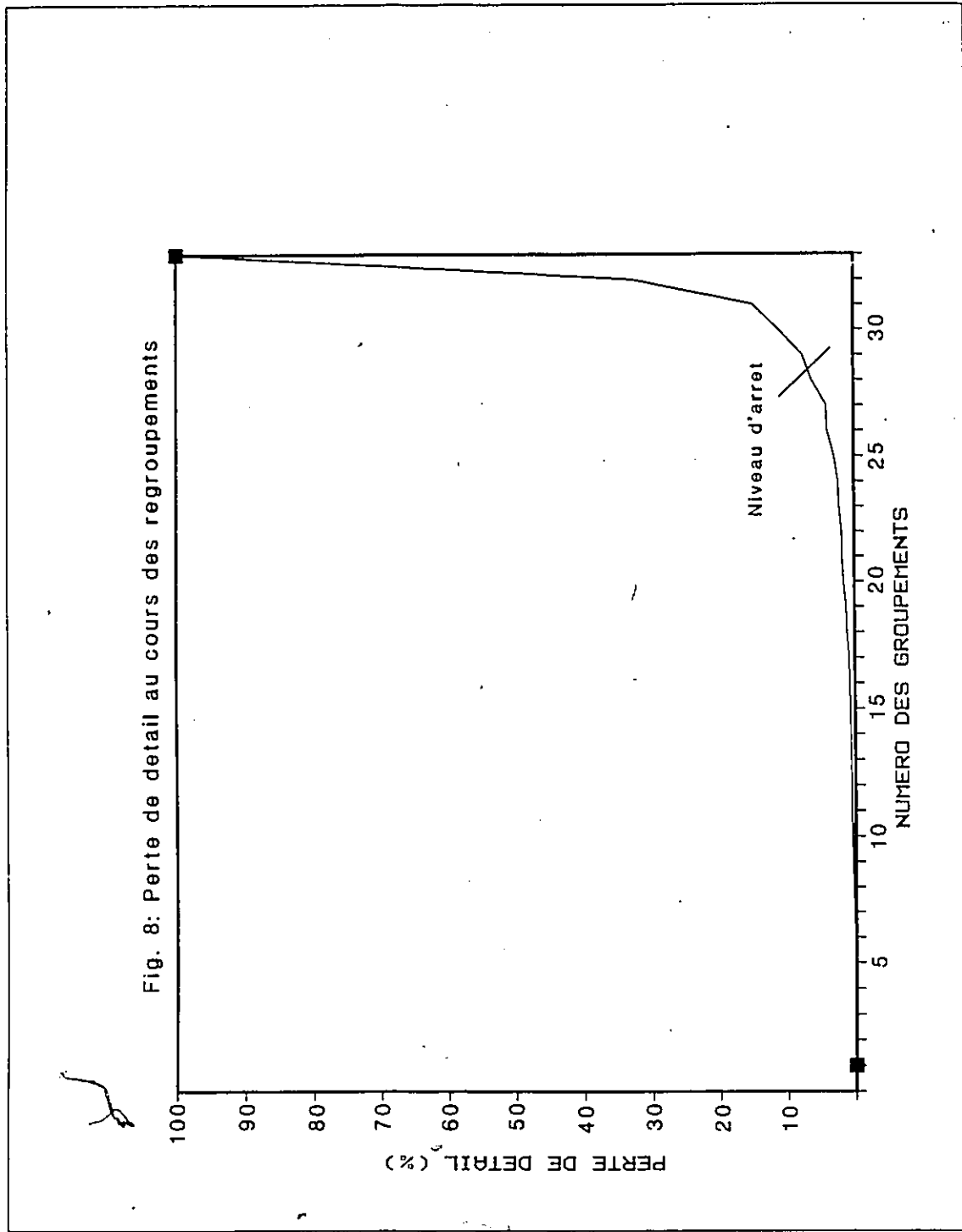


Figure 7: Dendrogramme de la classification

Fig. 8: Perte de detail au cours des regroupements



domine plus aussi nettement. Par exemple, on remarque à l'étude du tableau 21 que l'unité 23 est constituée en grande partie de pessière couverte. Le troisième groupe d'unités (C), comme le démontre la figure 9, est composé de sept unités de paysage, les unités 2, 8, 9, 10, 16, 17 et 19. Ce groupe est essentiellement

TABLEAU 20
MATRICE DES FREQUENCES POUR L'ANALYSE
FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES

U.P.	PFE	POU	TRE	PAA	PCH
1	33	1	0	0	0
2	3	10	0	0	3
4	0	5	4	1	2
5	8	15	4	0	5
6	17	11	6	1	14
7	12	2	0	0	2
8	2	7	0	0	3
9	7	17	0	1	1
10	2	12	0	0	1
12	2	7	4	0	1
13	1	4	2	0	10
14	0	4	1	1	5
16	3	6	0	0	4
17	4	8	0	2	2
19	6	6	0	0	3
20	26	0	2	0	0
23	15	13	0	0	0
24	3	3	1	0	4
25	6	9	1	0	1
26	9	1	0	0	0
27	0	4	2	3	3
28	1	0	1	14	2
29	0	1	3	5	13
32	4	2	7	10	7
34	12	1	0	0	0
35	17	8	0	0	0
44	0	0	0	17	4
45	0	0	1	21	8

46	0	0	1	2	13
47	20	1	0	0	0
49	0	5	3	10	11
50	0	1	1	8	0
51	0	1	6	3	6
52	0	0	0	16	10

associé à la pessière ouverte (tableau 21) quoique la pessière dense soit bien représentée. La communauté à Arctostaphylos uva-ursi est également présente.

TABLEAU 21

POURCENTAGES RESPECTIFS DES PHYTOCÉNOSES EN
FONCTION DES GROUPES DE LA CLASSIFICATION

	PFE	POU	TRE	PAA	PCH	Total
A	94,3	3,8	1,9	0,0	0,0	100
B	65,7	34,3	0,0	0,0	0,0	100
C	23,9	58,4	0,0	2,7	15,0	100
D	24,6	35,0	12,9	0,7	25,0	100
E	0,0	16,9	16,9	21,3	44,9	100
F	3,4	2,1	6,9	59,3	28,3	100

Le groupe D de la classification réunit six unités de paysage (les unités 5, 6, 12, 13, 24 et 25). Dans ce groupe, aucune phytocénose ne domine vraiment. Le cinquième groupe (E) englobe sept unités de paysage (les unités 4, 14, 27, 29, 46, 49 et 51). Au sein de ce groupe, la communauté à Arctostaphylos uva-

ursi, la tremblaie-peupleraie et la pelouse sèche à Artemisia alaskana occupent, à tour de rôle, une place importante. Certaines unités sont dominées par Arctostaphylos uva-ursi, d'autres par la tremblaie-peupleraie. Le dernier groupe d'unités (F), enfin, comprend les unités de paysage 28, 32, 44, 45, 50 et 52. Comme nous pouvons le constater à la figure 9 et au tableau 21, ce groupe d'unités est nettement dominé par la pelouse sèche à Artemisia alaskana.

