



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.

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

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.

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

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 0-315-53811-2

**GLACIATION LOCALE DURANT LE PLEISTOCENE SUPERIEUR
ET L'HOLOCENE DANS LES CHAINES RUBY ET DALTON,
DANS LE SUD-OUEST DU TERRITOIRE DU YUKON**

par

Diane Lacasse

**165, rue Waller
Ottawa, Ontario
K1N 6N5**

**Thèse présentée à
l'Ecole des études supérieures de
l'Université d'Ottawa
en vue de l'obtention de
la Maîtrise es Arts en Géographie**



Diane Lacasse, Ottawa, Canada, 1987.

RESUME

Depuis la fin de la dernière glaciation du Pléistocène, les fronts glaciaires du Yukon ont fluctué à diverses périodes. Une chronologie relative des fluctuations glaciaires peut être établie par la datation des dépôts morainiques laissés par les glaciers de cirque de la chaîne Ruby ainsi que les lobes des glaciers rocheux de la chaîne Dalton. Compte tenu de la position géographique et des caractéristiques climatiques actuelles de la chaîne Ruby, la présence de glaciers au sein de cette chaîne et leurs fluctuations durant l'Holocène nécessitent des conditions paléoclimatiques différentes d'aujourd'hui. Par contre, dans la chaîne Dalton située dans une région plus favorable aux précipitations, de petits glaciers survivent.

Selon les résultats obtenus dans la chaîne Ruby, on peut déceler au moins trois réavancées glaciaires qui datent d'avant 1200 ans BP. Le problème reste à déterminer si ces glaciers datent de la fin du Pléistocène ou de l'Holocène.

En se basant sur l'hypothèse selon laquelle chaque moraine ou lobe de glacier rocheux présents dans un cirque témoigne d'une réavancée du front du glacier, trois cirques de la chaîne Ruby et quatre glaciers rocheux de la chaîne Dalton ont été échantillonnés. De façon relative, une chronologie des fluctuations glaciaires a été établie dans la chaîne Dalton mais n'a pu l'être dans la chaîne Ruby. Le degré de développement de la végétation, du sol et des lichens Rhizocarpon geographicum sl. ainsi que la téphrochronologie ont été utilisés pour l'élaboration de cette chronologie partielle.

Les moraines étudiées dans la chaîne Ruby semblent dater de la fin du Pléistocène. Par contre, la présence d'énormes plaques de neige semi-permanentes nichées entre la moraine et le versant à l'intérieur du cirque B et le développement moins prononcé des facteurs étudiés

de la moraine B 1 relance l'hypothèse que cette moraine aurait été édiflée au début de l'Holocène. Dans la chaîne Dalton, il y a eu activité glaciaire durant l'Holocène jusqu'au Petit âge glaciaire (sensu stricto).

ABSTRACT

Since the end of the last Pleistocene glaciation, the glacier termini in Yukon have fluctuated at various times. A relative chronology of glacier fluctuations can be established by dating the till deposited by the cirque glaciers of the Ruby Range and the lobes of rock glaciers of the Dalton Range. Given the geographical position and the present climatic characteristics of the Ruby Range, the presence of glaciers in this range and their fluctuations during the Holocene mean that palaeoclimatic conditions were different from present. In the Dalton Range, where the precipitation is more favorable, small glaciers survive.

Results obtained in the Ruby Range indicate at least three glacial re-advances occurring earlier than 1200 years BP. The problem discussed is whether these glaciers date from the end of Pleistocene or from the Holocene.

Based on the hypothesis that each moraine and lobe of a rock glacier in a cirque means a re-advance of the glacier, three cirques in the Ruby Range and four rock glaciers in the Dalton Range have been sampled. A relative chronology of glacier fluctuations has been established in the Dalton Range but not in the Ruby Range. It is possible to draw up this partial chronology using the degree of development of vegetation, soil and the lichen Rhizocarpon geographicum sl. and from the tephrochronology.

Moraines examined in the Ruby Range appear to date from the end of Pleistocene. In the cirque B however, there are huge semi-permanent snow masses lodged between the moraine B-1 and the interior slope. On this moraine, characteristics of the factors studied are less developed. This suggests that this moraine may have been built at the beginning of the Holocene. In the Dalton Range, there has been continuing glacial activities through the Holocene to present.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon directeur de thèse M. Peter G. Johnson pour l'encouragement et l'intérêt pour la recherche qu'il a su me communiquer ainsi que son enthousiasme, sa patience et sa compréhension tout au cours de la réalisation de ce travail. Je ne saurais continuer sans adresser ma reconnaissance pour les nombreux conseils académiques pertinents prescrits par madame Marie-Anne Geurts, messieurs Michel Phipps et Daniel Lagarec ainsi que monsieur M. Schnitzer d'Agriculture Canada.

Je désire faire part de ma plus vive reconnaissance à messieurs Richard Kodybka et John Loop pour leur aide très appréciée au laboratoire parmi les béciers, les éprouvettes, les acides et les grosses machines. Merci à M. Alain Roy qui a su me guider à travers les Dryas sp. et les Carex sp., ainsi que messieurs Pierre Thibaudeau et Donald Desmarais qui ont tamponné les hauts et surtout les bas de mon aventure graphique et cartographique.

Un grand merci va à mes dévoués collègues de terrain Cheryl Chinkiwsky, Fern Jensen et Jeff Marcellus qui ont dépensé beaucoup d'énergie au transport de mes échantillons trop lourds. Merci également à M. Sylvain Parent pour la correction des imperfections grammaticales de mon texte ainsi qu'à Mlle Beverley Jones pour avoir mis fin à mes nombreuses difficultés avec cet instrument trop souvent infernal qu'est l'ordinateur.

La présente recherche a bénéficié du soutien financier du département des affaires indiennes et du nord dans le cadre du programme de formation scientifique dans le nord, du conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada à travers une subvention pour dépenses courantes A-7486 (Dr. P.G. Johnson) ainsi que l'aide logistique de l'Arctic Institute of North America. La datation radiométrique a été réalisée grâce à la collaboration de M. W. Blake Jr. de la commission géologique du Canada.

La liste serait encore longue. Je pense à tous ceux que j'ai côtoyés, Yvan, Frédérique, Xia Cheng, Mario, Marie-Luce et tous les autres qui sont devenus mes amis et qui m'ont aidé à passer à travers toutes sortes de difficultés rencontrées au cours de ces années d'études.

Enfin, au terme de ces longues heures de travail, je dois un merci tout spécial à ma mère et mon père, qui trop tôt nous a quitté, pour leur support financier ainsi que leurs encouragements enthousiastes et soutenus. C'est à eux que je dédie ce manuscrit.

TABLE DES MATIERES

RESUME	ii
Abstract	iv
REMERCIEMENTS	v
Chapitre I: INTRODUCTION	1
OBJECTIFS	3
HYPOTHESES	3
REPERCUSSIONS DES HYPOTHESES	4
DESCRIPTION DE LA REGION ETUDIEE	6
Localisation et description physique	6
Conditions climatiques	17
Végétation	18
Sols	18
Géologie	19
L'histoire glaciaire	20
Critères de sélection des deux régions étudiées	21
Chapitre II: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	22
ETUDES DES FLUCTUATIONS DES GLACIERS DE L'HOLOCENE	22
TECHNIQUES DE DATATION	28
Lichénométrie	29
Palynologie	31
Sols, végétation et téphrochronologie	32
Chapitre III: METHODOLOGIE	34
LICHENOMETRIE	35
Méthode d'échantillonnage des lichens	37
ETUDE DE LA PEDOGENESE	38
Méthodes d'analyse	39
Echantillonnage et description des sols	39
Granulométrie	40
Analyses de pH	41
Matière organique	41
Degré d'altération des argiles	42
DEVELOPPEMENT DE LA VEGETATION	44
Méthodologie	45

Chapitre IV: RESULTATS ET DISCUSSION	46
RESULTATS	46
Chaîne Ruby	46
Lichénométrie	46
Pédogenèse	48
Succession de la végétation	51
Chaîne Dalton	54
Lichénométrie	54
Pédogenèse	59
Succession de la végétation	62
DISCUSSION	63
Chaîne Ruby	63
Chaîne Dalton	65
IMPLICATIONS PALEOCLIMATIQUES	68
Chapitre V: Conclusion	73
Annexe 1: Profils pédologiques des sols développés sur les moraines des cirques de la chaîne Ruby	76
Annexe 2: Profils pédologiques des sols développés sur les lobes des glaciers rocheux de la chaîne Dalton	82
Annexe 3: Courbes granulométriques, cirque A	89
Annexe 4: Courbes granulométriques, cirque B	90
Annexe 5: Courbes granulométriques, cirque C	91
Annexe 6: Courbes granulométriques, glacier rocheux A	92
Annexe 7: Courbes granulométriques, glacier rocheux B	93
Annexe 8: Courbes granulométriques, glaciers rocheux C et D	94
Annexe 9: Liste des espèces végétales relevées sur chacune des moraines des cirques étudiés de la chaîne Ruby	95
Annexe 10: Liste des espèces végétales relevées sur les lobes des glaciers rocheux étudiés de la chaîne Dalton	99

Annexe 11: Méthode d'extraction totale des éléments composant les argiles	102
---	-----

BIBLIOGRAPHIE	104
-------------------------	-----

LISTE DES FIGURES

1. Localisation des régions étudiées	7
2. Chaîne Ruby	8
3. Cirque A, chaîne Ruby	9
4. Cirque B, chaîne Ruby	9
5. Cirque C, chaîne Ruby	10
6. Région d'étude, chaîne Dalton	12
7. Schéma de la position des lobes de glacier rocheux de la chaîne Dalton	13
8. Dans la chaîne Dalton, glaciers rocheux A, B et les crêtes de la partie amont vus du côté nord	14
9. Glaciers rocheux A, B, C et D de la chaîne Dalton vus du côté sud-est	15
10. Exemple de sol qui se développe sur les moraines de la chaîne Ruby (sol de la moraine no 2 du cirque B)	50
11. Vue de la chaîne Dalton	54
12. Vue du glacier rocheux D	67

LISTE DES TABLEAUX

1. Résultats des techniques effectuées dans la chaîne Ruby	47
2. Pourcentage de la représentation des familles composant la communauté végétale recouvrant les moraines de la chaîne Ruby	53
3. Résultats des techniques effectuées dans la chaîne Dalton	55
4. Résultats lichénométriques du lobe no 4 du glacier rocheux A de la chaîne Dalton	56

5.	Résultats lichénométriques du lobe no 5 du glacier rocheux A de la chaîne Dalton	57
6.	Résultats lichénométriques de la partie en amont du glacier rocheux B de la chaîne Dalton	58

Chapitre I

INTRODUCTION

Laissées sur le terrain, les formes édifiées par les glaciers renferment l'histoire glaciaire qu'a connue la planète. Depuis de nombreuses années, les géographes étudient le fonctionnement des glaciers et tentent d'établir une chronologie exacte de leur histoire. Inspiré par ce genre d'étude, cette thèse de maîtrise tente d'élaborer une chronologie des fluctuations des glaciers de cirque dans les chaînes Ruby et Dalton, dans le sud-ouest du Territoire du Yukon durant l'Holocène. Au cours de cette étude, on examinera si ces fluctuations sont synchrones de celles reconnues par Denton et Karlén (1977) pour la région des monts St-Elias et si elles suivent la tendance des fluctuations régionales ou si, au contraire, elles ne sont qu'une particularité locale. Le Quaternaire a connu une succession d'époques glaciaires et interglaciaires, dont l'Holocène, marquées de nombreuses fluctuations. En plus des formes reliques laissées par les glaciers disparus, l'étude des fluctuations glaciaires de l'Holocène est facilitée par la présence de glaciers de cirque dans différentes régions, à savoir les Rocheuses, les Alpes, la Scandinavie, l'Himalaya, etc., qui obéissent aux diverses fluctuations climatiques régionales et locales.

Avant la mise au point de la technique de datation absolue au radiocarbone, on ne pouvait que constater, par la présence des complexes morainiques, qu'il y avait eu plusieurs fluctuations des glaciers de cirque présents dans les vallées mais sans toutefois pouvoir dater ces avancées et ces reculs. Depuis les années cinquante, la datation radiométrique a fait progresser les connaissances.

Puis, par la suite, sont venues s'ajouter plusieurs techniques de datation relative fournissant de nombreux indices venant ainsi agrandir les connaissances déjà accumulées. On a tout d'abord fixé la limite entre le Pléistocène et l'Holocène, puis reconstitué la chronologie des époques glaciaires et interglaciaires (Harland et al., 1982) qui se sont succédées dans toutes les parties du monde en général. Dans le sud-ouest du Yukon, plus particulièrement dans la chaîne Ruby, on estime la déglaciation vers 12 500 années BP (y-1386) (Denton et Stuiver, 1966), date indiquant le retrait de la calotte glaciaire aux abords du lac Kluane. La chronologie des fluctuations des glaciers de l'Holocène a cependant varié et s'est précisée avec les nombreuses recherches au cours des années. Jusqu'au milieu des années soixante-dix, on pensait que le milieu de l'Holocène était marqué par une époque appelée "Hypsithermal" (terme anglais désignant l'optimum climatique post-glaciaire), où les températures étaient plus chaudes et l'air plus humide, et cela s'étendait jusqu'à environ 2 640 BP (Y-1435) (Denton et Stuiver, 1966). L' "Hypsithermal" était suivi d'une période de réavancée des glaciers appelée Néoglaciale. Plus tard, Denton et Karlén (1977), Karlén et Denton (1976) et Karlén (1973), ont décelé que l'Holocène avait été ponctué de fluctuations glaciaires dès 5 800 années BP et ce, à plusieurs reprises tant dans le sud-ouest du Yukon que dans les monts Sarek et Kebnekaise en Suède.

De nombreuses difficultés entravent l'élaboration d'une chronologie exacte des fluctuations glaciaires. En effet, on trouve difficilement du matériel datable au carbone 14 dans les sites pertinents. Pour ce genre d'étude, les méthodes de datation absolue ne sont pas nombreuses et même peu précises. On doit donc avoir recours aux techniques de datation relative basées sur des comparaisons. De plus, il se produit des phénomènes de crue glaciaire qui attaquent le comportement de certains glaciers dont les avancées et reculs ne coïncident plus avec le mouvement général. Donc, nombreuses sont les embûches qui augmentent la difficulté d'établir une chronologie.

De plus, notre travail s'est trouvé limité par les impératifs d'une trop courte saison sur le terrain, des ressources matérielles et financières restreintes ainsi que par des difficultés d'échantillonnage. Malgré une exploration de deux mois, nous n'avons trouvé qu'un seul morceau de bois datable susceptible de donner une date pour la réavancée d'un glacier dans la chaîne Dalton. Notre chronoséquence sera donc essentiellement relative.

1.1 OBJECTIFS

Dans le cadre de ce travail, nous formulons le projet de vérifier l'existence de glaciers de cirque dans la chaîne Ruby, dans le sud-ouest du Yukon pendant l'Holocène. Cette recherche, basée sur l'héritage géomorphologique et menée sur le terrain, vise les objectifs suivants:

- 1) établir la chronologie des fluctuations des fronts glaciaires de l'Holocène de la chaîne Dalton, dans le sud-ouest du Yukon, par la datation des différents lobes superposés des glaciers rocheux;
- 2) établir la chronologie des fluctuations glaciaires dans la chaîne Ruby à partir des dépôts morainiques laissés par les glaciers;
- 3) tenter de déceler s'il y a corrélation chronologique entre les deux chaînes; et
- 4) déterminer les implications paléoclimatiques de ces fluctuations glaciaires et de la présence de glaciers de cirque pendant l'Holocène dans la chaîne Ruby.

1.2 HYPOTHESES

Les hypothèses de travail qui accompagnent nos objectifs impliquent les conditions climatiques et paléoclimatiques qui régissent la présence de glaciers de cirque dans la chaîne Ruby et des fluctuations des fronts glaciaires dans le sud-ouest du Yukon durant l'Holocène. Ces hypothèses sont les suivantes:

- 1) Il y a eu des glaciers de cirque dans la chaîne Ruby durant l'Holocène.
- 2) Les glaciers de l'Holocène dans la chaîne Dalton sont plus volumineux que ceux dans la chaîne Ruby car ces derniers ont totalement disparu tandis que certains glaciers de cirque demeurent dans la chaîne Dalton. De plus, située à proximité des monts St-Elias, la chaîne Dalton reçoit plus de précipitations que la chaîne Ruby donc une plus forte accumulation par rapport à des conditions semblables d'ablation d'où en résulte de plus gros glaciers.
- 3) Les fluctuations des glaciers de l'Holocène de la chaîne Dalton sont synchronisées avec celles des glaciers de cirque de la chaîne Ruby.
- 4) Les différents lobes superposés des glaciers rocheux de la chaîne Dalton représentent les périodes de réavancées glaciaires.
- 5) Les glaciers de cirque de la chaîne Ruby se seraient formés ou réactivés durant la période s'étalant entre 2900-2100 BP et/ou le Petit Age Glaciaire (sensu stricto) qui, selon Denton et Karlén (1973), furent les avancées les plus importantes et les plus étendues de l'Holocène. Etant plus petits, ils auraient fondu et disparu rapidement depuis la fin du dernier siècle car les conditions climatiques seraient devenues plus favorables à l'ablation et moins pour l'accumulation. Denton et Karlén (1973) affirment que les glaciers du sud-ouest du Yukon ont dans l'ensemble reculé depuis le Petit Age Glaciaire.

1.3 REPERCUSSIONS DES HYPOTHESES

L'hypothèse no 1 pose le problème qui suit: ces glaciers de cirque de l'Holocène dans la chaîne Ruby seraient-ils une réactivation de la glace du Pléistocène qui, protégée par une couverture de débris et/ou un micro-climat aux conditions de température et d'humidité favorables à la survie, aurait persisté jusque-là (Ellis et Calkin, 1984) ? Ou encore, se seraient-ils formés à partir de plaques de neige permanentes et contemporaines à l'Holocène? La formation de glaciers de cirque à partir de plaques de neige permanentes demanderait une circula-

tion des masses d'air différente de celle d'aujourd'hui (Kendrew et Kerr, 1955) c'est-à-dire une prédominance en hiver de vents qui viennent du sud (Pacifique) apportant de l'air humide favorisant les précipitations. En été, il faudrait une circulation plus zonale (Lagarec, comm. pers.) apportant des températures plus fraîches pour défavoriser l'ablation. Si la formation des glaciers de cirque résultait de la réactivation de la glace datant du Pléistocène, les fluctuations climatiques requises seraient moins importantes.

Les conditions climatiques (humidité et température) actuelles ne favorisent pas l'accumulation (Normales climatiques au Canada, 1982). La région de la chaîne Ruby subit trop longtemps l'action des masses d'air arctique froid et sec au cours de chaque année (Kendrew et Kerr, 1955). Des mois de décembre à mars, cette zone baigne dans l'air arctique venant de la mer de Beaufort. Le front arctique devrait se situer plus au nord pour une période plus longue durant l'année surtout en hiver pour permettre à l'humidité d'entrer sur le territoire plus longtemps. Ou encore, il devrait y avoir une basse pression située, principalement durant l'hiver, au sud des Aléoutiennes pour permettre aux vents de venir du Pacifique et d'apporter de l'humidité toute l'année. En été, les masses d'air polaire, venant du sud, refoulent les masses d'air arctique vers le nord et réchauffent la région (Kendrew et Kerr, 1955). Les conditions actuelles défavorisent la naissance et le développement de névé. De plus, compte tenu de l'éloignement de la chaîne Ruby à l'intérieur des terres, ce problème favorise l'hypothèse de la réactivation de la glace du Pléistocène qui aurait persisté plutôt que la formation de nouveaux glaciers à partir de plaques de neige permanentes ou de nouveaux névés. Dans le premier cas, seules des températures estivales plus fraîches défavorisant l'ablation pourraient être nécessaires à la réactivation tandis que dans le cas de naissance à partir de nouveaux névés, cela exigerait des changements climatiques considérables.

L'Hypothèse no 3 qui suggère une synchronisation des fluctuations des glaciers des chaînes Dalton et Ruby vient un peu à l'encontre de l'hypothèse no 2 proposant que les glaciers de la chaîne Ruby soient plus petits. Si c'est le cas, les glaciers situés dans la chaîne

Ruby devraient répondre plus rapidement aux fluctuations climatiques que ceux de la chaîne Dalton. Il pourrait donc y avoir un décalage d'une chronologie par rapport à l'autre. Par contre, la chaîne Dalton, étant située dans un corridor (orienté nord-sud) de vallées plus basses en altitude, est privilégiée par l'entrée plus loin dans les terres de masses d'air humide venant du Pacifique et reçoit plus de précipitation sous forme de neige que la chaîne Ruby (Normales climatiques au Canada, 1982). La chaîne Ruby ne reçoit que ce qu'il reste. Si les glaciers de la chaîne Ruby répondent à de plus petites fluctuations que ceux de la chaîne Dalton, et qu'une variation des chutes de neige d'une certaine importance dans la chaîne Dalton équivaut à une fluctuation de moindre importance dans la chaîne Ruby (vue sa situation géographique), les caractéristiques inverses s'annulent et c'est pour cela qu'il s'avère possible malgré tout de poser l'hypothèse de la synchronisation des fluctuations des glaciers entre les deux régions.

1.4 DESCRIPTION DE LA REGION ETUDIEE

1.4.1 Localisation et description physique

Le terrain étudié se divise en deux régions séparées, soit la chaîne Ruby et celle de Dalton dans le sud-ouest du Territoire du Yukon (fig. 1, p.7).

La chaîne Ruby, s'étendant au nord-est du lac Kluane, offre un paysage découpé de vallées et de plateaux allant d'environ 1200 m à 2000 m d'altitude. Dans cette région, le travail s'est effectué particulièrement dans trois cirques situés plus précisément entre les rivières Raft et Talbot, soit entre 61° 30' et 61° 34' de latitude nord et entre 138° 10' et 138° 20' de longitude ouest (carte no 115 G/9), (fig. 2 à 5, pp. 8 à 10).

Le cirque A, de forme oblongue, mesure environ 500 m de largeur, 1500 m de longueur et 300 m de hauteur. Il est d'orientation nord et s'élève à environ 1525 m d'altitude. Six moraines y ont été érigées dont trois sont latérales. Séparés par la moraine no 1, deux petits lacs sont aussi présents. Ces lacs résultent probablement de la fonte de culots de glace morte

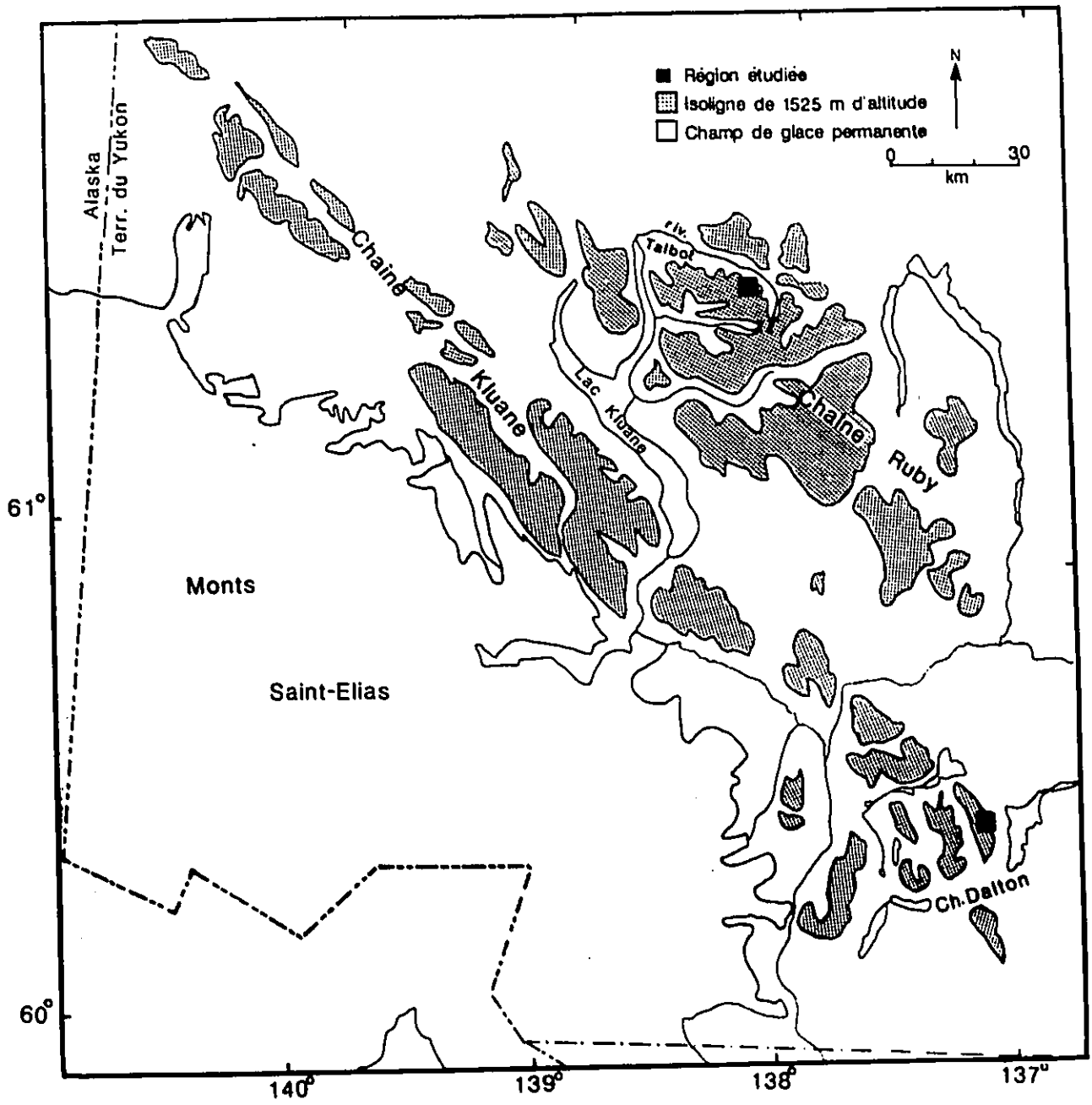


Figure 1: Localisation des régions étudiées.

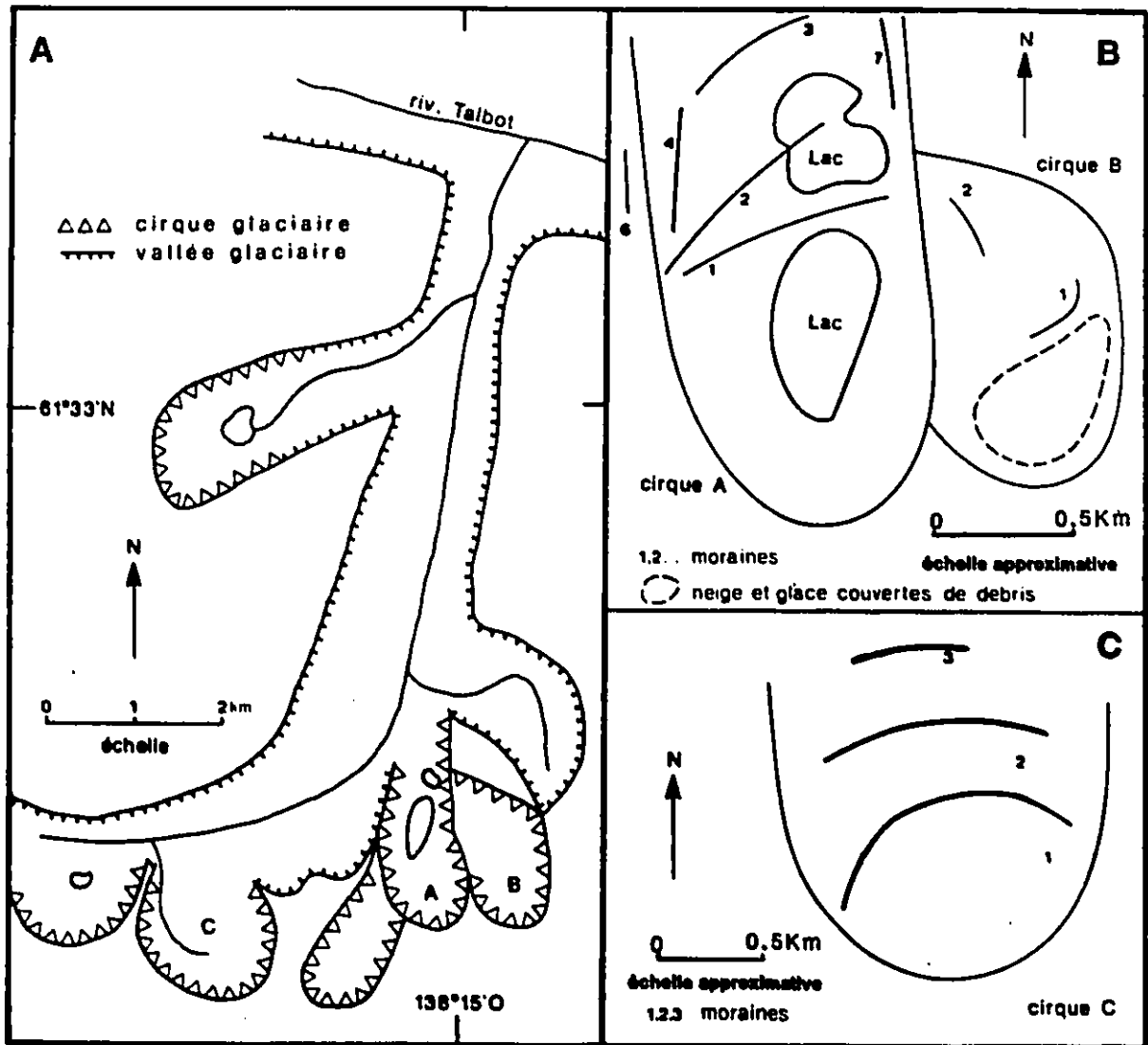


Figure 2: Chaîne Ruby **A-Région d'étude**
B-Schéma de la position des moraines dans les cirques A et B
C-Schéma de la position des moraines dans le cirque C

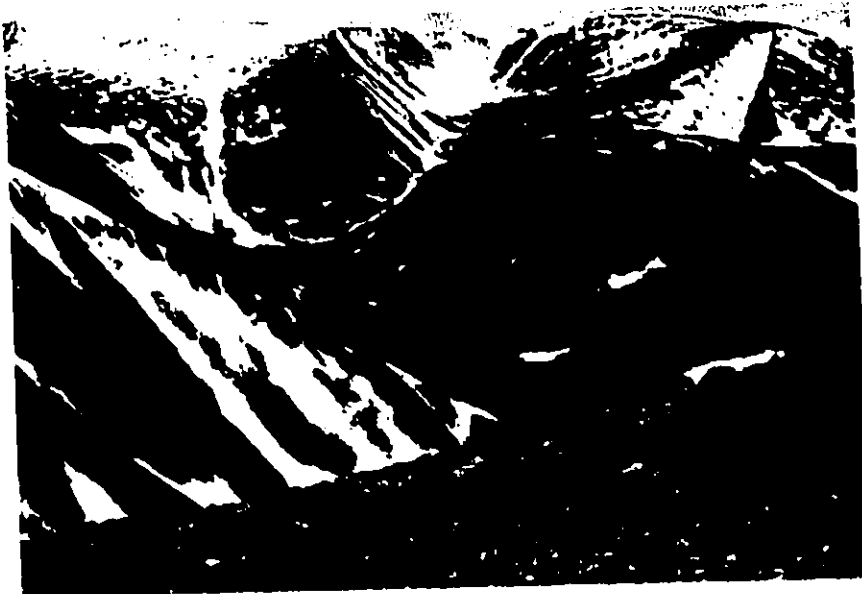


Figure 3: Cirque A, chaîne Ruby



Figure 4: Cirque B, chaîne Ruby



Figure 5: Cirque C, chaîne Ruby

ainsi que de l'apport fluvioglaciaire. Ils sont encore alimentés par l'eau venant de la fonte de neige et de glace du cirque B situé plus haut en altitude.

Le matériel formant la moraine no 1 se compose principalement de gros blocs tandis que les autres moraines de ce cirque sont formées de matériaux hétérométriques. Aussi, on retrouve une forte proportion de cendre volcanique dans le sol de la moraine no 3.

Le cirque B, d'orientation nord-ouest, s'élève à environ 1675 m d'altitude. De forme allongée, il mesure environ 500 m de large, 1300 m de long et 200 m de haut. Deux moraines y sont présentes. Elles sont formées de gros blocs. Cependant, on trouve une proportion plus grande de matériel fin dans la moraine no 2 par rapport à la moraine no 1. Entre ces deux moraines, on remarque l'emplacement d'un ancien lac dont le matériel de fond a subi beaucoup de cryoturbation. Nichées entre la moraine no 1 et la paroi du cirque, on trouve des plaques de neige semi-permanentes mesurant plusieurs dizaines de mètres carrés et couvertes

d'une couche de débris. On a pu constater que ces plaques de neige ne fondent pas totalement en été.

D'orientation nord et s'élevant à environ 1460 m d'altitude, le cirque C présente une forme circulaire. Il mesure environ 900 m de largeur, 1000 m de longueur et 330 m de hauteur. On y trouve trois moraines formées de till séparées les unes des autres par le fond d'anciens lacs dont le matériel a été mélangé par cryoturbation.