4.4.2 Résultats et interprétation des facteurs

L'analyse factorielle des correspondances met en évidence dans un espace factoriel les diverses relations qui existent entre, d'une part, les phytocénoses circonscrites sur le terrain et, d'autre part, les unités de paysage, elles-mêmes définies par des caractères écologiques ainsi que par les groupes d'unités de paysage susmentionnés. Ainsi, la méthode a produit quatre facteurs qui correspondent à 100% de la variance. Cependant, seuls les facteurs 1 et 2 sont retenus, car ils comptent à eux deux pour 78,87% de la variance totale. Ils sont représentés (figure 9) dans le plan 1-2. Au sein de cet espace factoriel, les phytocénoses et les unités de paysage sont réparties suivant leur relation par rapport aux facteurs (ou axes), laquelle est exprimée par des notes factorielles (tableau 22).

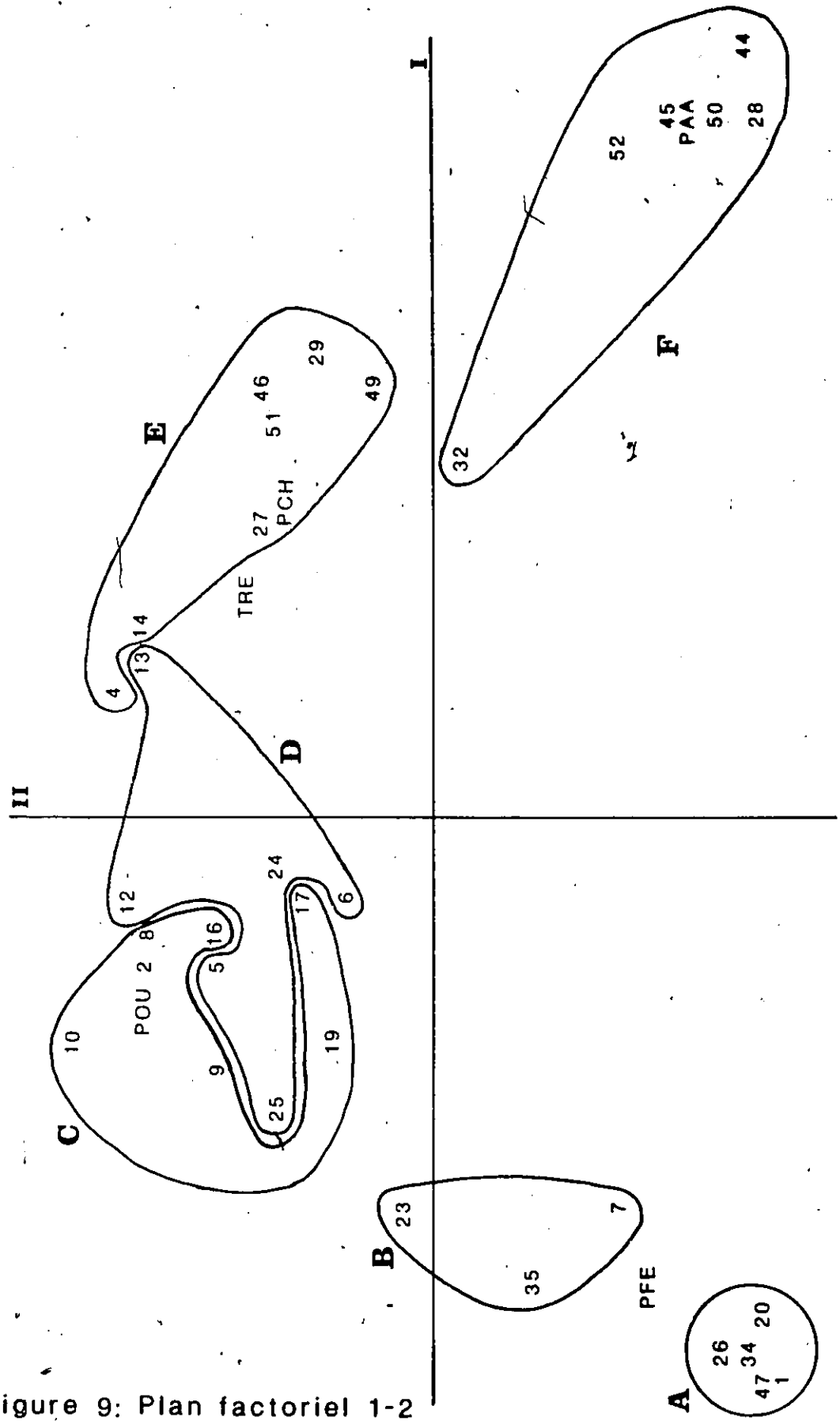


Figure 9: Plan factoriel 1-2

TABLEAU 22

MATRICE DES NOTES FACTORIELLES

	1	2	3	4
PFE	-0.911	-0.539	0.110	-0.009
POU	-0.356	0.710	-0.493	-0.016
TRE	0.379	0.458	0.578	0.951
PAA	1.336	-0.651	-0.402	0.047
PCH	0.576	0.359	0.545	-0.351
1	-1.093	-0.879	0.221	-0.030
2	-0.348	0.718	-0.443	-0.256
4	0.227	0.795	0.107	0.844
5	-0.314	0.546	-0.110	0.179
6	-0.193	0.206	0.349	0.034
7	-0.801	-0.473	0.213	-0.173
8	-0.263	0.725	-0.318	-0.325
9	-0.494	0.540	-0.687	-0.081
10	-0.449	0.911	-0.822	-0.124
12	-0.194	0.761	-0.064	0.783
13	0.301	0.701	0.668	-0.327
14	0.352	0.707	0.202	-0.247
16	-0.241	0.550	-0.082	-0.388
17	-0.283	0.322	-0.481	-0.159
19	-0.478	0.246	-0.106	-0.264
20	-1.001	-0.818	0.344	0.197
23	-0.798	0.072	-0.406	-0.040
24	-0.124	0.383	0.350	-0.158
25	-0.554	0.410	-0.373	0.078
26	-1.045	-0.724	0.119	-0.031
27	0.517	0.420	-0.077	0.255
28	1.313	-0.825	-0.512	0.165
29	0.830	0.278	0.687	-0.224
32	0.639	-0.089	0.263	0.506
34	-1.061	-0.775	0.153	-0.031
35	-0.896	-0.243	-0.198	-0.037
44	1.456	-0.804	-0.530	-0.095
45	1.347	-0.604	-0.280	-0.096
46	0.805	0.418	1.026	-0.726
47	-1.081	-0.839	0.195	-0.030
49	0.803	0.143	0.103	-0.070
50	1.310	-0.708	-0.749	0.443
51	0.717	0.400	0.753	0.768
52	1.276	-0.460	-0.090	-0.350

Dans la figure 9, on remarque que toutes les unités et les phytocénoses se placent sur une parabole. Ce phénomène, qualifié d'effet Guttman (Benzécri et al., 1982; Legendre et Legendre, 1984), se rencontre généralement lorsque le phénomène soumis à l'analyse factorielle est sous-tendu par une relation unidimensionnelle. Il résulte un ensemble de facteurs qui, bien que mathématiquement non corrélés entre eux, n'en sont pas moins tous liés fonctionnellement, le facteur de rang n étant, par exemple, un polynôme du premier facteur (Benzécri et al., 1982). En somme, il s'agit d'un phénomène fondamental unidimensionnel, où les facteurs 2, 3 et 4 sont des polynômes du facteur 1. Voilà pourquoi les facteurs 3 et 4 ont été mis de côté. Selon Benzécri (1982), les facteurs 2, 3 et 4 représentent des facteurs d'intensité qui permettent d'évaluer l'ampleur de la relation.