Les crêtes morainiques des trois cirques étudiés mesurent environ entre trois et cinq mètres de hauteur et sont couvertes d'une végétation de toundra. Les moraines sont d'origine glaciaire c'est-à-dire qu'elles ont été formées par une avancée ou un stade stationnaire dans le recul du front du glacier.

S'élevant environ entre 750 et 2000 m d'altitude, de son côté, le chaînon Dalton fait partie de la chaîne Kluane, à la limite est des monts St-Elias. Il longe la route qui mène de Haines Junction à Haines (en Alaska). Les glaciers rocheux que l'on étudiera font partie de ce chaînon et se situent plus exactement entre $60^{\circ} 26'$ et $60^{\circ} 28' 05''$ N et $137^{\circ} 04'$ et $137^{\circ} 10'$ O (carte no 115 A/11-115 A/6), entre les lacs Kathleen et Dezadeash. Faisant face au lac Dezadeash à l'est, quatre glaciers rocheux ont été échantillonnés, deux de dimension importante, deux de petite taille (fig. 6 à 9, pp. 12 à 15).

Les glaciers rocheux A et B se situent dans deux vallées de cirque coalescentes. Le glacier rocheux A se compose de sept lobes superposés sur lesquels s'alignent une série de bourrelets parallèles. Le tout mesure environ 400 m de largeur sur 2500 m de longueur. Les trois lobes inférieurs sont couverts d'une végétation allant de la pessière à partir de la vallée Shakkwak jusqu'à la toundra arbustive au niveau des lobes nos 2 et 3. Les lobes nos 4 à 6 sont toutefois dépourvus de sol et de végétation. Par contre, niché à la même hauteur que le lobe no 5, le lobe no 7 est couvert d'une toundra arbustive. Selon des études effectuées par le professeur P.G. Johnson, sous les débris, on trouve de la glace à partir du lobe no 4 jusqu'à l'amont du cirque (Johnson, comm.pers.).

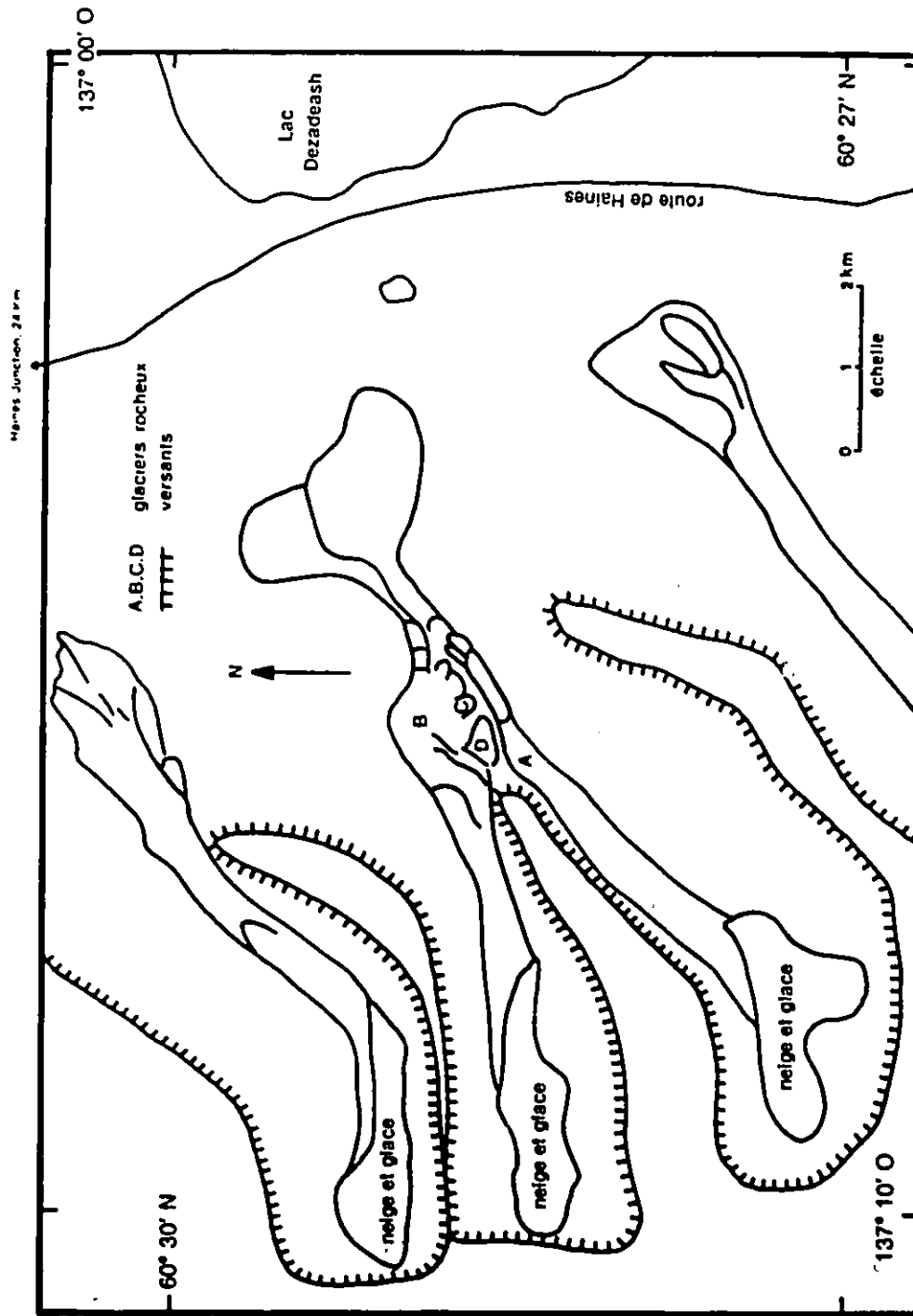


Figure 6: Région d'étude, chaîne Dalton

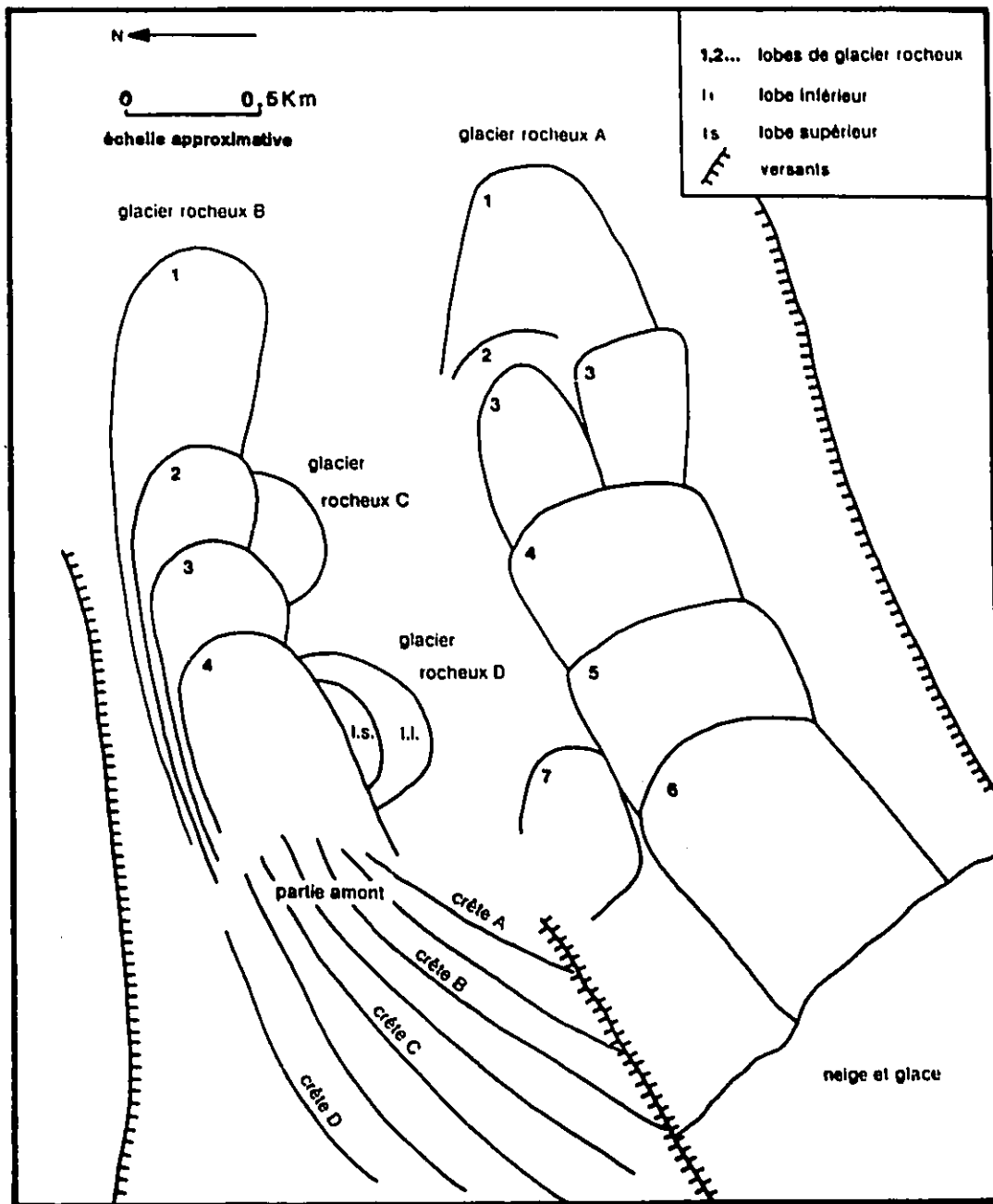


Figure 7: Schéma de la position des lobes de glacier rocheux de la chaîne Dalton



Figure 8: Dans la chaîne Dalton, glaciers rocheux A, B et les crêtes de la partie amont vus du côté nord



Figure 9: Glaciers rocheux A, B, C et D de la chaîne Dalton vus du côté sud-est

A quelques dizaines de mètres de plus en altitude, le glacier rocheux B est formé de quatre lobes recouverts d'une couverture végétale semblable à celle implantée sur le glacier rocheux A. A l'amont, un peu en dépression, s'étend une aire adjacente formée d'une série de grandes crêtes parallèles. Cette partie est totalement dénudée de sol et de végétation. De la base du lobe no 1 jusqu'à la paroi à l'amont du cirque, on mesure environ 2500 m de longueur sur 400 m de largeur. Sous ce glacier rocheux, la glace s'étend du lobe no 3 jusqu'à la limite à l'amont du cirque.

Ces deux glaciers rocheux sont d'origine glaciaire par opposition à une formation périglaciaire. On retrouve de la glace active à l'amont, dans les cirques. En période d'ablation, les blocs accumulés sur la glace morte du front protègent celui-ci d'une fusion totale. Cela forme un premier lobe. A l'avancée suivante, la langue glaciaire recouvre la partie amont du premier lobe. Puis le même phénomène se reproduit à chaque période d'ablation formant ainsi un nouveau lobe à chaque réavancée (Johnson, 1978).

Le glacier rocheux C n'a qu'un seul lobe et mesure environ 100 m de largeur sur 100 m de longueur. Il occupe une position latérale entre les glaciers rocheux A et B, comme s'il résultait d'un débordement du glacier rocheux B à la hauteur du lobe no 3B. Il est recouvert d'une toundra arbustive et le matériel qui le compose est hétérogène.

Enfin, le glacier rocheux D occupe une position similaire à celle du glacier rocheux C. Il se compose cependant de deux lobes et mesure environ 150 m de largeur sur 200 m de longueur. Son matériel est hétérogène et une toundra arbustive en recouvre sa surface.

Ces glaciers rocheux C et D sont d'origine périglaciaire. Ils sont alimentés en blocs rocheux et en eau par le glacier rocheux B (Johnson, comm. pers.). Sur les glaciers rocheux C et D, on remarque en effet, un niveau plus humide dans le matériel marqué par la présence d'une bande de végétation à cette hauteur sur la paroi.

1.4.2 Conditions climatiques

Bien que sise près des côtes du Pacifique, toute la région à l'est des monts St-Elias trouve son climat "continentalisé". La barrière que forment les monts St-Elias bloque les masses d'air humide les obligeant à remonter en altitude, se condenser et déverser la majeure partie de leur humidité sur le flanc ouest de ces montagnes (Webber, 1974). De plus, en hiver, toute la région baigne dans l'air arctique froid et sec venant de la mer de Beaufort gelée (Kendrew et Kerr 1955). Les températures sont basses et les précipitations faibles. Cependant, on distingue une légère différence entre les chaînes Ruby et Dalton au point de vue précipitation. Haines Junction, séparée par environ 24 km de la chaîne Dalton, se situe dans un couloir préférentiel composé de basses vallées au sud permettant à l'air humide du Pacifique d'arriver jusque-là lorsque les vents le permettent. Arrivés au-dessus de la chaîne Ruby, les nuages sont déjà dépourvus d'humidité. Par exemple, entre 1951 et 1980, les moyennes annuelles de précipitation ont été de 292,5 mm pour Haines Junction et de 256,3 mm à Aishihik et les chutes de neige se sont élevées à 140,7 cm à Haines Junction et à 104,5 cm à Aishihik (Normales climatiques au Canada, 1982).

Dans les cirques et les vallées, il se présente aussi le phénomène de vent catabatique causé par la différence de température de deux masses d'air. En été, réchauffé par le soleil, l'air chaud s'élève dans l'atmosphère tandis que l'air frais, plus dense, descend dans les cirques et les vallées. Ce vent froid assèche et nuit au réchauffement du sol.

Aussi, les caractéristiques de la couverture nuageuse relèvent du même phénomène que les précipitations. La masse nuageuse est plus abondante sur la côte et décroît en entrant sur les terres à mesure que l'air s'assèche (Webber, 1974). L'épaisseur des nuages est plus importante où l'air humide ascendant se condense ainsi que sur le versant sous le vent des montagnes. Ce résultat marque deux régimes nuageux, un de chaque côté de la barrière formée par les monts St-Elias. Ils renferment cependant différents types de nuages et différentes fréquences (Taylor-Barge, 1969; Webber, 1974). On assiste ainsi à la formation de nuages au-

dessus de la chaîne Kluane, dissipation au-dessus de la vallée Shakwak et reformation sur la chaîne Ruby (Webber, 1974).

1.4.3 Végétation

Une toundra arbustive couvre le sol des hautes vallées de la chaîne Ruby situées au-dessus de la limite des arbres. Les surfaces les plus mal drainées sont colonisées par différentes mousses (ex.sphaignes). Sur le matériel mieux drainé (glaciaire et fluvioglaciaire), s'installent notamment des Dryas sp. , des graminées et Carex sp. ainsi que plusieurs types de lichens. Les bouleaux et les saules poussent le long des cours d'eau, où le sol est plus humide.

Dans la chaîne Dalton, la végétation varie selon l'altitude. Dans la vallée Shakwak, les lobes des glaciers rocheux les plus bas sont colonisés par la pessière. Les lobes de plus haute altitude sont recouverts par la toundra arbustive. Au sein de cette toundra arbustive, la proportion arbustes/herbes diminue à mesure que l'on s'élève en altitude. Les arbustes sont principalement des saules, bouleaux et génévriers; les plantes herbacées sont des graminées, dryas, des saxifrages, l'épilobe, le lupin, etc. Sur les lobes plus récents, la végétation ne pousse pas faute de sol.

1.4.4 Sols

Dans la chaîne Ruby, le pergélisol discontinu est présent dans le sol. Les basses températures engendrent la présence d'un substratum gelé et imperméable affectant directement le développement du sol. A ces endroits, le mollisol est souvent humide, froid et mal drainé ayant subi des cryoturbations. Parfois, on trouve des lentilles de glace enfouies dans le sol. Ces caractéristiques engendrent des sols peu ou partiellement développés comme des régosols et cryosols (Classification canadienne des sols, 1978). Le mauvais drainage entraîne quelque fois la gléification. Dans les endroits où l'on retrouve le pergélisol, la couche de mollisol

s'étend environ à une profondeur de 30 cm et elle est recouverte d'une couche de matière organique peu ou mal décomposée, épaisse de 2 à 3 cm environ. Le matériel parental sur lequel ces sols se développent est principalement formé de matériel glaciaire, fluvioglaciaire ou de colluvions. Aussi, on peut repérer dans le sol une couche distincte, ou mélangée au reste du matériel, de cendre volcanique appelée "White River Ash". Cette cendre volcanique date d'environ 1230 ans C-14 BP (Denton et Karlén, 1977). Sur les moraines échantillonnées, l'épaisseur du matériel meuble composant le sol est d'environ 30 cm. Dans les vallées, sur des colluvions, on en rencontre qui ont plus de trois mètres d'épaisseur.