Comme nous l'avons mentionné plus haut, la figure 9 montre la distribution, en forme de parabole, des types de phytocénoses et des unités de paysage par rapport aux facteurs 1 et 2. Le facteur 1 exprime une polarité unique entre les phytocénoses PFE et PAA, soit la pessière dense et la pelouse sèche, respectivement. Au sein de l'aire d'étude, 72% des pessières denses sont associées à des kettles (tableau 23) tandis que la pelouse sèche à Artemisia alaskana (PAA) se rencontre presque

uniquement (99%) (tableau 23) sur les terrasses de kame. A l'extrémité positive du facteur 1, la phytocénose PAA correspond au groupe F (unités de paysage 28, 32, 44, 45, 50 et 52) qui définit sa niche paysagique. A l'autre extrémité, la pessière dense est associée au groupe A (unités 1, 20, 26, 34 et 47). Entre ces deux pôles, les trois autres communautés s'échelonnent le long de l'axe. En effet, de l'extrémité négative à l'extrémité positive de l'axe 1, la pessière ouverte (POU) prend le relais de la pessière dense (PFE), puis viennent alors la tremblaie-peupleraie (TRE), la communauté à Arctostaphylos uva-ursi (PCH) et, à l'autre extrémité, la pelouse sèche à Artemisia alaskana (PAA). La répartition de ces communautés le long du facteur 1 peut s'expliquer en étudiant la niche paysagique de chacune d'elles. Comme nous l'avons déjà mentionné, la niche paysagique d'une phytocénose correspond à la relation privilégiée, qui s'exprime spatialement au sein du paysage, entre ladite phytocénose et une combinaison de facteurs abiotiques. A l'intérieur de l'espace factoriel, chaque phytocénose est donc associée à un nombre précis d'unités de paysage.

La pessière dense (PFE) occupe l'extrémité négative du facteur 1 et sa niche paysagique correspond aux milieux les plus humides et froids, situés à l'intérieur des kettles, où le pergélisol est parfois présent. Lorsque le pergélisol est

toutefois absent, le drainage au niveau de la station se révèle, dans le meilleur des cas, moyen, tandis que le drainage du sol varie de bon à médiocre. En somme, la pessière dense possède une niche paysagique très spécifique, comme le corrobore son entropie conditionnelle $H(E/P)$ et la spécificité de sa niche $R(E/P\#P)$ qui s'élève à 0,50 (tableau 24). Cette valeur fait de la pessière dense l'une des communautés spécialisées (ou sténoèces) du paysage. Dans certains cas, la pessière dense parvient à coloniser le pied et le bas de la pente de terrasses de kame (28% des cas, tableau 23). Sans cette extension de la pessière dense hors des kettles, la spécificité de sa niche paysagique serait plus élevée. En effet, lorsqu'on distingue les stations caractérisées par un drainage médiocre, qui correspondent au groupe A de la classification, des stations mieux drainées (groupe B) où la pessière ouverte (POU) joue un rôle plus important, la spécificité de la niche de PFE atteint 0,81 tandis que celle des stations mieux drainées est de 0,35. La pessière dense (PFE) est d'ailleurs la seule phytocénose à atteindre ce degré de dominance (94,3%, tableau 21) dans au moins un groupe, en l'occurrence le groupe A.

Différente de la pessière dense (PFE), du point de vue floristique (annexe 2), la pessière ouverte (POU) occupe dans le paysage une niche moins bien définie que la pessière dense. On

retrouve la pessière ouverte en majeure partie sur les terrasses de kame (55% des cas, tableau 23). En outre, la pessière ouverte recherche les milieux dans lesquels le pergélisol est absent et le drainage au niveau de la station est surtout moyen. Suivant le type d'altitude relative, la cendre volcanique est présente ou absente. En bref, la phytocénose POU colonise une grande diversité de stations, ce qui explique la faible spécificité de sa niche, soit 0,28. Elle constitue donc l'une des communautés les moins spécialisées (ou euryèces) du paysage (tableau 24.)

TABLEAU 23

FREQUENCE RELATIVE DES PHYTOCENOSSES EN

FONCTION DES CLASSES DE TERRAIN

	PFE	POU	TRE	PAA	PCH
FG1	28,0	46,0	82,0	99,0	92,0
FG2	72,0	55,0	18,0	1,0	8,0
%	100	100	100	100	100

TABLEAU 24
ENTROPIE CONDITIONNELLE ET
SPECIFICITE DES PHYTOCENOSSES

	PFE	POU	TRE	PAA	PCH
F(P)	224	200	68	132	178
H(E/P)	2,90	3,41	3,10	2,67	3,39
R(E/P#P)	0,50	0,28	0,29	0,51	0,28

Du côté positif de l'axe 1, on remarque la proximité des phytocénoses TRE (tremblaie-peupleraie) et PCH (communauté à Arctostaphylos uva-ursi). Occupant une très faible surface par rapport aux autres communautés au sein de l'aire d'étude, la tremblaie-peupleraie demeure tout de même une communauté importante en raison de son occurrence et de sa niche paysagique particulière. Très peu spécifique (0,29; tableau 24), la tremblaie-peupleraie possède une niche paysagique qui correspond à des milieux dont le drainage au niveau de la station varie de bon à médiocre tandis que le drainage du sol se révèle généralement moyen. On rencontre essentiellement la tremblaie-peupleraie sur les terrasses de kame (82% des cas, tableau 23). La communauté à Arctostaphylos uva-ursi, pour sa part, possède une niche paysagique très peu spécifique, soit de l'ordre de 0,28 (tableau 24). Cette phytocénose est localisée essentiellement sur

les terrasses de kame (92% des cas, tableau 23) où elle colonise les milieux caractérisés par un bon drainage du sol et un bon drainage au niveau de la station. En outre, l'absence de cendre volcanique est générale.

A l'extrémité de l'axe 1, on remarque cette fois-ci la présence de la pelouse sèche (PAA) à Artemisia alaskana et à Penstemon gormanii. Cette communauté possède une niche paysagique très spécifique et affectionne les milieux situés essentiellement sur les terrasses de kame (99% des cas, tableau 23), où le matériel pierreux affleure et où la pente est souvent abrupte. En outre, la communauté colonise des milieux caractérisés par un bon drainage du sol et un bon drainage au niveau de la station. Ces conditions de drainage ainsi que l'escarpement du terrain concourent à l'absence de la cendre volcanique. Au sein du paysage, cette phytocénose possède la niche paysagique la plus spécialisée, comme le corrobore sa spécificité qui s'élève à 0,51 (tableau 24). On notera cependant qu'il n'y a pratiquement pas d'unités de paysage là où cette communauté atteint un niveau de dominance comparable à celui de la pessière dense.

L'étude des niches paysagiques respectives des cinq phytocénoses révèle que l'axe 1 correspond essentiellement à un gradient de drainage. En effet, on retrouve à l'extrémité

négative de l'axe la pessière dense (PFE), associée à des milieux humides et frais, où le pergélisol est souvent présent et le drainage est mauvais, tandis qu'à l'autre extrémité, la pelouse sèche à Artemisia alaskana occupe des milieux xériques caractérisés par un excellent drainage. Entre ces deux pôles, les communautés POU, TRE et PCH apparaissent et correspondent chacune à des conditions particulières de drainage.