Dans la chaîne Dalton, on trouve des sols plus minces que dans la chaîne Ruby. Ils mesurent de 6 à 30 cm environ. L'épaisseur de la couche de mollisol dépasse largement l'épaisseur du sol ce qui fait qu'ils sont bien drainés. Ils se forment sur du matériel glaciaire composé principalement de cailloux et de gros blocs. Leur développement est limité et ils se composent principalement de sable, de limon et d'une très forte proportion de matière organique. Dans cette région, on ne remarque pas la présence de cendre volcanique.

1.4.5 Géologie

La chaîne Ruby est composée d'un batholite granitique intrusif (Bostock 1948; Muller, 1967). Ce batholite renferme principalement de la granodiorite à hornblende-biotite et quartz diorite. Il est aussi possible de trouver du quartz monzonite et du quartz granodiorite gneissique (Muller, 1967). La granodiorite à hornblende-biotite est composée d'un grain de taille moyenne à grossière accompagné d'un contenu de minéraux mafiques variant de 5 à 20 %. La diorite à hornblende-biotite possède une granulométrie plus fine avec un contenu mafique plus important de l'ordre d'environ 15 à 30 % (Muller, 1967). Muller (1967) a identifié deux âges distincts pour la roche granitique formant le batholite de la chaîne Ruby. La première phase de formation daterait du Jurassique inférieur, la deuxième, du début du Tertiaire ou de la fin du Crétacé.

Le massif formant la chaîne Dalton est composé principalement de roches sédimentaires avec quelques intrusions de péridotite, serpentinite et granodiorite (Kindle, 1953). Les roches sédimentaires de la chaîne Dalton sont de l'ardoise, du grauwacke, de l'argilite, du quartzite, du silex, du calcaire grossier impur, du tuff conglomératique, du grès et du tuff stratifié (Kindle, 1953). Ces roches ont été plissées le long d'un axe d'orientation nord-ouest et sont coupées par de nombreuses failles suivant le même axe. L'épaisseur de l'ensemble des couches de roche formant la chaîne Dalton excède 3657 mètres (Kindle, 1953).

1.4.6 L'histoire glaciaire

Au cours du Pléistocène, le sud-ouest du Yukon a été envahi par au moins trois glaciations (Denton, 1974). La première, la glaciation de Shawkak, fut suivie de l'interglaciaire Silver. Il y a 49000 ans C-14 BP (Y-1486), une deuxième phase glaciaire prit place, la glaciation Icefield, suivie de l'interglaciaire Boutellier (Denton, 1974). Enfin, la période glaciaire la plus récente, s'étalant entre 29600 ± 460 ans C-14 BP (GSC-769) jusqu'à 12500 ± 200 ans C-14 BP (Y-1386), se nomme Kluane-Macauley (Denton, 1974). Au cours de cette dernière glaciation, la glace occupa la vallée de la White River et pénétra sur le territoire en direction est où elle fusionna avec le côté ouest d'un complexe glaciaire qui se formait en piedmont au nord des monts St-Elias (Denton, 1974). Le maximum d'étendue glaciaire Kluane-Macauley se situait près de Snag il y a environ 14000 ans (Rampton, 1971b). Puis, le retrait fut rapide. Depuis environ 12000 ans, la glaciation de Kluane-Macauley a cédé la place à la période interglaciaire actuelle.

Cette période interglaciaire est cependant divisée en plusieurs étapes. Tout d'abord, suivant la glaciation de Kluane-Macauley, la période "Hypsithermal", caractérisée par des températures plus chaudes, dure jusqu'à environ 5800 ans BP (Denton et Karlén, 1973). Ensuite, le présent interglaciaire fut ponctué de périodes de réavancées, d'intensités variables, des fronts glaciaires. Selon Denton et Karlén (1973, 1977), le front des glaciers aurait avancé entre 5800

et 4900 ans BP, 3300 et 2400 ans BP, 1250 et 1050 ans BP et pendant le Petit Age Glaciaire (sensu stricto).

Aujourd'hui, il n'y a plus de glace dans la chaîne Ruby. Par contre, certains glaciers de cirque survivent dans la chaîne Dalton mais ils sont très restreints.

1.4.7 Critères de sélection des deux régions étudiées

La région de la chaîne Ruby fut choisie à cause de notre intérêt suscité par l'hypothèse avancée par M. Peter G. Johnson selon laquelle des glaciers de cirque auraient été présents dans la chaîne Ruby au cours de l'Holocène. Dans ce travail, par la datation des moraines présentes dans les cirques de la chaîne Ruby, nous nous appliquerons à détecter si, en effet, il fut possible pendant une période donnée de l'Holocène de marquer la présence de glaciers de cirque dans cette région.

La chaîne Dalton, pour sa part, fut choisie à cause de la présence de nombreux glaciers rocheux composés de plusieurs lobes et dont chacun aurait été formé par chaque réavancée glaciaire de cette région. Les lobes de ces glaciers rocheux sont d'origine glaciaire. Ils représentent au même titre que les moraines de la chaîne Ruby une avancée du front du glacier ou une pause dans le retrait de la glace marquant ainsi la position du front glaciaire à diverses périodes. Les lobes qui forment les glaciers rocheux de la chaîne Dalton ont été échantillonnés afin de les dater pour élaborer la chronologie des fluctuations des glaciers de cette région. On a donc travaillé dans la chaîne Dalton afin de comparer l'activité glaciaire qui a eu lieu dans cette chaîne par rapport à celle qui s'est manifestée dans la chaîne Ruby.

Chapitre II

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 ETUDES DES FLUCTUATIONS DES GLACIERS DE L'HOLOCENE

Depuis le début du siècle, les connaissances des fluctuations climatiques et de la position des fronts glaciaires de l'Holocène ont bien évolué. Jusqu'au milieu de ce siècle, on devait se contenter de constater qu'effectivement les fronts des glaciers de l'Holocène avaient avancé et reculé à plusieurs reprises depuis la fin de la dernière grande glaciation du Pléistocène (Sharp, 1951; Miller, 1964). En effet, à cette époque, on ne pouvait dater les différentes moraines terminales que de façon relative, car la datation au radiocarbone n'était pas encore au point.

Dans les années 50, avec l'arrivée de la technique de datation au C-14, les connaissances des fluctuations des glaciers de l'Holocène n'ont pas cessé de s'accroître et de s'améliorer. Depuis deux décennies, les géomorphologues ont élaboré principalement deux chronologies de l'Holocène dont la deuxième vient préciser la première.

Avant de déterminer la chronologie des différentes fluctuations climatiques qui se sont produites au cours de l'Holocène, on a tout d'abord établi la limite entre l'époque de la dernière glaciation continentale du Pléistocène et l'inter-glaciaire qui suivit que l'on appelle Holocène. Au Yukon, on nomme la dernière grande avancée glaciaire la glaciation de Macauley ou Kluane. Par la datation au radiocarbone de matériel organique trouvé dans du till de la glaciation de Kluane, on a pu estimer que la glaciation de Kluane aurait débuté aux environs de 30100 ± 600 BP (Y-1385) (Denton et Stuiver, 1967). La morphologie du matériel glaciaire et la stratigraphie combinées avec des datations au radiocarbone indiquent que vers 12500 ± 200 BP (Y- 1386) (Denton et Stuiver, 1966) la glace de l'extension de Kluane s'est retirée aux

abords du lac du même nom et que vers 9780 ± 80 BP (Y-1483) le front glaciaire se trouvait en amont de sa position actuelle. Cette époque se caractérise par un réchauffement et un assèchement du climat. La fonte des glaciers de Kluane et la persistance de ce nouveau climat furent nommés en général "Hypsithermal" et intervalle non-glaciaire Slims, pour la région du sud-ouest du Yukon. Durant cette époque qui commence autour de 12500 - 9780 BP (Denton et Stuiver, 1967) selon les endroits, les glaciers ont continué de fondre, ont disparu ou sont restés stationnaires. Au Yukon, la date de ce retrait (soit entre 12500 et 9780 BP) marquant la période de transition entre le Pléistocène et l'Holocène est acceptée depuis le début des années 60. Par contre, la limite supérieure de l'"Hypsithermal" varie selon les auteurs.

Afin de définir la chronologie de la Néoglaciation, on a tout d'abord commencé cette étude par la position des moraines faisant face aux glaciers actuels. Dans cette approche, Denton et Stuiver (1966) ont étudié le développement de la végétation implantée sur chacune des moraines, la présence de cendres volcaniques et la localisation des moraines marquant ainsi l'étendue de chaque avancée. En plus des datations au radiocarbone, selon les âges relatifs, ils ont regroupé les moraines et ont pu constater que chaque groupe pouvait indiquer une réavancée ou un état stationnaire durant le retrait général. La première avancée de la Néoglaciation, indiquée par la transition du sol formé durant la période Slims à une couche de dépôts de loess et de till, fut datée d'environ 2640 ± 80 BP (Y-1435) (Denton et Stuiver, 1966). Durant cette réavancée, les fronts glaciaires occupèrent une position plus étendue que durant l'intervalle Slims. Après cette époque, les fronts ont encore reculé.

Ensuite, Denton et Stuiver (1966) ont décelé une autre période de réavancée générale qui fut la plus étendue. On l'appelle le Petit Age Glaciaire et elle s'est manifestée durant les derniers siècles jusqu'à aujourd'hui. Dans leur étude des glaciers Donjek et Kaskawulsh, ces mêmes auteurs (Denton et Stuiver, 1966) ont pu dater le maximum d'étendue de ces deux glaciers durant le Petit Age Glaciaire. Un morceau de bois datant de < 260 BP (Y-1482) et trouvé dans la plus haute plage d'un lac de barrage créé par l'avancée néoglaciale maximum

du glacier Donjek indique que le retrait s'est effectué après cette date. Une autre date radiométrique de morceaux de bois trouvés dans la moraine frontale la plus éloignée du Kaskawulsh (110 ± 80 BP (Y-1489)) suggère que le retrait de ce glacier date d'avant 1840 AD.

L'année suivante, Denton, et Porter (1967), ont détecté une avancée néoglaciale plus précoce autour de 4600 BP. Son étendue fut beaucoup moindre que les deux autres avancées majeures identifiées auparavant soit celle de 2600-2800 BP et le Petit Age Glaciaire. Ils ont aussi remarqué que contrairement à ce qui avait été trouvé les années précédentes, le Petit Age Glaciaire ne s'étendait pas jusqu'à aujourd'hui mais plutôt jusqu'à la fin du siècle dernier. Une récession générale s'est ensuite manifestée. Les glaciers ont réavancé dans les années 40 et 50 en réponse aux conditions de températures plus froides et d'humidité plus élevée.

De son côté, Rampton (1970) étudia la position des moraines frontales des glaciers Natazhat et Klutlan dans le sud-ouest du Yukon. Par son étude, il établit l'évolution chronologique de ces deux glaciers durant le Petit Age Glaciaire. Les datations au C-14 de matériel organique trouvé dans les moraines, la dendrochronologie de la végétation implantée sur ces moraines, la lichénométrie et la chronostratigraphie indiquèrent le maximum de cette réavancée autour de 3300 ± 130 BP (GSC- 933) pour le glacier Natazhat et 1520 ± 130 BP (GSC-751) pour le glacier Klutlan (Rampton, 1970). Les diverses avancées de cette période reflèteraient une réponse aux températures d'été plus fraîches. Depuis 1947, ces deux glaciers seraient restés inactifs.

Rampton (1970) a aussi recensé sept moraines frontales appartenant au glacier Klutlan et quatre au glacier Natazhat. Ces moraines frontales, indiquant les réavancées, sont datées à 1520 BP, 850 à 1100 BP, 210 BP, 160 BP, 150 BP, 75 BP et 15 BP pour le Klutlan et 500 BP, 235 BP, 40 BP et 25 BP pour le Natazhat qui depuis s'est retiré et maintenant demeure stagnant.

Rampton a aussi comparé les dates de réavancées du Natazhat et du Klutlan avec celles du Donjek et du Kaskawulsh. Elles ne coïncident pas. Pour la période du Petit Age Gla-

ciaire, la première réavancée du Kaskawulsh et du Donjek date de 2640 BP (Rampton, 1970). L'extension maximale du Kaskawulsh aurait été atteinte vers 500 BP et celle du Donjek vers 440 BP. Leur dernière réavancée se situerait autour de 250 BP. L'absence de synchronisme des réavancées de ces quatre glaciers viendrait du fait que ces réavancées seraient des crues glaciaires. Le décalage dans la réponse aux fluctuations climatiques dépendant de la différence de grosseur des glaciers (un glacier plus gros est moins sensible aux fluctuations climatiques) et des différentes fluctuations des micro-climats entourant chacun de ces glaciers pourraient aussi en être la cause.

Plus tard, au début des années 80, connaissant l'âge des moraines frontales à noyau de glace du Klutlan, on a entrepris des études de changement de morphologie, de pédologie, de limnologie et du développement de la végétation implantée sur ces moraines afin de mieux interpréter les résultats de l'application de ces différentes techniques (Birks, 1980; Bradbury et Whiteside, 1980; Jacobson et Birks, 1980; Watson, 1980; Whiteside, Bradbury et al., 1980; Wright Jr., 1980).

A mesure que les recherches sur le terrain continuaient, on découvrit d'autres évidences d'avancées glaciaires datées d'âges différents de celles déjà trouvées. En 1973, Denton et Karlén proposèrent une nouvelle chronologie des fluctuations de l'Holocène venant améliorer celle déjà établie. A ce moment, on avait pu cartographier en détail la position des moraines, étudier la stratigraphie des différents matériaux glaciaires et délimiter l'aire de répartition des deux niveaux des cendres "White River Ash" datées de 1230 C-14 ans BP et 1980 C-14 ans BP (Denton et Karlén, 1977).

Par la datation au C-14 des moraines montrant les fluctuations de 14 fronts glaciaires du sud-ouest du Yukon et de l'Alaska, Denton et Karlén (1973) ont pu démontrer qu'il y a eu durant l'Holocène deux intervalles majeurs d'expansion glaciaire. Le premier eu lieu entre 3300 et 2400 BP et le plus récent, durant le Petit Age Glaciaire (sensu stricto) c'est-à-dire entre 1500 AD et le XX^{ème} siècle. Sur le terrain, la proximité des complexes morainiques de

ces deux avancées indique qu'elles ont été d'amplitude équivalente. Les mêmes auteurs ont aussi déterminé deux autres réavancées. Une de ces avancées a eu lieu entre 1250 et 1050 BP et elle fut de faible extension. Enfin, une étude de Denton et Karlén (1973) dans les monts Sarek et Kebnekaise en Suède sur les fluctuations glaciaires de l'Holocène appuie cette chronologie. Elle fait aussi ressortir une autre réavancée durant l'intervalle 5800-4900 BP généralement moins étendue que les deux avancées majeures. Si cette avancée est passée inaperçue jusque-là, c'est peut-être dû au fait qu'étant moins étendue, ses moraines auraient été détruites par les avancées plus considérables. Ces moraines étaient peut-être plus petites ou n'avaient pas de noyau de glace permettant ainsi aux réavancées plus étendues de les détruire plus facilement ou aux eaux fluvioglaciaires de les éroder. Dans cet ouvrage de Denton et Karlén (1977), on explique aussi que l'on retrouve, accompagnant les retraits glaciaires, des montées en altitude de la ligne des arbres. Ces périodes de retrait des glaciers ayant eu lieu entre 5975-6175 BP, 4030-3300 BP, 2400-1250 BP et 1050-460 BP et enfin depuis 1920 AD jusqu'à aujourd'hui correspondent à l'âge de la mort des morceaux de bois trouvés sous du till à environ 76 mètres au-dessus de la ligne des arbres actuelle et datant de 5250 BP, 3600-3000 BP et 2100 à 1230 BP (Denton et Karlén, 1973, 1977).

Denton et Karlén (1973) ont aussi fait la corrélation et détecté une correspondance entre les fluctuations des glaciers de l'Holocène dans les monts Kebnekaise et Sarek en Suède et les monts St-Elias au Yukon. Dans l'ensemble, les grandes fluctuations climatiques se sont reflétées dans les profils polliniques, les carottes prises dans le fond des lacs ou dans les glaciers. Ils ont remarqué que ces quatre réavancées étaient marquées par de petites fluctuations mineures. En Scandinavie, ils ont trouvé que durant la période du Petit Age Glaciaire, les fluctuations mineures ont eu lieu en AD 1500-1640, 1710, 1780, 1850, 1890 et 1916. Ils pensent qu'il doit en être de même pour les fluctuations qui ont eu lieu dans les monts St-Elias.