Selon les concepts qui se rattachent à l'effet Guttman (Benzécri et al., 1982), l'axe 2 constitue un facteur d'intensité du gradient de drainage. La nature arquée de la parabole formée par les unités de paysage témoigne de la forte opposition entre les phytocénoses PFE et PAA.

En sus du gradient de drainage, la figure 9 nous permet d'établir l'existence d'un gradient spatial. En effet, selon les conditions physiques du milieu, les diverses phytocénoses se succèdent dans l'espace. En milieu humide, la pessière dense (PFE) domine nettement puis, lorsque le milieu est moins frais et humide, la pessière dense cède la place à la pessière ouverte (POU). A la périphérie de cette dernière communauté, une phytocénose de transition, la tremblaie-peupleraie (TRE), apparaît. Elle sépare fréquemment les pessières de la communauté à Arctostaphylos uva-ursi et de la pelouse sèche à Artemisia

alaskana, lesquelles recherchent des milieux plus xériques.

En somme, la méthode Pégase et l'analyse factorielle des correspondances ont mis en évidence deux types de gradients: un gradient abiotique, après avoir circonscrit la niche paysagique des phytocénoses présentes, et un gradient spatial qui démontre la succession des communautés dans l'espace en fonction du milieu abiotique.

CHAPITRE V

DISCUSSION

5.1 Indétermination du système

Nous avons tenté d'édifier un modèle spatio-écologique des relations entre les phytocénoses et les facteurs abiotiques. A l'aide des caractéristiques environnementales, nous avons pu évaluer le degré d'organisation du système phytocénotique par rapport à l'espace physique. Comme nous l'avons déjà mentionné, la méthode Pégase permet d'expliquer 43,76% de l'organisation des phytocénoses. En levant la contrainte dictée par le nombre insuffisant d'observations, cette valeur aurait pu s'élever à 48,95% (néguentropie théorique). Une part importante (51,05%) de l'organisation totale du système demeure donc inconnue. Dans ce contexte, il convient d'examiner les causes de cette indétermination.

Dix-sept paramètres ont été utilisés afin de mettre en

évidence la nature et les modalités de la relation phytocénoses-milieu abiotique. Il est indéniable que ces dix-sept paramètres n'englobent pas toutes les conditions physiques présentes dans le milieu. Toutefois, sur la base de nos connaissances préalables relativement au milieu écologique boréal, nous avons tenté de maximiser la représentation des facteurs abiotiques susceptibles de jouer un rôle primordial. L'ajout d'un paramètre additionnel quelconque, donc d'une information nouvelle, aurait sans doute révélé un surcroît d'ordre du système phytocénotique, mais nous ne pensons pas que ce surcroît d'ordre puisse être considérable puisque les variables utilisées expriment les aspects majeurs de la variation de l'environnement physique.

En ce qui concerne les variables environnementales, il est possible qu'une part d'information soit perdue en raison du choix de l'échelle de mesure ou du degré de précision accordé à la caractérisation des variables et de leurs classes. En effet, aussi objective qu'elle puisse être, une échelle de mesure quelconque introduit forcément une part d'arbitraire qui a parfois pour effet de négliger l'ampleur d'un phénomène. Une échelle de mesure qui ne correspond pas tout à fait à la relation pertinente réduira l'importance de l'information fournie par le paramètre. En conséquence, les diverses classes de la variable ne pourront cerner efficacement le phénomène. Bref, les divers états

du système ne peuvent pas toujours être identifiés ou définis de façon optimale et, par conséquent, une partie de l'information demeure indéterminée.

En dernier lieu, et c'est là l'un des apports essentiels de cette thèse, une grande part de l'indétermination peut s'expliquer par l'évolution dynamique du système paysagique. En effet, en supposant que les phytocénoses n'aient évolué au cours des temps que sous la contrainte du milieu abiotique, elles seraient entièrement le reflet du milieu. En conséquence, le niveau d'organisation serait très élevé tandis que l'indétermination serait très faible. Or, cela ne semble pas être le cas. Au cours des années, certaines phytocénoses auraient pu se soustraire partiellement au confinement dû aux contraintes exercées par le milieu abiotique en transformant peu à peu ce milieu à leur avantage. Cette émancipation aurait pu se traduire spatialement; certaines communautés se seraient alors étendues. Cette extension spatiale aurait donc engendré un niveau d'organisation moins élevé.

Au sein de l'aire d'étude, l'émancipation dont semblent avoir fait preuve certaines phytocénoses pourrait donc être la cause d'une partie des 56,24% d'entropie résiduelle qui n'est pas expliquée par les facteurs abiotiques. La valeur de la

négumentropie réelle obtenue (43,76%) étaye donc notre hypothèse de recherche. Dans ce contexte, il est évident que toute progression de l'émancipation des phytocénoses vis-à-vis du milieu abiotique pourrait se traduire par une hausse de l'entropie résiduelle.

5.2 Synthèse du milieu écologique

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'aire d'étude est caractérisée par une topographie typique d'une terrasse de kame ponctuée de kettles. Cette particularité géomorphologique, mise en évidence par la méthode Pégase, permet de distinguer deux milieux physiques diamétralement opposés, dans lesquels les types de relations entre les phytocénoses et les facteurs abiotiques diffèrent. Dans ce contexte, il importe donc de brosser un tableau des diverses niches paysagiques des phytocénoses en tenant compte de l'hétérogénéité du milieu physique. Rappelons que la niche paysagique d'une phytocénose correspond à la relation privilégiée entre ladite phytocénose et une combinaison de facteurs abiotique exprimée par les unités de paysage.

A l'intérieur des kettles, la pessière dense (PFE) domine nettement. Cette communauté affectionne les milieux humides et froids, où le pergélisol est parfois présent. Toutefois, lorsque

le pergélisol est absent, le drainage au niveau de la station se révèle, dans le meilleur des cas, moyen, tandis que le drainage du sol varie de bon à médiocre. Dans certains cas, la pessière dense parvient à coloniser le pied et le bas du versant des terrasses de kame. Ainsi, cette phytocénose recherche des milieux aux caractéristiques physiques particulières, ce qui témoigne d'une niche paysagique assez spécifique. La pessière dense n'est pas arrivée à s'émanciper totalement des contraintes du milieu et ne s'est pas beaucoup étendue. Une combinaison de facteurs abiotiques exerce toujours une forte contrainte et lui interdit toute extension d'envergure. En conséquence, l'hypothèse de travail selon laquelle, au sein d'un paysage évolué, les phytocénoses développées du point de vue physiologique possèdent la niche paysagique la moins spécifique se révèle infirmée dans le cas de la pessière dense.

Dans le cadre de leur étude de la végétation située en bordure de la route de l'Alaska, Orloci et Stanek (1979) confirment l'existence de la pessière dense sans toutefois préciser son statut successional. Or, compte tenu des caractéristiques floristiques et physiologiques de la pessière dense, tout porte à croire qu'il s'agit d'une communauté climacique dans la région.

Sur les terrasses de kame ainsi que sur leurs versants, plusieurs phytocénoses occupent une place importante malgré la faible superficie qu'elles occupent. Parmi celles-ci, nous retrouvons la phytocénose qui possède la niche paysagique la plus spécifique, à savoir la pelouse sèche (PAA) à Artemisia alaskana et à Penstemon gormanii. Comme l'ont signalé Douglas (1974) ainsi qu'Orloci et Stanek (1979), cette phytocénose affectionne les milieux xériques, situés essentiellement sur les terrasses de kame, où le matériel pierreux affleure et où la pente est souvent abrupte. En outre, la pelouse sèche colonise des milieux caractérisés par un bon drainage au niveau de la station. Ces conditions de drainage ainsi que l'escarpement du terrain concourent à l'absence de cendre volcanique. A l'instar de la pessière dense, la pelouse sèche possède une niche paysagique très spécifique, attribuable à la préférence marquée de cette communauté pour les stations xériques et chaudes. Compte tenu de ce préférendum écologique, la pelouse sèche à Artemisia alaskana et Penstemon gormanii constitue indubitablement une communauté pionnière dans les stations qui répondent aux caractéristiques abiotiques susmentionnées.

La communauté à Arctostaphylos uva-ursi, pour sa part, se rencontre également sur les terrasses de kame. Contrairement à la pelouse sèche, cette phytocénose est peu spécialisée et, comme

l'ont également fait remarquer Hoefs, Cowan et Krajina (1975), nous la retrouvons dans une diversité de stations. Souvent localisée à la lisière des communautés arborescentes, entre celles-ci et la pelouse sèche, cette phytocénose colonise les milieux caractérisés par un bon drainage du sol et un bon drainage au niveau de la station. En outre, en raison de ces conditions de drainage, l'absence de cendre volcanique est généralisée. Il est fort possible que cette phytocénose soit une communauté de transition qui précède et favorise l'extension spatiale des communautés arborescentes.

Parmi les communautés arborescentes qui occupent les terrasses de kame, nous retrouvons la pessière ouverte (POU) qui a également été signalée par Douglas (1974), Orloci et Stanek (1979) ainsi que par Birks (1980). La pessière ouverte recherche les milieux dans lesquels le pergélisol est absent et le drainage au niveau de la station est généralement moyen. Suivant le type d'altitude relative, la cendre volcanique est présente ou absente. Cette communauté occupe également des milieux aux conditions écologiques similaires à l'intérieur des kettles. Bref, la pessière ouverte colonise une grande diversité de stations, ce qui explique la faible spécificité de sa niche paysagique. Il s'agit donc d'une communauté qui est moins tributaire du milieu physique que la pessière dense, par exemple,

et qui s'est émancipée peu à peu des contraintes exercées par le milieu. Dans le cas de cette phytocénose, l'hypothèse de travail est vérifiée.

Selon Douglas (1974), la pessière ouverte constitue une communauté climacique, après incendie. Au sein de l'aire d'étude, quelques vestiges d'anciens incendies ont été observés. Bien que les caractéristiques floristiques et physionomiques de la pessière ouverte permettent d'affirmer qu'elle est climacique dans cette région, nous ne pouvons déclarer que ce climax succède à un incendie sans étudier de manière plus approfondie le dynamisme de la phytocénose.

Enfin, la dernière phytocénose arborescente, soit la tremblaie-peupleraie (TRE), occupe une très faible superficie par rapport aux autres communautés. Toutefois, elle demeure une communauté importante en raison de son occurrence spatiale et de sa niche paysagique particulière. En outre, elle est très fréquente dans la région comme en témoignent les études phytosociologiques de Douglas (1974), Hoefs, Cowan et Krajina (1975) ainsi que Birks (1977). La tremblaie-peupleraie recherche les milieux dont le drainage au niveau de la station varie de bon à médiocre tandis que le drainage du sol se révèle généralement moyen. On la rencontre essentiellement sur les terrasses de kame.

La tremblaie-peupleraie possède une niche paysagique moyennement spécifique, c'est-à-dire que cette communauté ne se rattache pas à des conditions écologiques précises, comme dans le cas de la pelouse sèche, mais qu'elle ne colonise pas non plus tous les milieux. Dans une certaine mesure, cette communauté végétale semble s'être libérée des contraintes abiotiques. En conséquence, la tremblaie-peupleraie est une autre phytocénose qui étaye l'hypothèse de travail.

Au sein de l'aire d'étude, la tremblaie-peupleraie constitue une communauté de transition, tant écologique que spatiale, entre la pelouse sèche ainsi que la communauté à Arctostaphylos uva-ursi et les pessières. Lors de leur étude phytosociologique du mont Sheep, Hoefs, Cowan et Krajina (1975) ont également considéré cette communauté comme un stade de transition. D'une faible longévité, la tremblaie-peupleraie cédera hypothétiquement la place aux pessières, après avoir modifié les conditions écologiques de manière qu'elles soient favorables à l'implantation de celles-ci.

CONCLUSION

Bien que la complexité écologique du paysage boréal des environs de la baie Cultus soit indubitable, l'approche adoptée a permis de mettre en évidence une relation importante entre les phytocénoses et les divers facteurs abiotiques qui régissent, dans une certaine mesure, leur existence. En effet, le système phytocénotique présente une organisation moyenne dans le cadre de laquelle la distribution spatiale et écologique des phytocénoses peut être en partie expliquée par une connaissance des facteurs abiotiques du milieu. L'interaction des diverses conditions écologiques détermine un gradient de drainage le long duquel s'échelonnent les phytocénoses telles que définies par leurs niches paysagiques respectives.

Cependant, l'émancipation partielle de certaines communautés à l'égard des contraintes physiques de l'environnement a sans doute eu une incidence sur la valeur de la néguentropie réelle. La valeur obtenue ne s'oppose pas à l'hypothèse de recherche.

Les résultats de la présente recherche reflètent donc cette complexité écologique du paysage local étudié. En outre, la recherche a permis de mettre en lumière le rôle fondamental du phénomène d'émancipation des phytocénoses au sein du milieu écologique. En conséquence, il conviendrait d'étudier le dynamisme spatial des phytocénoses de l'aire d'étude afin d'approfondir nos connaissances des mécanismes de mise en place de la mosaïque du paysage végétal.

BIBLIOGRAPHIE

- Benzécri, J.-P. et coll. (1982) L'analyse des données. Tome I. La taxinomie, 635 p. Tome II. L'analyse des correspondances, 619 p., Dunod, Paris.
- Berdoulay, V. et M. Phipps (sous la direction de) (1985) Paysage et système, Editions de l'Université d'Ottawa, Ottawa, 191 p
- Bird, P.M. et D.J. Rapport (1986) Rapport sur l'état de l'environnement au Canada, Environnement Canada, 9-11.
- Birks, H.J.B. (1977) Modern Pollen Rain and Vegetation of the St. Elias Mountains, Yukon Territory, J. can. de botanique, 58(18), 2367-2382.
- Blondel, J. (1979) Biogéographie et écologie, Masson, Paris, 20-22, 29, 50-52, 119-120.
- Bostock, H.S. (1948) Physiogeography of the Canadian Cordillera, with Special Reference to the Area North of the Fifty-Fifth Parallel, Commission géologique du Canada, mem. 247.
- Bostock, H.S. (1952) Geology of Northwest Shikwak Valley, Yukon Territory, Commission géologique du Canada, mem. 267.
- Bostock, H.S. (1972) Subdivisions physiogéographiques du Canada, Géologie et ressources minérales du Canada, chapitre III,

Série de la géologie économique, Commission géologique du Canada, Ottawa, 12-34.

Christian, C.S. (1957) The Concept of Land Units and Land Systems, Proceedings of the Ninth Pacific Science Congress, vol. XX, 74-80.