Déjà, au milieu des années 60, suivant les différentes études effectuées ailleurs dans le monde: Alpes, Scandinavie, Rocheuses, Alaska, etc., on détecte un certain synchronisme des

diverses fluctuations des fronts glaciaires (Denton et Porter, 1967). Par le recensement de textes historiques au sujet des glaciers alpins en Europe, Le Roy Ladurie (1967) fait l'inventaire des fluctuations de ces glaciers pour en déceler l'histoire du climat depuis l'an mil et fait la comparaison avec d'autres régions (Scandinavie, Alaska, Himalaya, Amérique du Sud, Groënland, Antarctique etc). Il découvre que depuis l'an mil, mis à part les décalages entre les maxima et minima glaciaires d'une région selon le temps de réponse des glaciers aux fluctuations climatiques, les tendances régionales s'affirment et ces tendances tendent à concorder avec celles de la plupart des régions du monde. De plus, à l'aide de la palynologie, Patzelt (1974) trouva que dans les Alpes, le comportement des glaciers semblait être en accord avec l'ensemble des fluctuations climatiques de l'Holocène et que ces fluctuations concordaient avec celles relevées en Alaska et dans l'archipel arctique canadien.

Puis, plusieurs autres études viennent s'ajouter dont celles de Benedict au Colorado (1973), Luckman et Osborn dans les Rocheuses (1979), Blake Jr. dans les îles arctiques (1981), Karlén en Scandinavie (1973) et Burrow et Gellatly en Nouvelle-Zélande (1982) pour n'en nommer que quelques-unes qui adhèrent à l'idée d'un certain synchronisme des fluctuations glaciaires de l'Holocène. Cependant, Williams et Wigley (1983), dans leur étude sur la comparaison des évidences des variations des températures d'été de la fin de l'Holocène dans l'hémisphère nord, apportent certaines réserves. Ils démontrent que même si dans l'ensemble certains épisodes sont communs à toutes les régions étudiées, il y a eu cependant des décalages d'une région à l'autre de l'arrivée des maxima et minima de ces épisodes ou opposition de phase. Par exemple, au V^{ème} siècle, les étés étaient plus chauds dans l'est de l'arctique canadien et au sud du Groënland tandis que les températures étaient plus basses en Europe et dans l'ouest de l'Amérique du nord.

Enfin, par l'analyse de leurs données et résultats, Denton et Karlén (1973) ont décelé une certaine périodicité dans les fluctuations de l'Holocène. Ils ont remarqué que la durée des expansions glaciaires pouvait s'étendre jusqu'à 900 ans et que les périodes de recul, 1750 ans.

Les maxima des réavancées glaciaires culminant dans les années 200-300, 2800 et 5300 BP suggèrent l'apparition d'activité glaciaire majeure environ tous les 2500 ans. Par des études sur la variation du taux de C-14 atmosphérique reflétée dans la dendrochronologie et les carottes prises dans de la glace de glacier, ces auteurs suggèrent que les fluctuations de l'activité solaire seraient la cause possible du déclenchement des fluctuations climatiques de l'Holocène. Certains ont avancé l'hypothèse qu'il y avait correspondance entre les périodes d'activité intense du soleil avec une augmentation du taux de C-14 terrestre et les fluctuations des glaciers (Denton et Karlén, 1973 ; Kutzbach, 1983).

2.2 TECHNIQUES DE DATATION

Pour l'étude des fluctuations glaciaires et l'élaboration d'une chronologie, le meilleur outil s'avère la datation au radiocarbone car cette technique donne une date absolue. Malheureusement, certaines difficultés se présentent. Sur le terrain, on ne trouve pas toujours du matériel datable et quand on en trouve, il peut être contaminé par les racines contemporaines ou être associé à des sédiments remaniés par cryoturbation, solifluxion ou éboulis.

Associées aux résultats de la méthode au radiocarbone, plusieurs autres techniques peuvent être employées. Ce sont des méthodes de datation relative. Parmi celles-ci, on peut entre autre se servir de la palynologie, de l'altération des roches, du développement et de la succession des communautés végétales, du degré de pédogenèse, de téphrochronologie, etc. Enfin, en plus d'employer les lichens comme technique de datation relative, certains auteurs s'en servent comme datation absolue (Benedict, 1967; Luckman, 1976; Ellis et Calkin, 1984).

2.2.1 Lichénométrie

Beschel (1961) et Benedict (1967,1968) ont mis au point une méthode de datation absolue fondée sur la courbe de croissance des lichens. Cette méthode a été utilisée en Suède aux monts Kebnekaise (Karlén, 1973) et dans les monts Sarek (Denton et Karlén, 1976), dans les monts Svartisen en Norvège (Karlén, 1979) ainsi que dans les monts Saint-Elias du sud-ouest du Yukon (Denton et Karlén, 1973), au mont Edith Cavell en Alberta (Luckman, 1976) et dans la chaîne Brook en Alaska (Ellis et Calkin, 1984).

Cette technique s'appuie sur le principe de base que les surfaces nouvellement déglacées sont rapidement colonisées par les lichens et que ces derniers croissent de façon prévisible et à une vitesse qui peut être déterminée. On remarquera donc que la grandeur du diamètre des lichens les plus larges est proportionnelle à l'âge de la surface colonisée. A l'aide de dates historiques et C-14, une fois la courbe de croissance des lichens calculée, on peut tenter de dater les moraines les plus anciennes par la correspondance du diamètre des lichens avec le temps écoulé selon la courbe établie. Quand on emploie cette technique, on doit au départ assumer que les lichens ne survivent pas sous la glace, que la colonisation se fait peu de temps après la récession du glacier, que les lichens ont un même comportement dans toute la région étudiée en fonction du même micro-climat et qu'enfin, les plus grands thalles représentent les individus qui ont immigré juste après la récession du glacier (Karlén, 1973). On doit cependant être prudent lorsqu'on adopte ces suppositions. Elles doivent être soigneusement vérifiées dans la région où on prévoit les appliquer. De plus, certaines règles doivent être suivies. D'abord, on doit se rendre compte que la datation absolue par la lichénométrie peut devenir approximative vue la croissance variable du lichen dans le temps. Par exemple, pour le mont Edith Cavell, la courbe calculée par Luckman (1976) indique un taux de croissance de 42 mm par siècle pour les premiers 110 ans et 11,4 mm par siècle, les 140 années suivantes. A cela, s'ajoute une certaine compétition entre différents thalles occasionnant l'arrêt de croissance et même la mort de l'un d'entre eux (Innes, 1983). Dans leur article, Ellis et

Calkin (1984) démontrent par un graphique que plus on remonte dans le temps, plus la marge d'erreur est importante ce qui suggère la nécessité d'un grand nombre de dates absolues pour élaborer la courbe de croissance. Par ailleurs, il faut aussi dresser une courbe de croissance pour chacune des régions étudiées. Les mesures s'effectuent essentiellement sur la même espèce de lichens, habituellement Rhizocarpon geographicum sl., implantée sur un matériel stable, dénué de végétation, formé du même type de roche et subissant la même durée d'enneigement. Karlén (1973) révèle qu'en dépit de ces précautions, la croissance des lichens peut quand même varier considérablement au sein d'une région limitée. Enfin, Innes (1985) a démontré que les mesures doivent être prises par la même personne pour garder uniforme la collecte des données.

Les techniques de mesure des lichens peuvent varier selon les auteurs. Certains ne mesurent que les lichens les plus gros sur une surface plus grande que 500 mètres carrés, d'autres mesurent que sur des surfaces plus petites allant de 0,25 à 100 mètres carrés (Karlén 1973). Certains relèvent le plus petit diamètre du thalle de Rhizocarpon geographicum faisant partie du groupe des plus larges recouvrant une moraine d'au moins 20 mètres de large (Luckman, 1977). Enfin, pour leur part, Ellis et Calkin (1984) se sont servis de six espèces de lichens dont le taux de croissance a été converti pour équivaloir à celui du Rhizocarpon geographicum. Ces différences dans la collecte des données rendent difficile la comparaison des résultats d'un ouvrage à l'autre.

A la suite de tous les problèmes qui s'infiltrèrent dans l'utilisation de la lichénométrie comme technique de datation absolue, certains auteurs comme Lambert (1982) utilisent les lichens comme datation relative. Respectant les contraintes de la similitude des caractéristiques dans toute la région d'étude, on peut utiliser le degré de recouvrement des roches par les lichens et les mesures de grosseur moyenne de ces derniers comme indice de développement, par conséquent de temps, d'un endroit par rapport à un autre.

2.2.2 Palynologie

La végétation reflétant l'environnement climatique, l'analyse des spectres polliniques dévoile les variations de température et d'humidité subies par la région étudiée. Par exemple, sachant que tel type de plantes vit dans un endroit froid et sec, on pourra donc associer la présence de son pollen aux conditions climatiques correspondantes.

Plusieurs auteurs ont employé cette technique (Ritchie, 1984; Bourgeois et Geurts, 1983; Heusser, 1983). Rampton, qui travailla dans la région Snag-Klutlan dans le sud-ouest du Yukon, fit un forage dans un lac appelé Antifreeze Pond (1971a) ainsi que dans des matériaux glaciaires (1971b). Le long de la carotte, à l'aide de dates au radiocarbone, il pu retracer la séquence paléoclimatique et paléo-végétation depuis 31000 ans BP. Cependant, le spectre pollinique ne révèle pas les fluctuations climatiques mineures de l'Holocène. Rampton (1971a) explique que depuis 5690 BP la pluie pollinique sur Antifreeze Pond a été constante mais cela n'indique pas nécessairement que le climat régional l'ait été car on a trouvé des troncs d'arbres au-dessus de la limite actuelle des arbres datant d'époques plus récentes (Denton et Karlén, 1977).

A défaut d'une palynostatigraphie préalablement établie, on doit établir les chronoséquences en se basant sur des datations au radiocarbone d'échantillons du profil palynologique. Les chronoséquences et les vitesses de sédimentation sont calculées par interpolation entre deux niveaux datés. La validité de l'interpolation dépend de la constance du rythme de sédimentation. On devra donc prendre avec réserve les interprétations chronologiques des profils de matériaux hétérogènes de Miller et Anderson (1984) dans la région de Taku et Atlin qui se sont fondées que sur l'interpolation entre deux niveaux datés.

La palynologie nous permet aussi de suivre la migration dans l'espace de certaines espèces comme les épinettes (Ritchie, 1984) dans la vallée du MacKenzie fournissant ainsi des informations sur le trajet du retrait des glaces à la fin du Pléistocène au Yukon. Enfin, en plus de nous aider à comparer les différentes séquences des changements climatiques d'une

région par rapport à une autre (Wright Jr., 1972, 1976), l'étude des pollens nous permet de suivre l'évolution de la végétation ne reflétant pas nécessairement les conditions climatiques mais plutôt l'évolution des sols.

2.2.3 Sols, végétation et téphrochronologie

La végétation implantée sur du matériel comme des terrasses fluvioglaciaires (Viereck, 1966) ou une série de moraines se regroupant en complexe (Wright, 1980), peut donner un indice de temps. Par la succession dans l'espace du degré de développement végétal, on peut estimer la séquence temporelle de l'édification des formes colonisées. La présence ou l'absence de certaines espèces, l'association ou le type de communauté indiquent le degré de développement. Dans son étude, Viereck (1966) définit cinq stades de développement qui vont des espèces colonisatrices au climax de toundra. La succession des différents stades du développement des plantes ne s'associe pas nécessairement à des conditions climatiques. Elle ne sert qu'à inventorier chronologiquement les différentes formes étudiées dans un même méso-environnement comme une ou un groupe de vallées glaciaires. Fortement liée au sol, la succession du développement de la couverture végétale évolue à mesure que le sol se développe. La séquence végétale reflète les propriétés chimiques du sol sous-jacent (Jacobson et Birks, 1980). Le till sur lequel s'implantent les espèces pionnières possède un pH de 8,0 et un faible taux de matière organique, d'azote et de phosphore (Wright Jr., 1980). A mesure que le temps passe, le sol se développe, le pH décroît, le taux d'azote augmente et les plantes colonisatrices, caractérisées comme fixatrices d'azote, cèdent peu à peu la place à des espèces plus rapprochées du climax (Wright Jr., 1980).

L'étude des sols peut révéler deux sortes d'indices: indices de temps (Jacobson et Birks, 1980) qui, comme précédemment discuté, n'a rien à voir avec le climat; et des indices climatiques, qui se présentent par l'étude de la stratigraphie des paléosols (Foscolos et al., 1977; Birkeland, 1978; Tarnocai et al., 1985). Dans le premier cas, les sols étudiés sont contempo-

rains, souvent des régosols ou cryosols, toujours en développement et représentent un court laps de temps comme l'Holocène. Dans le second temps, ce sont des paléosols résultant de divers épisodes de sédimentation et de matériel parental varié où chacun marque et caractérise des changements paléo-environnementaux et pédogénétiques (King, 1984). Ensemble, les paléosols dévoilent la synthèse des différents changements majeurs généraux qui ont eu lieu au cours du Quaternaire (Birkeland, 1978; King, 1983). Cependant, dans certains cas (Griffey et Matthew, 1978), quand on en trouve, on peut se servir d'une succession stratigraphique de paléosols séparés par des couches de mousses ou de matériel organique pour dater des réavancées néoglaciales comme ce fut le cas par exemple au sud de la Norvège.

Dans l'étude de la stratigraphie des paléosols du Quaternaire, on peut, en plus de distinguer le degré de développement des horizons et d'oxydation (Birkeland, 1978), s'attaquer à des caractéristiques qui demandent un temps considérable à se développer comme l'altération des argiles et le changement de stade de monmorillonite, kaolinite et gibbsite, la destruction des carbonates et des amphiboles (Ross et al., 1983), l'étude granulométrique dévoilant l'origine du matériel parental (loess, till, etc.), la présence de phénomènes cryogènes reliques comme des fentes en coin remplies de sable (Foscolos et al., 1977) et, enfin, de solum bien développés et bien identifiés comme, par exemple, un paléoluvisol associé à la période antérieure à la glaciation de Reid (Tarnocai et al., 1985).

Enfin, s'ajoutant aux indices fournis par l'étude des sols et paléosols, la téphrochronologie offre des références intéressantes. La datation de couches de cendre volcanique de l'Holocène au Yukon, en particulier la "White River Ash" (Denton et Karlén, 1977), permet de fixer un âge minimum à la forme sur laquelle elle s'est déposée. Lorsque deux couches de cendre (1230 BP et 1850 BP) sont trouvées dans un même profil, elles permettent d'estimer la vitesse de sédimentation utile aux études palynologiques (Bourgeois et Geurts, 1983).

Chapitre III

METHODOLOGIE

Dans le cadre d'une étude des fluctuations glaciaires d'une région donnée, la rareté des indices fournissant les âges absolus nous amène à opter pour le travail dirigé par les techniques de datation relative. Selon Birkeland (1973), les indications les plus crédibles apportées par des datations relatives découlent de l'emploi combiné de différentes méthodes. Selon les régions, un type de méthode peut s'avérer plus pertinent, donnant de meilleurs résultats qu'un autre qui, lui, pourrait être plus utile ailleurs selon les caractéristiques des formes étudiées. Au sein d'une même région, la comparaison des résultats obtenus par l'ensemble des différentes méthodes de datation présente des caractéristiques temporelles plus justes que les résultats découlant d'une seule source. La concordance des résultats de diverses sources justifie davantage les conclusions obtenues.

Notre étude s'appuie principalement sur trois types de méthodes de datation relative: la lichénométrie, la distribution de la succession végétale implantée sur chaque phénomène étudié et la pédogenèse. Notre terrain d'étude regroupant deux régions distinctes caractérisées par un micro-climat propre, un substratum composé de deux différents types de roche (granitique dans la chaîne Ruby et sédimentaire dans la chaîne Dalton), reposant à des altitudes diverses et enfin faisant face à des points cardinaux différents, les résultats obtenus par les diverses techniques employées seront interprétés uniquement dans le cadre de la région à laquelle ils appartiennent. De plus, pour rendre les résultats plus comparables et minimiser les différences affectant la croissance des lichens, le développement des sols et la distribution de la végétation, dans une même région, l'échantillonnage a été effectué dans des conditions

semblables de micro-climat, de lithologie et d'emplacement sur chacun des phénomènes étudiés. Les échantillons ont été prélevés au sommet des crêtes morainiques présentes dans trois cirques d'orientation semblable de la chaîne Ruby et sur le dessus des lobes de quatre glaciers rocheux de la chaîne Dalton où les processus de développement étaient semblables évitant ainsi les dérangements causés par la solifluction.

3.1 LICHENOMETRIE

La lichénométrie peut être utilisée pour la datation de phénomènes dont l'âge s'apparente à la longueur de vie du thalle des lichens mesurés. Dans les deux régions étudiées, le choix de l'espèce de lichens utilisée s'est arrêté sur les Rhizocarpon geographicum (L.) DC compte tenu de son abondance ainsi que ses caractéristiques visuelles et physiologiques. En effet, au cours de ses études sur l'île de Baffin, Miller (1973) affirme que le lichen Rhizocarpon geographicum (L.) DC fait partie du groupe des premières espèces colonisatrices et possède un taux lent de croissance. Cette espèce est l'une des plus utiles pour l'étude des dépôts formés depuis les 5000 dernières années dans les régions arctiques subissant des conditions de températures et d'humidité difficiles.