Commission canadienne de pédologie, Comité de la classification des sols (1978) Le système canadien de classification des sols, publication 1646, Agriculture Canada, Ottawa, 170 p.

Daget, P. et M. Godron (1982) Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés, Masson, Paris, 44-53.

Dewez, V., M.-A. Geurts et M. Phipps (1984) Répartition de la cendre volcanique White River selon les caractéristiques du milieu, et son impact sur la végétation (sud-ouest du Territoire du Yukon, Canada), Bulletin de la Société belge de Géologie, 93(4), 315-327.

Douglas, G.W. (1974) Montane Zone Vegetation of the Alsek River Region, Southwestern Yukon, J. can. de botanique, 52, 2505-2532.

Forman, R.T.T. (1981) Interaction among Landscape Elements: A Core of Landscape Ecology, Proc. Int. Cong. Neth. Soc. Landscape Ecology, Veldhoven, Pudoc, Wageningen (Pays-Bas), 35-45.

Forman, R.T.T. et M. Godron (1981) Patches and Structural

- Components for a Landscape Ecology, Bioscience, 31(10), 733-739.
- Forman, R.T.T. et M. Godron (1986) Landscape Ecology, Wiley & Sons, New York, 620 p.
- Guinochet, M. (1973) Phytosociologie, Masson, Paris, 210 p.
- Hoefs, M. I. Cowan et V.J. Krajina (1975) Phytosociological Analysis and Synthesis of Sheep Mountain, Southwest Yukon Territory, Canada. Sysis, vol. VII, suppl. 1, 125-228.
- Kendrew, W.G. et D. Kerr (1955) The Climate of British Columbia and the Yukon Territory, Ottawa, 222 p.
- Kwakernaak, C. (1982) Landscape Ecology of a Pre-Alpine Area, Thesis, Amsterdam.
- Laforge, H. (1981) Analyse multivariée pour les sciences sociales et biologiques avec application des logiciels BMD, BMDP, SPSS, SAS. Editions Etudes vivantes, Montréal, 317 p.
- Larsen, J.A. (1980) The Boreal Ecosystem, Academic Press, New York, 500 p.
- Leeuwen, G.C. Van (1966) A Relation Theoretical Approach to Pattern and Process in Vegetation, Wentia, 15, 25-46.
- Legendre, L. et P. Legendre (1984) Ecologie numérique. Tome I. Le traitement multiple des données écologiques, 260 p. Tome II. La structure des données écologiques, 335 p. Collection d'écologie 12 et 13, Masson et les Presses de l'Université du Québec.

- Lemée, G. (1978) Précis d'écologie végétale, Masson, Paris, 285 p.
- Lerbekmo, J.F., J. A. Westgate, D.G.W. Smith et G.H. Denton (1975), New Data on the Character and History of the White River Ash Volcanic Eruption, Alaska, Quaternary Studies, Selected Papers from IX INQUA Congress, Christchurch, 1973. (Sous la direction de R.P. Suggate et M.M. Cresswell), Royal Society of New Zealand, Wellington (Nouvelle-Zélande), 203-209.
- Merriam, G. (1984) Connectivity: A Fundamental Ecological Characteristic of Landscape Pattern, Proc. 1st Intern. Sem. Methodology in Landscape Ecol. Res. & Plan. I, Roskilde (Danemark), 5-15.
- Muller, J.E. (1967) Kluane-Lake Map Area, Yukon Territory, Commission géologique du Canada, mem. 340, 137 p.
- Naveh, Z. et A.S. Lieberman (1984) Landscape Ecology: Theory and Application, Springer-Verlag, New York, 356 p.
- Neef, E. (1981) Stages in the Development of Landscape Ecology, Perspectives in Landscape Ecology (Tjallingii, S.P. et A.A. de Veer, sous la direction de) Wageningen, Pudoc (Pays-Bas), 19-27.
- Odum, E.P. (1962) Relationships between Structure and Function in the Ecosystem, Jap. J. Ecol., 12, 108-118.
- Odum, E.P. (1969) The Strategy of Ecosystem Development, Science, 64, 262-270.

- Orloci, L. et W. Stanek (1979) Vegetation Survey of the Alaska Highway, Yukon Territory: Types and Gradients, Vegetatio, 41(1), 1-56.
- Oswald, E.T. et J.P. Senyk (1977) Ecoregions of the Yukon Territory, Environnement Canada, Service canadien des forêts, Centre de recherche forestière du Pacifique, Victoria (B.-C.), 115 p.
- Phipps, M. (1979) Information Theory and Spatial-Ecological Analysis: The "Pégase" Procedure, Département de Géographie, Université d'Ottawa, notes de recherche, No. 23, 45 p.
- Phipps, M. (1981a) Information Theory and Landscape Analysis, Proc. Int. Congr. Neth. Soc. Landscape Ecology, Veldhoven, Pudoc, Wageningen (Pays-Bas), 57-64.
- Phipps, M. (1981b) Entropy and Community Pattern Analysis, J. Theor. Biol., 93, 253-273.
- Phipps, M. (1984) Rural Landscape Dynamics: the Illustration of some Key Concepts, Proc. 1st Int. Sem. Methodology in Landscape Res. & Plan., Roskilde (Danemark), 47-54.
- Polunin, N. (1967) Eléments de géographie botanique, Gauthier-Villars, Paris, 532 p.
- Price, L.W. (1971) Vegetation, Microtopography, and Depth of Active Layers on Different Exposures in Subarctic Alpine Tundra, Ecology, 52(4), 638-647.

- Risser, P.G., J.R. Kerr et R.T.T. Forman (1984) Landscape Ecology: Directions and Approaches, Illinois Natural History Survey, Special Publ. No.2, Champaign (Illinois), 5-16.
- Rodiek, J.E. (1978) Landscape Analysis - A Technique for Ecosystem Assessment and Land Use Planning, Landscape Planning, 5, 27-44.
- Rowe, J.S. (1984) Understanding Forest Landscapes: What You Conceive is What You Get, The Leslie L. Schaffer Lectureship in Forest Science, University of British Columbia, Vancouver (B.-C.), 13 p.
- Ruxton, B.P. (1968) Order and Disorder in Land, Land Evaluation (Stewart, J.A., sous la direction de), McMillan, Canberra (Australie), 29-38.
- Service de l'environnement atmosphérique. Résumé mensuel des données météorologiques pour le Canada (1980-1985), Environnement Canada, Ottawa.
- Smith, G.C. et M.M. Thomson (1958) Standard Time and Time Zones in Canada, J. Royal Astron. Soc. Can., 52, 193-223.
- Tricart, L.F. (1979) Paysage et écologie, Revue de géomorphologie dynamique, Paris, 28(3), 81-95.
- Van Cleve, K., L. Oliver et al. (1983) Productivity and nutrient Cycling in Taiga Forest Ecosystems, J. Can. rech. for., 13(5), 747-766.

- Veen, A.W.L. (1985) On the Divergence between Theoretical and Empirical Streams of Landscape Ecology Research, IALE Bulletin, 3(1), 1-5.
- Viereck, L.A., C.T. Dyrness et al. (1983) Vegetation Soils and Forest Productivity in Selected Forest Types in Interior Alaska, J. can. rech. for., 13(5), 703-720.
- Vink, A.P.A. (1983) Landscape Ecology and Land Use, Longman, Londres (G.-B.).
- Wiken, E. (1986) Ecozones terrestres du Canada, Direction générale des terres, Environnement Canada, Ottawa, 26 p.
- Yarie, J. (1983) Environmental and Successional Relationships of the Forest Communities of the Porcupine River Drainage, Interior Alaska, J. can. rech. for., 13(5), 721-728.



ANNEXE IVARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Variables/classes	Nombre de sites	Caractéristiques
ALTITUDE RELATIVE (AR)		
AR1	90	Crête
AR2	180	Haut de pente
AR3	154	Milieu de pente
AR4	144	Bas de pente
AR5	85	Pied
AR6	65	Dépression
AR7	93	Plan
MESORELIEF PARALLELE (MA)		
MA0	27	-75 cm et plus
MA1	178	-75 à -25 cm
MA2	383	-25 à +25 cm
MA3	172	25 à 75 cm
MA4	51	75 cm et plus

MESORELIEF PERPENDICULAIRE (ME)

ME0	21	-75 cm et plus
ME1	151	-75 à -25 cm
ME2	462	-25 à +25 cm
ME3	142	25 à 75 cm
ME4	35	75 cm et plus

MICRORELIEF (MR)

MR0	436	0 - 9 cm
MR1	281	10 - 19 cm
MR2	64	20 - 29 cm
MR3	23	30 - 39 cm
MR4	7	40 - 50 cm

PENTE (PE)

PE0	139	0 degrés
PE1	88	1 - 4
PE2	123	5 - 8
PE3	115	9 - 12
PE4	72	13 - 16
PE5	163	17 - 14
PE6	111	25 - 34

ORIENTATION (O)

O00	139	Plat
O0N	34	Nord
O0E	74	Nord-est
O0E	104	Est
O0E	47	Sud-est
O0S	52	Sud
O0W	123	Sud-ouest
O0W	177	Ouest
O0W	61	Nord-ouest

N.B. Ne tient pas compte de la déclinaison..

PERGELISOL (PG)

PG0	775	Absence
PG1	36	Présence

DRAINAGE DE LA STATION (DA)

DA1	414	Bon
DA2	206	Modéré
DA3	116	Médiocre
DA4	75	Inexistant

SOLS (S)

S01	15
S02	8
S03	86
S04	133
S05	19
S06	57
S07	12
S08	149
S09	64
S10	102
S11	56
S12	49
S13	81

Voir figure 4

MARBRURES (MT)

MT0	725	Absence
MT1	86	Présence

DRAINAGE DU SOL (DO)

DO1	410	Bon
DO2	274	Modéré
DO3	99	Médiocre
DO4	28	Bloqué

ROCHOSITE (RC)

RC1	767	Non rocheux
RC2	25	Peu rocheux
RC3	14	Modérément rocheux
RC4	5	Très rocheux
RC5	0	Excess. rocheux

CENDRE VOLCANIQUE (CV)

CV0	496	Absence
CV1	315	Présence

TEXTURE AH (TX)

TX0	568	Limon
TX1	13	Sable
TX2	152	Limon/sable
TX3	78	Sable/limon

MATERIEL PARENTAL (MP)

MP0	230	Prof. > 50 cm
MP1	286	Prof. < 50 cm
MP2	255	Très pierreux
MP3	4	Sableux
MP4	36	Prés. pergélisol

FORME DE TERRAIN (FG)

FG1	526	Terrasse de kame
FG2	285	Kettle

MATERIEL PIERREUX (PI)

PI0	264	Introuvé
PI1	23	Entre 1 - 10 cm
PI2	114	Entre 11 - 20 cm
PI3	158	Entre 21 - 30 cm
PI4	130	Entre 31 - 40 cm
PI5	122	Entre 41 - 50 cm

ANNEXE 2PHYTOCENOSSES

PESSIÈRE DENSE (PFE)

Picea mariana (Mill.) B.S.P.; Linnaea borealis L. ssp. americana
(Forbes) Hult.; Petasites hyperboreus Rydb.; Rhytidium rugosum.

PESSIÈRE OUVERTE (POU)

Picea glauca (Moench) Voss; Shepherdia canadensis (L.) Nutt.;
Rosa acicularis Lindl.; Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng.;
Pulsatilla patens (L.) Mill. ssp. multifida (Pritz.) Zamels.

TREMBLAIE - PEUPLERAIE (TRE)

Populus tremuloides Michx.; Populus balsamifera L.;
Arctostaphylos - uva-ursi (L.) Spreng.; Rosa acicularis Lindl.;
Epilobium angustifolium L.; Calamagrostis purpurascens R. Br.;
Shepherdia canadensis (L.) Nutt.

PELOUSE SECHE I (PAA)

Artemisia alaskana Rydb.; Carex nardina E. Fries; Penstemon gormanii Greene.

PELOUSE SECHE II (PAC)

Carex nardina E. Fries.

COMMUNAUTE A ARCTOSTAPHYLOS UVA-URSI (PCH):

Arctostaphylos uva-ursi (L.) Spreng.; Calamagrostis purpurascens
R. Br.; Pulsatilla patens (L.) Mill. ssp. multifida (Pritz.)
Zamels.

COMMUNAUTE A SALIX SSP. (SAL)

Salix ssp.; Epilobium angustifolium L.; Mertensia paniculata
(Ait.) G. Don.

ANNEXE 3

PHOTOGRAPHIES DES PHYTOCENOSES

National Library
of Canada

Canadian Theses Service

Bibliothèque nationale
du Canada

Service des thèses canadiennes

NOTICE

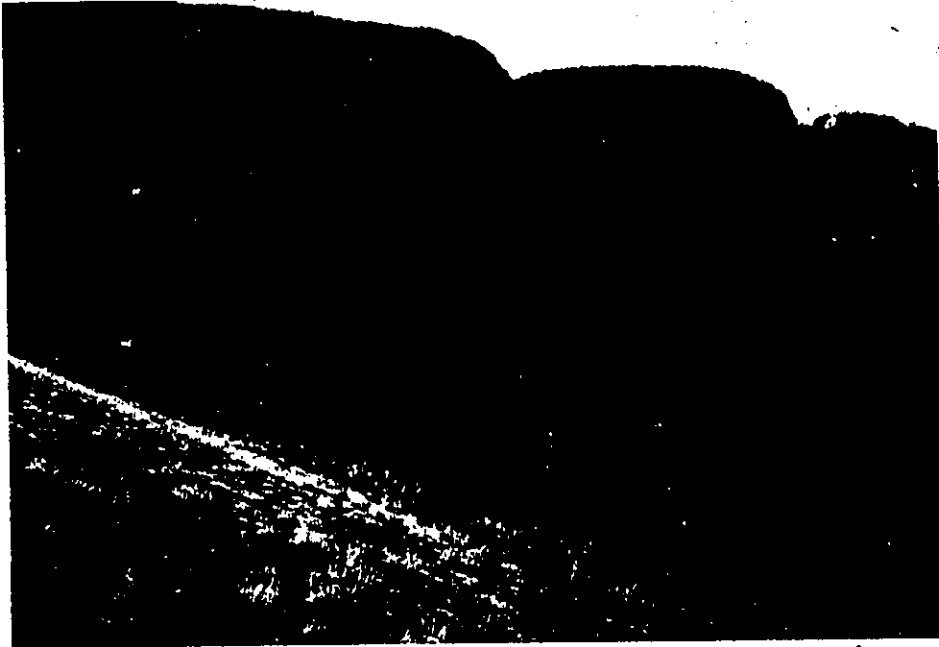
THE QUALITY OF THIS MICROFICHE
IS HEAVILY DEPENDENT UPON THE
QUALITY OF THE THESIS SUBMITTED
FOR MICROFILMING.