Cependant, l'identification sur le terrain du lichen crustacé Rhizocarpon geographicum (L.) DC est parfois difficile à cause de sa ressemblance avec d'autres espèces du genre Rhizocarpon (Orzenda et Clauzade, 1970). Néanmoins, il est possible de réduire cette erreur d'identification. Dans un premier temps, possédant le taux de croissance le plus rapide des Rhizocarpons, les Rhizocarpons geographicum (L.) DC devraient être représentés parmi les thalles les plus grands par rapport aux autres de son genre. De plus, toutes les espèces du genre et sous-genre Rhizocarpon détiennent les mêmes caractéristiques de croissance. Sachant que ne sont mesurés que les plus grands thalles, ces deux facteurs minimisent les risques d'erreurs d'identification ainsi qu'une interprétation faussée des résultats (Birkeland,

1973; Lambert, 1982). Cependant, dans la classification des lichens élaborée par Orzenda et Clauzade (1970, p. 430), on dit du Rhizocarpon geographicum (L.) DC qu'il est une "espèce très variable que les auteurs actuels ont tendance à fragmenter en plusieurs espèces". Sachant donc qu'il pourrait se glisser une possibilité que d'autres espèces de Rhizocarpons auraient pu être échantillonnées, nous écrivons au cours de ce travail Rhizocarpon geographicum s.l. (sensu lato).

L'espèce Rhizocarpon geographicum s.l. possède apparemment un taux de croissance régulier. Au début, il s'écoule un temps considérable avant que le thalle du lichen atteigne une proportion macroscopique. Ensuite s'effectue une accélération relative de la croissance jusqu'à ce qu'un certain diamètre soit atteint. Aussi longtemps que les substances organiques produites par le thalle sont partagées par l'ensemble des parties formant l'organisme, un taux constant de croissance se présentera par un aggrandissement exponentiel du diamètre du thalle. Cette phase précède un ralentissement résultant d'un manque dans la diffusion des produits et nutriments échangés entre les parties internes du coeur du thalle avec celles de la périphérie. Cela entraîne ainsi une décélération de la croissance du thalle. A ce moment, où le transport intérieur des minéraux devient désuet, la partie centrale cessera de participer à la croissance des cellules marginales. A ce stade, le thalle grandira par l'ajout d'un anneau extérieur annuel d'épaisseur constante devenant responsable de sa croissance qui se stabilisera de façon linéaire (Beschel, 1961,1973).

La grosseur du thalle des lichens est fonction non pas seulement du temps mais aussi des conditions environnantes. La croissance des différentes espèces de lichens dépend principalement des conditions climatiques où le facteur déterminant est l'humidité (Beschel, 1973). La nature du substrat influence aussi bien que le climat la croissance du lichen. Par exemple, les caractères physiques de la surface de la roche jouent un rôle. Les spores ne peuvent adhérer à une surface trop lisse et dans ce cas, ce sont l'eau et le vent qui les emportent (Beschel, 1973). Dans la chaîne Ruby, on a mesuré que les lichens implantés sur des blocs de granodiorite et dans la chaîne Dalton, ceux qui colonisent les blocs de grauwacke.

3.1.1 Méthode d'échantillonnage des lichens

L'échantillonnage des thalles du lichen Rhizocarpon geographicum s.l. s'est effectué sur un transect couvrant toute la longueur de la crête morainique ou du lobe de glacier rocheux selon le cas. Nous avons tout d'abord mesuré les individus les plus circulaires possédant les plus grands diamètres au 0,5 mm près en nous servant d'un ruban à mesurer. Sur chacune des moraines et chacun des lobes, plusieurs individus (2 ou 3) ont été mesurés afin d'éviter de se trouver en présence d'un thalle possédant une grosseur extrême engendrée par quelques phénomènes externes irréguliers. Nous avons aussi pris soin de rejeter les thalles ayant un côté mitoyen car la croissance peut être freinée par l'effet compétitif des lichens l'entourant qui pourraient empiéter sur celui mesuré et même, éventuellement, le faire mourir. Sachant cela, un lichen isolé devrait donc faire partie de la première génération implantée sur le phénomène à dater.

En complément, nous avons aussi estimé visuellement le pourcentage de recouvrement des blocs par les lichens. L'utilisation de cette donnée réduit aussi la possibilité d'erreur introduite par la présence d'individus anormalement grands (Matthews, 1973). Pour sa part, Birke-land (1973) soutient que les données les plus utiles sont celles obtenues par la mesure du plus grand thalle combinées avec celles du pourcentage maximum de recouvrement des blocs par les lichens.

Dans un deuxième temps, dans la chaîne Dalton, on a mesuré de façon aléatoire le diamètre de 50 thalles de Rhizocarpon geographicum s.l. le long d'un transect couvrant chacun des bourrelets formant les lobes supérieurs des deux principaux glaciers rocheux échantillonnés. L'estimation visuelle du pourcentage de recouvrement des blocs par l'ensemble des lichens ainsi que des Rhizocarpon geographicum s.l. seulement a aussi été faite. Ces mesures n'ont été effectuées que sur les lobes supérieurs car ces derniers étaient presque ou totalement dépourvus de sols et de végétation par rapport aux lobes inférieurs garnis d'une végétation plus luxuriante.

3.2 ETUDE DE LA PEDOGENESE

Selon le système canadien de classification des sols (1978), on définit un sol comme le matériel naturel meuble minéral ou organique à la surface de la terre, épais d'au moins 10 cm et permettant l'implantation de la végétation. Dans cet ouvrage, on attribuera le nom de sol au matériel meuble se développant sur les dépôts glaciaires, c'est-à-dire les moraines et les lobes des glaciers rocheux. Les propriétés d'un sol varient avec la profondeur et sont déterminées par les facteurs climatiques, la biomasse, le relief et le drainage qui agissent sur le matériel géologique et produisent des horizons qui diffèrent du matériel parental.

Le sol résulte de la transformation d'un matériau selon différentes causes agissant pendant un temps déterminé. Donc, la morphologie du profil des sols divulgue un degré de développement des horizons correspondant à une variation du laps de temps durant lequel ces matériaux ont été exposés aux processus de la pédogenèse (Evans, 1985). Selon Boulaine, (1975), la pédogenèse engendre le développement des horizons différant les uns des autres. "Plus ces horizons sont contrastés, plus le développement du sol est grand" (Boulaine, 1975, p.23). Les propriétés morphologiques, chimiques et minéralogiques d'un sol changent avec le temps. L'utilisation des caractéristiques pédologiques peut fournir une datation relative des différents sols. Idéalement, si les échantillons de sol sont prélevés dans une région où tous les facteurs (sauf le temps) régissant la pédogenèse sont constants et semblables, toute variation majeure des caractéristiques du sol peut être attribuée principalement au temps écoulé depuis le commencement de la formation du sol étudié (Birkland, 1978).

Dans les régions nordiques, l'altération physique due aux cycles fréquents de gel et dégel est importante. Par contre, les basses températures ralentissent considérablement l'activité chimique. Cependant, dans un climat froid et sec, même si l'intensité des processus chimiques est faible, elle reste suffisante pour apporter des minéraux et les résidus organiques en solution qui produisent une certaine différenciation d'horizon dans le profil (Birkland, 1978). La cryoturbation joue aussi un grand rôle dans le déplacement des minéraux et du matériel organique.

Le pergélisol détient aussi un rôle important dans le développement des sols. Lors de la saison chaude, quand la couche de mollisol dégèle, le sol gelé sous-jacent empêche l'eau de la couche supérieure de percoler l'obligeant ainsi à rester à la surface entraînant une condition prolongée de saturation du sol. Ce sol mal drainé présente un milieu réducteur engendrant la gleification (Rieger, 1974). Par contre, sur le haut des crêtes morainiques étudiées dans la chaîne Ruby, où le dégel pénètre plus bas que l'épaisseur du matériel meuble, le drainage est relativement bon. Le processus d'oxydation s'effectue et les produits solubles de l'altération sont redistribués dans le sol ou lessivés (Rieger, 1974).

On peut se servir de plusieurs propriétés du sol à des fins de datation relative. Parmi celles qui changent avec le temps, on retrouve la composition de la matière organique, le taux des éléments principaux et secondaires de la composition minéralogique du matériel ainsi que la nature des oxydes de fer par rapport aux hydroxydes de fer (Evans, 1985).

Dans le cadre de ce travail, par la description des caractéristiques qualitatives du profil des sols comme la granulométrie, le pH, le taux de matériel organique, le degré de développement des horizons, nous étudierons et comparerons le degré de pédogenèse des différents profils. Aussi, nous nous servirons des taux de fer et d'aluminium libres dans le sol qui, associés au degré d'altération de l'argile, peuvent révéler un indice de temps.

3.2.1 Méthodes d'analyse

3.2.1.1 Echantillonnage et description des sols

Sur le dessus de la crête de chaque moraine étudiée, ainsi que de chaque lobe de glacier rocheux, des échantillons de sol ont été prélevés. Tout d'abord, à l'aide d'une boîte en plastique rectangulaire, on a prélevé une section (comme une carotte ou un monolithe) de matériel meuble formant le sol pour effectuer la description de tous les profils au laboratoire selon des conditions d'humidité et de luminosité identiques. Ensuite, nous avons retiré environ 500

g de matériel venant de chaque horizon. Sur les moraines de la chaîne Ruby, ces prélèvements ont été effectués au-dessus et sous la couche de cendre volcanique quand celle-ci se présentait comme un niveau bien marqué.

A l'aide des monolithes, chaque section de sol a été décrite selon les caractéristiques visuelles suivantes: profondeur du profil et épaisseur de chacun des horizons mesurés à la règle, couleur évaluée selon la charte Munssell, texture, pierrosité, structure, et une estimation du degré de cohésion.

3.2.1.2 Granulométrie

Dans les régions nordiques, la gélifraction réduit les blocs et les cailloux en sable, limon et argile. Les différentes grosseurs des particules composant le sol sont des résidus du matériel minéral altéré qui constituait initialement le matériel parental (Boulaine, 1975). Selon Viebeck (1966), le pourcentage des particules sableuses diminue au profit des particules plus fines dans les horizons supérieurs à mesure que le sol se développe à cause de la plus grande efficacité des agents d'altération à la surface.

On a donc calculé le pourcentage des différentes grosseurs de particules en tamisant les échantillons d'abord traités au peroxyde d'oxygène pour éliminer la matière organique présente et à une solution d'hexamétaphosphate de sodium comme agent défloculant. Les tamis utilisés possédaient un canevas dont la grosseur des mailles étaient de 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 125 microns et 62,5 microns. On a effectué la séparation des particules plus fines en classes de 50,8 à 40,3 microns, 40,3 à 32,0 microns, 32,0 à 25,4 microns, 25,4 à 20,2 microns, 20,2 à 16,0 microns, 16,0 à 12,7 microns, 12,7 à 10,08 microns, 10,08 à 8,0 et enfin < 8,0 microns, à l'aide d'un appareil appelé "Coulter counter" (multichannel particle counter, modèle T A II de la compagnie Coulter Electronics inc.). Nous avons ensuite calculé le pourcentage des particules de chaque classe puis porté les résultats obtenus sur une courbe cumulative dessinée sur du papier semi-logarithmique .

3.2.1.3 Analyses de pH

Le pH d'une solution ou d'un sol est la concentration des ions hydrogènes par rapport à la concentration des ions hydroxyles (Brady, 1974). Différentes études ont démontré que le pH du sol diminue avec l'âge dans l'horizon composé de matériel minéral. Sur les moraines du glacier Klutlan, (Jacobson et Birks, 1980), le pH passe de 8,0, pour le sol situé sur la moraine la plus jeune, à 5,5 et 6,5 pour les sols des moraines les plus âgées. Ils ont trouvé que dans les horizons organiques, le pH s'acidifie plus rapidement atteignant 6,0 après une période de 50 ans.

Dans son étude des sols développés sur une plaine d'épandage fluvioglaciaire en aval du glacier Muldrow, en Alberta, Viereck (1966) enregistra une diminution de pH selon le degré de développement de ces sols. Cette acidification serait due au lessivage des carbonates et à l'accumulation de la matière organique apportée par l'implantation des mousses et de la végétation.

Dans le cadre de cette étude, nous avons préparé nos échantillons de sol en utilisant de l'eau distillée comme extractant et mesuré le pH de ces solutions à l'aide d'un pH-mètre (Fisher Accumet pH Meter, modèle no. 610 A).

3.2.1.4 Matière organique

Un des aspects importants dans la formation d'un sol est l'addition de matériel organique (Viereck, 1966). Dans les sols arctiques, on décèle une production faible mais certaine de matière organique qui se dégrade extrêmement lentement. Un humus assez grossier se développe (Boulaine, 1975). Compte tenu des basses températures, les micro-organismes qui dégradent la matière organique agissent au ralenti. Avec le temps, dans les horizons supérieurs, le matériel organique s'accumule plus rapidement qu'il se décompose, favorisant le développement de sol avec un horizon organique (Viereck, 1966). Selon leur étude effectuée sur les moraines du glacier Klutlan, Jacobson et Birks (1980) ont trouvé qu'au début, l'horizon

zon organique, ainsi que les horizons de matériel minéral, se développaient rapidement jusqu'à une épaisseur maximum au bout de la première centaine d'années. Ensuite, l'horizon organique continue de se développer avec le temps. Dans l'horizon minéral supérieur, la concentration de matériel organique s'accroît graduellement d'environ 5% après 50 ans et continue en atteignant un taux d'environ 20% durant les 200 années suivantes.

Par calcination, on a calculé le pourcentage de matériel organique contenu dans chacun des horizons ou niveau de sol.

3.2.1.5 Degré d'altération des argiles

Les argiles sont l'ensemble des particules minérales fines faisant partie d'un sol et dont la taille est inférieure à 2 microns (Caillère et al., 1982). La structure des minéraux argileux est formée par la superposition de divers plans composés d'ions oxygène et silicium. Cette structure s'édifie par l'empilement de plans d'atomes formant des couches tétraédriques et octaédriques constituant un feuillet. L'association et l'arrangement des différents feuillets ainsi que l'espace interfoliaire caractérisent les différents types d'argiles. Les différents groupes de minéraux argileux se caractérisent par le nombre constant de plans qui forment le feuillet. L'épaisseur des feuillets est tout aussi importante. Dans les cavités hexagonales internes des feuillets situés dans la couche octaédrique, il peut se produire des échanges, ou substitutions, c'est-à-dire un remplacement d'ions dans la structure même des argiles, comme un ion Si par un ion Al ou Fe. Il y a aussi échange dans les cavités hexagonales superficielles par rapport au feuillet. En effet, la structure des minéraux argileux créée par la juxtaposition des ions oxygène laisse dans sa masse des cavités de tailles diverses occupées par des cations. Des cations peuvent en remplacer d'autres de diamètre semblable (Caillère et al., 1982). Cet échange s'effectue par l'hydrolyse dont l'ion hydrogène se fixe sur l'oxygène lié au silicium et l'ion hydroxyle, sur le silicium non saturé donnant ainsi 2 SiOH à la limite d'une couche tétraédrique. Ces ions H⁺ peuvent facilement être remplacés par des cations. Si l'altération se fait

plus intensément, alors l'hydrolyse s'attaque aux ions Al et Fe des couches octaédriques faisant partie de la structure même de l'argile, c'est-à-dire à l'intérieur et non pas en bordure. Le magnésium, le calcium, le sodium et le potassium sont considérés comme des éléments relativement mobiles tandis que le silicium, l'aluminium et le fer, relativement immobiles (Evans, 1985). La mobilité des ions calcium, magnésium, sodium et potassium nous pousse à nous concentrer sur le phénomène de la libération des ions fer et aluminium.

On s'est donc intéressé aux taux de fer et d'aluminium libérés par l'altération des argiles en supposant qu'après extraction, moins on trouverait d'ions fer et aluminium dans notre solution, plus les argiles auraient été altérées et plus une grande quantité de fer et d'aluminium aurait été libérée et emportée par lessivage dans les horizons inférieurs du sol. Comme technique de datation, selon Evans (1985), on peut utiliser le rapport entre le taux d'oxyde de fer amorphe et celui de l'oxyde de fer cristallin. Initialement, l'oxyde de fer est amorphe mais par altération, il prend la forme cristalline. Ce rapport est calculé en déterminant le taux de fer amorphe extrait par une solution d'oxalate d'ammonium et celui du fer de forme cristalline extrait par une solution de dithionite-citrate-bicarbonate-DCB (McKeague et al, 1971). On a aussi utilisé le rapport Al/Fe extrait au DCB car selon Evans (1985), ce rapport s'accroît avec l'âge du sol.