UNFORTUNATELY THE COLOURED
ILLUSTRATIONS OF THIS THESIS
CAN ONLY YIELD DIFFERENT TONES
OF GREY.

AVIS

LA QUALITE DE CETTE MICROFICHE
DEPEND GRANDEMENT DE LA QUALITE DE LA
THESE SOUMISE AU MICROFILMAGE.

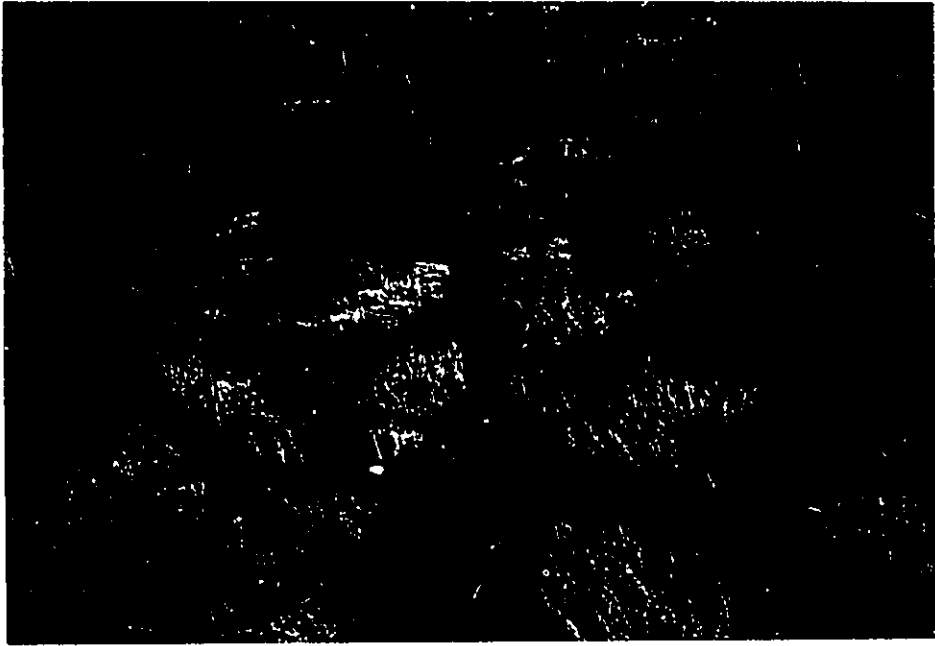
MALHEUREUSEMENT, LES DIFFERENTES
ILLUSTRATIONS EN COULEURS DE CETTE
THESE NE PEUVENT DONNER QUE DES
TEINTES DE GRIS.



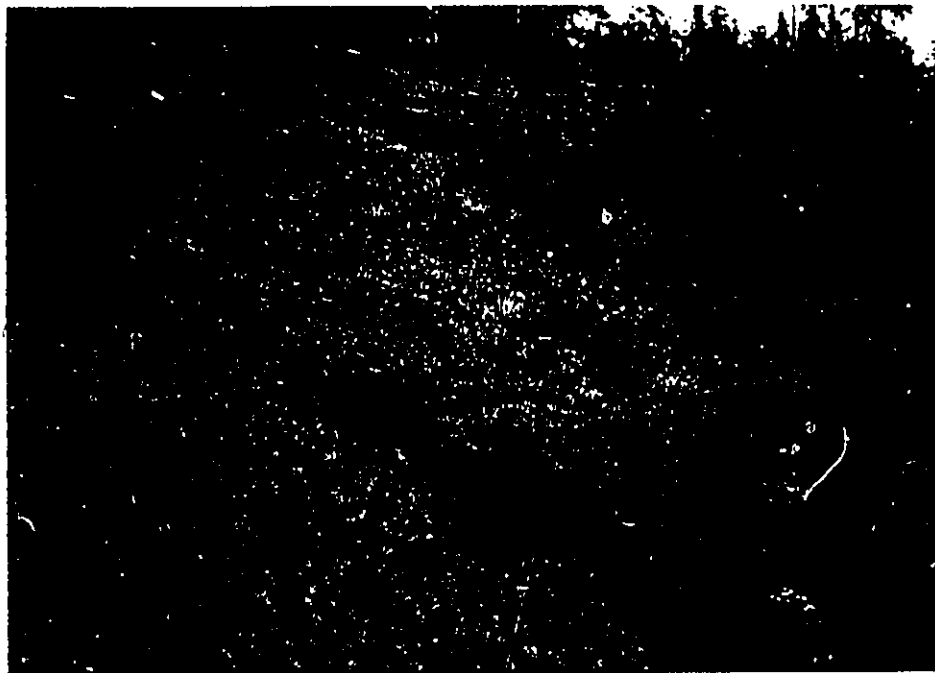
Tremblaie - peupleraie (TRE)



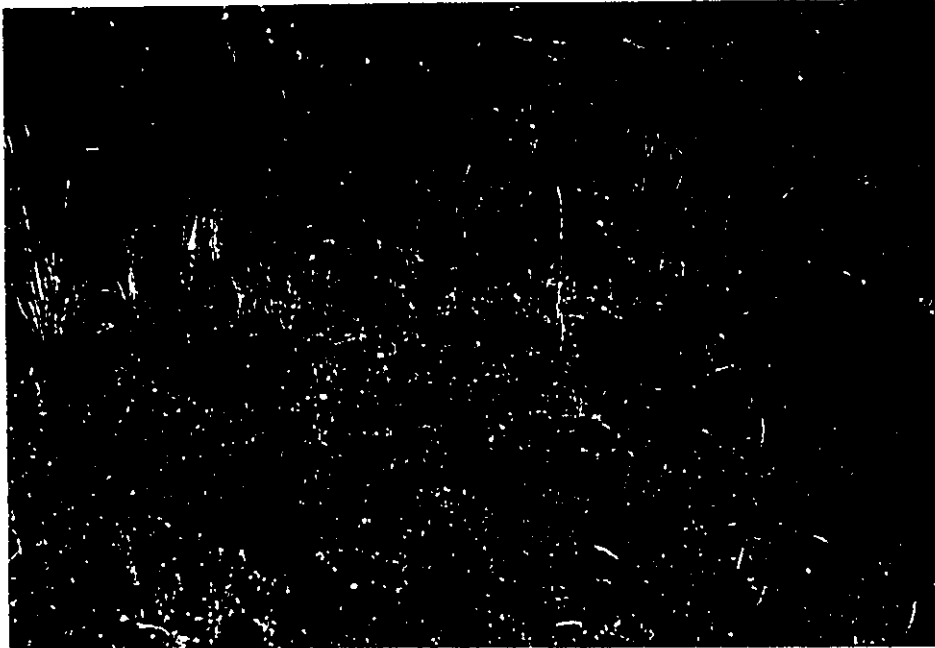
Pessière ouverte (POU).



Pelouse sèche I (PAA)



Pelouse sèche II (PAC)



Communauté à Arctostaphylos uva-ursi (PCH)



Communauté à Salix SSP. (SAL)



Pessière dense (PFE)

)