Pour le calcul du taux de la concentration de l'oxyde de fer amorphe par rapport à la concentration d'oxyde de fer cristallin, et du taux de la concentration du fer par rapport à celle de l'aluminium extraits par DCB, on a effectué les extractions à l'oxalate d'ammonium et dithionite-citrate-bicarbonate (McKeague, 1976). On s'est ensuite servi d'un spectrophotomètre à absorption atomique (Instrumentation Laboratory aa/ac spectrophotometer model IL 357) pour mesurer la concentration des ions fer et aluminium présents dans ces solutions.

Enfin, pour évaluer la concentration de fer et d'aluminium libérés par les argiles altérées, nous avons calculé le taux de fer et aluminium libérés par une solution d'oxalate d'ammonium par rapport à la concentration des ions fer et aluminium libérés par une extraction totale à l'acide perchlorique, fluorhydrique et chlorhydrique (voir annexe 11, p. 102).

3.3 DEVELOPPEMENT DE LA VEGETATION

Suivant le retrait de la glace, le sol dénudé se compose d'une accumulation de matériel glaciaire hétérogène, où bientôt s'implantera une végétation colonisatrice comme les mousses, les lichens et quelques plantes vasculaires. Progressivement, le couvert végétal se diversifiera et sa densité s'accroîtra. Une fois installée, les premières plantes fixeront le sol. Servant d'obstacle, elles aident à édifier le sol par l'accumulation de matériel fin. Les changements au niveau de la population végétale sont fonction du temps et fortement reliés aux changements de certaines propriétés du sol comme le pourcentage de matière organique de l'horizon supérieur et le taux d'azote (Mahaney, 1973). Cette végétation s'édifie et se diversifie au rythme de la croissance des racines, de la décomposition de la matière organique et des activités microbiennes. La formation des agrégats et des structures résultant de la décomposition et de la migration de résidus organiques joue un rôle important pour le maintien de la vie des plantes. La formation de complexes argileux, la réorientation et le réarrangement des particules minérales dus aux cycles gel-dégel s'avèrent aussi essentiels (Crocker et Dickson, 1957). Avec le temps, chaque population subit un changement résultant en un développement du système. Ce développement varie selon le taux de croissance des différentes espèces, leur longévité et leur capacité d'adaptation aux propriétés physiques et chimiques du sol (Crocker et Dickson, 1957).

On ne retrouve les espèces pionnières qu'au début de la colonisation car celles-ci ne peuvent rivaliser avec d'autres espèces pour la lumière ou l'espace. Elles s'adaptent bien aux sols perturbés. Aussi, elles produisent une quantité importante de spores adaptées au transport par le vent et ce, sur de grandes distances (Stock, 1963).

Au début de la colonisation, la présence des mousses et des lichens domine. Leur rôle consiste principalement à édifier le sol et à produire de l'humus. Peu après, arrivent les graminés et certaines plantes vasculaires fixatrices d'azote. Pendant les premières décennies, la colonisation, dominée par les mousses, s'effectue lentement et ne couvre que 10 à 20 pour

cent de la surface (Stock, 1963). Ensuite, elle se fait plus rapide et le pourcentage de plantes vasculaires s'accroît. La colonisation complète peut s'effectuer en quelques siècles dépendant des conditions climatiques, édaphiques et hydriques de la région, engendrant ainsi différentes populations (Stock, 1963).

3.3.1 Méthodologie

Peu importe la méthode utilisée sur le terrain, l'échantillonnage doit se faire dans un quadrat renfermant toutes les espèces appartenant à la communauté (Mueller-Dombois, 1974). Aussi, le sol servant d'habitat doit être uniforme et la couverture végétale aussi homogène que possible. Par exemple, le quadrat ne doit pas contenir de larges parties non colonisées ou une végétation dominée par une espèce dans une partie du quadrat et par une autre espèce dans l'autre partie (Mueller-Dombois, 1974). Aussi, la superficie du quadrat à échantillonner dépend de la sorte de communauté, de son étendue, de sa densité, et du type de phénomène sur lequel elle est implantée.

Pour notre étude, nous avons donc utilisé un quadrat de 1m^2 compte tenue de la petitesse de la superficie des phénomènes étudiés ainsi que la sorte de végétation implantée, soit la toundra alpine et arbustive. Nous avons pris soin de situer chaque quadrat d'échantillonnage à des endroits semblables au point de vue relief, condition de drainage, sol, etc. afin d'en permettre la comparaison entre eux. Nous avons prélevé nos échantillons sur le dessus, au milieu de chaque lobe de glacier rocheux étudiés ainsi qu'au-dessus de chaque crête morainique.

Dans un quadrat de 1m^2 , nous avons cueilli un échantillon de chaque espèce présente pour en faire l'identification en laboratoire à l'aide d'une flore (Hulten, 1968). Puis nous avons tenté d'évaluer le pourcentage de recouvrement par les groupes d'espèces présents ainsi que le recouvrement par l'ensemble de la végétation.

Chapitre IV

RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS

4.1.1 Chaîne Ruby

4.1.1.1 Lichénométrie

Dans les trois cirques étudiés, 100% des roches sises sur les moraines sont couvertes par des lichens de toutes sortes. Cependant, selon les moraines, le pourcentage de recouvrement varie de 60% à 95% (tableau 1, p.47). Dans le cirque A, les moraines no 7, 4 et 2 possèdent le plus haut degré de recouvrement par les différents lichens. Dans le cirque B, la moraine no 1 est la moins couverte (55% par rapport à 75% pour la moraine no 2). Dans le cirque C, la moraine no 1 est la plus couverte, ensuite c'est la moraine no 3. On note aussi que le recouvrement des blocs par les lichens est beaucoup moins dense dans le cirque C que dans les autres.

Le lichen Rhizocarpon geographicum sl. représente généralement plus de 50% de tous les lichens. Dans le cirque C, la moraine no 2 est la plus couverte. La surface de ses blocs est recouverte à 50% par le lichen Rhizocarpon geographicum sl. Ensuite on trouve la moraine no 3 avec 40% et la no 1, la moins couverte, avec environ 20% de recouvrement de ses blocs. Dans le cirque B, il y a une légère différence de recouvrement: no 2 avec 40% de recouvrement et 25% pour la moraine no 1. Dans le cirque A, le lichen Rhizocarpon geographicum sl. recouvre davantage les moraines nos 3 et 6 et moins les nos 1 et 7. Les thalles les plus grands et les plus circulaires sont environ de même diamètre sur les trois moraines du cirque C. Dans le cirque B, les plus grands se situent sur la moraine no 1. Dans le cirque A, ils sont

cirque moraine no	A 1	A 2	A 3	A 4	A 6	A 7	B 1	B 2	C 1	C 2	C 3	
épaisseur du profil (cm)	36.5	32.0	38.0	37.5	21.0	37.0	16.0	38.0	27.0	25.0	22.0	
nombre d'horizons	3	2	1	2	2	3	1	4	2	1	1	
cm sous la couche de cendre volcanique	29					29		33	18.5			
épaisseur de l'horizon organique (cm)	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	3.0	2.5	3.0	2.0	3.0	
% de matière organique	6.55	5.88	3.73	8.15	10.53	5.43	10.15	27.46	32.57	9.78	12.39	
pH	d s	6.24 5.04	6.40 6.38	6.32 6.22	6.66 6.16	6.40 6.38	6.32 6.28	4.64 4.62	4.56 5.30	6.62 6.22	4.56 4.52	5.26 5.18
granulométrie (% < 63)	d s	7.0 15.0	28.0 42.0	6.0 6.0	20.0 28.0	25.0 25.0	18.0 18.0	32.0 32.0	28.0 95.0	27.0 25.0	75.0 75.0	24.0 47.0
taux FeO/FeD	d s	0.56 0.42	0.34 0.39	0.94 0.95	0.67 0.64	1.83 2.0	0.99 0.61	0.56 0.66	0.48 0.60	0.60 0.39	0.62 0.54	0.40 0.29
taux AlD/FeD	d s	0.28 0.32	0.12 0.17	0.02 0.09	0.30 0.32	0.06 0.13	0.06 0.12	0.09 0.15	0.12 0.32	0.42 0.23	0.10 0.18	0.10 0.15
taux FeO/FeT	d s	0.21 0.21	0.19 0.20	0.11 0.14	0.24 0.27	0.12 0.20	0.14 0.18	0.20 0.22	0.18 0.16	0.19 0.12	0.16 0.20	0.16 0.13
taux AlD/AlT	d s	0.07 0.06	0.04 0.04	0.01 0.01	0.07 0.09	0.02 0.01	0.01 0.04	0.03 0.04	0.04 0.13	0.07 0.10	0.02 0.05	0.03 0.04
% de fer obtenu par extraction totale	d s	3.42 3.62	4.72 5.14	4.20 4.22	4.08 4.22	2.78 2.80	4.80 4.82	4.82 4.86	3.82 8.38	2.80 5.46	5.42 5.44	3.76 4.48
% d'aluminium obtenu par extraction totale	d s	4.85 6.50	6.55 7.10	9.30 9.35	6.95 5.60	4.50 4.50	5.70 5.75	5.35 5.35	4.80 5.80	3.45 3.00	6.15 6.15	4.70 5.50
% de recouvrement de la surface des blocs par toutes les espèces de lichens		85	90	80	95	60	95	55	75	60	85	70
% de recouvrement de la surface des blocs par les <u>Rhizocarpon geographicum</u> sl.		40	50	70	60	40	30	25	40	20	50	40
<u>Rhizocarpon geographicum</u> sl les 3 thalles les plus grands et plus circulaires (cm)		9.4 9.5 9.8	8.2 8.2 8.3	5.0 5.2 5.3	9.1 9.9 8.7	8.0 8.7 8.8	13.5 13.5 15.2	9.7 9.8 9.8	8.5 8.7 9.6	7.6 7.6 7.9	6.3 7.6 7.7	7.2 7.7 8.4
épaisseur moyenne des thalles de <u>Rhizocarpon geographicum</u> sl. (cm)		6.0	6.0	2.5	5.0	3.0	5.0	plaques	6.0	plaques	5.0	4.0
% de recouvrement par la végétation		toutes les moraines des 3 cirques étudiés sont couvertes de 75 à 85% par la végétation.										

Légende: gl: échantillons prélevés au-dessus de la couche de cendre volcanique
 s: échantillons prélevés au-dessous de la couche de cendre volcanique

Tableau 1: Résultats des techniques effectuées dans la chaîne Ruby

plus grands sur les moraines 7, 1 et 4, un peu plus petits sur les moraines nos 6 et 2 et enfin, sur la moraine no 3, on retrouve les plus petits.

Selon les résultats de la lichénométrie, on remarque une différence entre les deux moraines du cirque B (tableau 1, p.47). Les blocs de la moraine B1 sont moins couverts par les lichens que ceux de la moraine B2. Dans le cirque C, la différence des résultats entre les trois moraines n'est pas très grande. Cependant, les blocs de la moraine no 1 semblent être un peu moins couverts par les lichens. Les caractéristiques de la présence des lichens sur cette moraine y seraient moins développées tandis que les lichens auraient davantage colonisé les blocs de la moraine no 3. Cependant, les différences n'étant pas marquées, les résultats de la lichénométrie dans le cirque C ne sont pas très concluants. Dans le cirque A, les résultats sont contradictoires. Selon le type de mesure, tantôt c'est la moraine no 7 qui serait la plus vieille et la moraine no 3 la plus jeune, parfois c'est l'inverse. Par exemple, sur la moraine no 3, on retrouve un plus grand pourcentage de Rhizocarpon geographicum sl. que sur les blocs de la moraine no 7 mais ils sont beaucoup plus petits que ceux implantés sur la moraine no 7. Selon sa position dans le cirque et par rapport aux moraines nos 3 et 7, les caractéristiques des lichens implantés sur la moraine no 6 devraient être plus développées qu'elles le sont présentement. Ainsi, pour la même raison, logiquement, les lichens devraient être moins développés sur les blocs des moraines nos 1 et 2. Pour les cirque A et C, les résultats de la lichénométrie ne sont pas concluants. Par contre, dans le cirque B, ils démontrent une légère différence dans le développement des lichens selon les deux moraines présentes.

4.1.1.2 Pédogenèse

Dans le cirque A, les profils pédologiques ont des développements semblables d'une moraine à l'autre. La profondeur varie entre 32 et 37 cm et possède deux ou trois horizons selon le niveau de développement (tableau 1 et annexes 1, 3, 4 et 5, pp. 47, 76, 89, 90 et 91). Cependant, le sol de la moraine no 6 est moins développé que les autres. Dans le cirque C,

les profondeurs et le nombre d'horizons semblent moins développés que dans A. Enfin, dans le cirque B, on dénote une différence marquée entre les moraines 1 et 2 (16 et 38 cm).

Les courbes dessinées à partir des résultats de la granulométrie laissent voir dans l'ensemble des différences dans les grosseurs des particules et le triage du matériel composant les sols étudiés. Cette variété dans la granulométrie démontre une combinaison de différents facteurs qui ont joué un rôle plus ou moins important dans la mise en place des sédiments selon les endroits. Les facteurs responsables du transport des matériaux sont la glace, l'eau (fluvio-glaciaire et lacustre) et le vent. La mise en place des matériaux qui forment les moraines s'est donc effectuée dans un environnement variable rendant ainsi difficile les comparaisons des profils de sols entre eux. On remarque cependant que dans la majorité des profils de sols, la proportion de gros cailloux est plus faible car ils sont enveloppés dans une matrice de matériel fin. Dans l'ensemble des profils, les sédiments qui composent les sols mesurent principalement entre 40 et 500 microns. Le fait qu'il y ait peu de gros cailloux présents dans les sols peut indiquer une forte gélifraction qui a agi pendant longtemps.

Le pH diminue généralement avec la profondeur. Selon Jacobson et Birks, (1980) et Viereck (1966), le pH diminue aussi avec l'âge. Dans le cirque B, on retrouve des pH plus bas ainsi qu'une couche de matière organique plus épaisse à la surface que dans les autres cirques. Mais dans le cas de l'horizon inférieur de la moraine B2, le pH est beaucoup plus élevé qu'en surface et que sur la moraine no B1 qui devrait être plus jeune. Est-il possible que le fait que certaines moraines, subissant des conditions de températures plus basses et de pergélisol, possèdent une couche de matière organique qui s'accumule en raison d'une mauvaise décomposition, et que cette matière organique mal décomposée acidifie le sol, engendrant ainsi un pH plus faible dans l'horizon supérieur? Ainsi, le niveau inférieur étant gelé ne recevrait pas les produits du lessivage ce qui pourrait peut-être garder son pH plus élevé au lieu de le diminuer. Ou serait-ce dû aux mouvements de cryoturbation? Dans le cirque A, la différence entre les pH ne semble pas significative. Enfin, du côté du cirque C, le pH est le plus

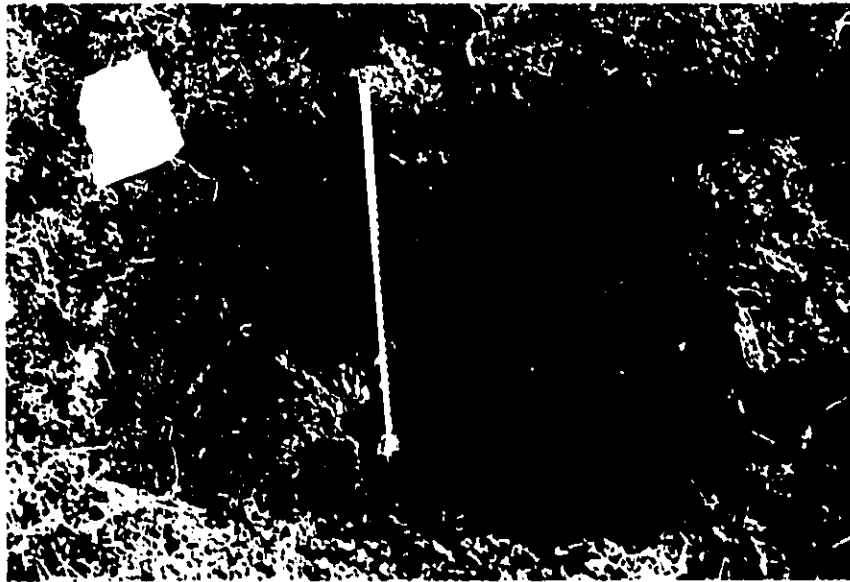


Figure 10: Exemple de sol qui se développe sur les moraines de la chaîne Ruby (sol de la moraine no 2 du cirque B)

élevé dans le sol de la moraine no 1 (6,62 et 6,22), diminue un peu dans celui de la moraine no 3 (5,26 et 5,18) et davantage dans le sol de la moraine no 2 (4,56 et 4,52).

Les rapports des taux Fe oxalate /Fe dithionite (FeO/FeD), Al dithionite/Fe dithionite (AlD/FeD), Al oxalate/Al total (AlO/AlT) et Fe oxalate/Fe total (FeO/FeT) indiquent sensiblement les mêmes résultats que les autres méthodes employées, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas concluants mais plutôt contradictoires. Dans le cirque C, les résultats diffèrent d'un rapport à l'autre. Par exemple, les taux AlD/FeD et AlO/AlT indiquent que les moraines 2 et 3 devraient être du même âge tandis que le taux FeO/FeD indique que la moraine no 3 est plus vieille que la moraine no 2. Dans le cirque B, on dénote encore la même différence entre les moraines 1 et 2. Enfin, dans le cirque A, contrairement à la logique de leur position sur le terrain, les moraines les plus âgées seraient 1 et 4 tandis que les plus jeunes seraient 3, 6 et 7.

Si on regarde les résultats des pourcentages de fer et d'aluminium obtenus par extraction totale, on constate qu'ils sont généralement plus élevés dans les horizons inférieurs, c'est-à-dire sous la couche de cendre volcanique révélant un certain lessivage des éléments qui s'accumulent dans la couche inférieure (tableau 1). Dans le cirque B, les pourcentages de fer et d'aluminium obtenus par extraction totale sont plus élevés dans le sol de la moraine no 2 que celui de la moraine no 1. Dans les deux autres cirques, la séquence des valeurs diffère selon le fer ou l'aluminium. Dans le cirque C, le pourcentage de fer est à peu près le même sur les moraines 1 et 2 et diminue un peu à la moraine no 3 tandis que le pourcentage d'aluminium se rapproche selon les moraines 2 et 3 et diminue pour le sol de la moraine no 1. Dans le cirque A, les pourcentages de fer sont plus élevés pour les moraines 2 et 7, et plus faibles pour la moraine no 6 tandis que le pourcentage d'aluminium est plus important sur les moraines 3 et 2 et beaucoup moins sur la moraine no 6.

Si on suppose que dans les horizons inférieurs, plus les pourcentages de fer et d'aluminium obtenus par extraction totale sont élevés, plus le sol est âgé, on remarque que dans le cirque A, les moraines 6, 4 et 1 sont parmi les plus jeunes. Dans le cirque B, la moraine no 2 serait plus vieille que la moraine no 1 et dans le cirque C, les résultats sont contradictoires.

4.1.1.3 Succession de la végétation

Le développement de la végétation implantée sur les moraines étudiées révèle les mêmes résultats que ceux obtenus par les autres méthodes de datation utilisées (tableau 1 et 2 et annexe 9, pp. 47, 53 et 95). Dans le cirque A, les espèces représentées ainsi que la proportion qu'elles occupent sur les moraines nos 1, 2, 3, 4 et 7 sont semblables. De plus, sur ces moraines, on trouve des plaques dispersées occupant des dépressions peu profondes et couvertes de bouleaux et de saules. Ceci révèle la présence de plaques de neige qui, à la fonte du printemps, apportent l'eau qui s'emmagasiné dans ces dépressions et aide à la croissance de ces deux espèces. Par contre, sur la moraine no 6, une plus forte proportion de cypéracées

indique un sol plus humide surtout dans les micro-dépressions mesurant quelques centimètres de diamètre. L'eau, ne pouvant pas s'infiltrer dans le pergélisol, reste dans le mollisol et fournit ainsi l'humidité nécessaire à la croissance des cypéracées. Les graminées se sont installées sur les petites buttes, là où le sol est plus sec.

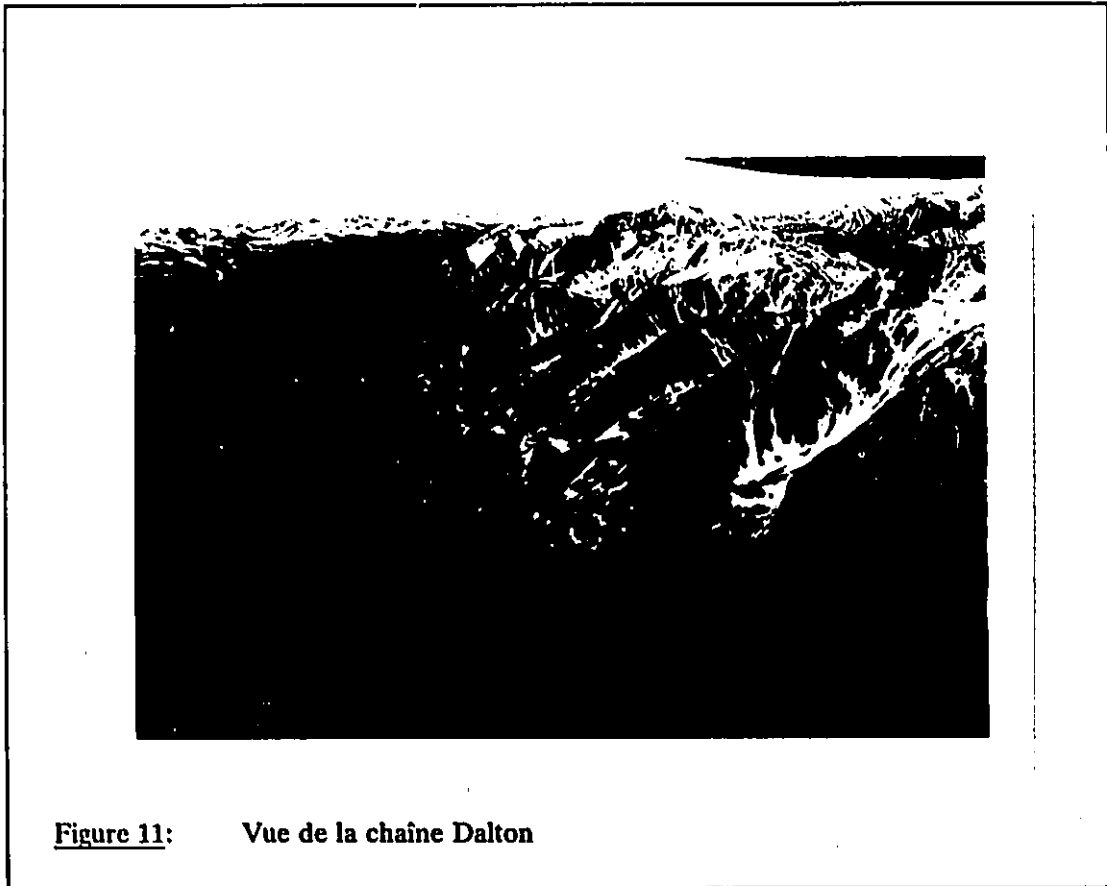
Dans le cirque B, la végétation indique un micro-climat beaucoup plus sec. On remarque aussi que par rapport à toutes les moraines étudiées dans les trois cirques, la végétation implantée sur la moraine no 1 du cirque B est la moins développée. La végétation qui la couvre est fortement dominée par les Dryas sp. et les lichens accompagnés de quelques Carex sp. Enfin, dans le cirque C, le développement de la végétation présente est sensiblement la même que celle du cirque A surtout pour la moraine no 1 du cirque C. La moraine no 2 possède une végétation d'un micro-climat un peu plus sec et celle couvrant la moraine no 3 suit les contraintes du micro-relief comme dans le cas de la moraine no 6 du cirque A.

En résumé, les espèces qui représentent les communautés et leur degré de développement sont semblables d'une moraine à l'autre pour les cirques A et C. Dans ce cas, la présence de cette communauté végétale n'est pas dictée par l'âge mais plutôt par le micro-relief et le micro-climat qui diffèrent selon les moraines. Par contre, sur la moraine no 1 du cirque B, la végétation est beaucoup moins développée qu'ailleurs.

	cirque			A			B		C		
moraine no.	1	2	3	4	6	7	1	2	1	2	3
% de <u>Dryas</u> sp.	25	35	30	30	10	30	65	65	45	55	35
% de <u>Graminées</u> sp.	20	25	35	30	10	40	5	20	10	10	15
% de <u>Carex</u> sp.	5	5	10	10	60	10	5	0	10	10	15
% de lichens	35	15	10	10	5	10	10	5	10	10	15
% de mousses	5	10	5	10	5	3	10	0	10	5	10
% de <u>Salix</u> sp.	5	5	5	2.5	5	5	0	1	5	5	5
% de <u>Betula</u>	2	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0
% des autres espèces	3	5	5	5	5	2	5	4	10	5	5

Tableau 2: Pourcentage de la représentation des familles composant la communauté végétale recouvrant les moraines de la chaîne Ruby.

4.1.2 Chaîne Dalton



4.1.2.1 Lichénométrie

Dans la chaîne Dalton, rappelons que différentes méthodes complémentaires ont été utilisées pour mesurer les lichens. Tout d'abord, sur tous les lobes des quatre glaciers rocheux étudiés, on a estimé visuellement, comme dans la chaîne Ruby, le pourcentage de recouvrement des roches par tous les lichens ainsi que par les Rhizocarpon geographicum *sl.* (tableau 3, p. 55). Dans un deuxième temps, sur les bourrelets formés sur les lobes 4 et 5 du glacier rocheux A ainsi que sur ceux de la partie en amont des quatre lobes du glacier rocheux B, le diamètre d'une cinquantaine de thalles du lichen Rhizocarpon geographicum *sl.* a été mesuré (tableaux 4, 5 et 6, pp. 56, 57 et 58).

glacier rocheux lône n°	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	B 1	B 2	B 3	B 4	C	D 1	D S
épaisseur du profil (cm)	28	30	23				37	31	36	39	38	20	29	36
nombre de niveaux de développement	2	2	2				3	3	4	5	3	1	1	1
épaisseur de l'horizon organique (cm)	3	2,5	14				8	16	10	8	2	0	10	
% de matière organique	s i	33.13 4.78	33.77 0.65	25.42	69.79		41.10 22.84	22.70	7.45 6.20	10.47	1.78 0.85	50.24 13.10	23.95	12.66
pH	s i	4.50 5.30	6.70 6.50	6.62	7.62		5.72 6.12	6.52	5.64 6.22	6.14	6.92	6.30 6.57	6.57	6.40
granulométrie (% < 63)	s i	10.0 2.0	64.0 32.0	2.0			20.0	6.0	14.0	6.0	2.0	2.0	16.0	6.0
taux FeO/FeD	s i	0.64 0.73	0.60 0.50	0.33 0.42			0.47 0.50	0.29 0.37	0.45 0.35	0.43 0.56	0.46 0.32	0.44 0.64	0.74	0.57
taux AlD/FeD	s i	0.18 0.26	0.08 0.10	0.01 0.02			0.18 0.24	0.06 0.10	0.02 0.02	0.08 0.12	0.02 0.02	0.22 0.27	0.23	0.16
taux FeO/FeT	s i	0.39 0.37	0.21 0.16	0.06 0.09			0.28 0.27	0.11 0.16	0.06 0.07	0.12 0.22	0.06 0.04	0.22 0.25	0.36	0.21
taux AlO/AlT	s i	0.12 0.13	0.03 0.03	0.005 0.02			0.13 0.12	0.07 0.09	0.01 0.10	0.06 0.07	0.007 0.002	0.10 0.09	0.13	0.05
% de fer obtenu par extraction totale	s i	2.95 4.80	4.90 5.54	5.02 5.05			2.23 4.16	2.18 3.20	3.44 5.50	2.55 2.53	3.77 3.75	2.86 5.03	2.80	4.27
% d'aluminium obtenu par extraction totale	s i	2.90 5.40	7.35 7.25	7.30 7.30			2.35 5.30	1.75 1.76	7.55 7.50	2.75 2.70	5.90 5.92	2.60 5.75	3.50	5.60
% de recouvrement de la surface des blocs par toutes les espèces de lichens		0	5	5 (50 à 5)	10	10	80	10	0	20	30	50	80	10
% de recouvrement de la surface des blocs par les <u>Rhizocarpon geographicum</u> s/l.		0	0	0 (40 à 0)	(5 à 0)	(5 à 0)	30	0	0	20	20	5	(10 à 30)	10
<u>Rhizocarpon geographicum</u> s/l. les 2 thalles les plus grandes et plus circulaires (cm)		0	0	0	3.1 3.5	2.1 2.4	1.0 1.3	4.5 4.4	0	0	4.0 2.9	3.0 4.4	5.0 3.2	3.0
grosueur moyenne des thalles de <u>Rhizocarpon geographicum</u> s/l (cm)		0	0	0	1.0	0.8	1.0	3.0	0	0	2.5	0.5	1.0	3.0
% de recouvrement par la végétation		100	50	90	30	15	5	95	100	75	70	70	40	30
% herbes/ % arbustes	P	40/60	40/60	80/10	85/5	100/0	50/50	P	50/50	60/40	60/40	60/30	80/20	90/10

Légende s = échantillons prélevés dans le niveau supérieur du profil

S = lobe supérieur

i = échantillons prélevés dans le niveau inférieur du profil

I = lobe inférieur

P = zone de transition vers la peccière (arbustes et épinettes)

TABEAU 3: Résultats des techniques effectuées dans la chaîne Dalton

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Securité no														
% des blocs couverts par toutes les sortes de lichens	100.0	85.0	75.0	75.0	90.0	50.0	60.0	60.0	5.0	50.0	25.0	20.0	5.0	0.5
% de recouvrement des blocs par toutes les sortes de lichens	90.0	40.0	30.0	40.0	40.0	20.0	20.0	10.0	5.0	20.0	20.0	20.0	5.0	1.0
% des blocs couverts par les <u>Phaeocarpion</u> <u>geographicum</u> et	90.0	65.0	40.0	30.0	60.0	30.0	25.0	10.0	10.0	5.0	5.0	1.0	0.5	0.0
% de recouvrement des blocs par les <u>Phaeocarpion</u> <u>geographicum</u> et	40.0	20.0	15.0	10.0	10.0	5.0	3.0	1.0	0.5	3.0	1.0	0.5	0.05	0.0
Graisseur moyenne des <u>Stellis</u> de <u>Phaeocarpion</u> <u>geographicum</u> et (mm)	18.29	22.02	14.62	12.06	13.15	11.16	12.52	10.63	6.5	5.4	4.65	4.05	6.67	0.0
Graisseur du plus grand <u>Stelle</u> de <u>Phaeocarpion</u> <u>geographicum</u> et (mm)	31.0	30.0	22.0	21.0	26.0	19.0	25.0	21.0	12.0	11.0	12.0	15.0	20.0	0.0

Tableau 4: Résultats Ichénométriques du lobe no 4 du glacier rocheux A de la chaîne Dalton

échantillon no	1	2	3	4	5	6	7	8	9
% des blocs couverts par toutes les sortes de lichens	20.0	5.0	1.0	20.0	10.0	10.0	20.0	5.0	1.0
% de recouvrement des blocs par toutes les sortes de lichens	10.0	5.0	5.0	10.0	5.0	5.0	5.0	10.0	5.0
% des blocs couverts par les <u>Rhizocarpon geographicum</u> et	30.0	5.0	2.0	5.0	4.0	5.0	10.0	5.0	0.5
% de recouvrement des blocs par les <u>Rhizocarpon geographicum</u> et	5.0	1.0	1.0	5.0	2.0	1.0	1.0	5.0	5.0
grossueur moyenne des thalles de <u>Rhizocarpon geographicum</u> et (mm)	11.6	9.86	5.7	8.22	7.72	8.86	10.48	2.2	5.38
grossueur de plus grand thalle de <u>Rhizocarpon geographicum</u> et (mm)	18.0	21.0	17.0	18.0	19.0	17.0	19.0	7.0	15.0

Tableau 5: Résultats lichénométriques du lobe no 5 du glacier rocheux A de la chaîne Dalton

crête	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	C	C
Bourlet no	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4
% des blocs couverts par toutes les sortes de lichens	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	1.0	3.0	5.0	5.0
% de recouvrement des blocs par toutes les sortes de lichens	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	10.0	10.0	10.0	10.0
% des blocs couverts par les <u>Rhizocarpon geographicum s!</u>	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.5	5.0	5.0	5.0
% de recouvrement des blocs par les <u>Rhizocarpon geographicum s!</u>	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
grosseur moyenne des thalles de <u>Rhizocarpon geographicum s!</u> (mm)	16.50	12.8	13.3	15.8	16.75	13.65	10.80	16.17	16.78	18.3	3.09	8.20	6.41	13.0
grosseur du plus grand thalle de <u>Rhizocarpon geographicum s!</u> (mm)	54.0	25.0	27.0	40.0	28.0	22.0	25.0	27.0	28.0	31.0	7.0	23.0	17.0	23.0

crête	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Bourlet no	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% des blocs couverts par toutes les sortes de lichens	90.0	100.0	100.0	100.0	40.0	45.0	60.0	65.0	90.0	80.0	90.0	100.0
% de recouvrement des blocs par toutes les sortes de lichens	90.0	90.0	30.0	30.0	16.0	8.0	20.0	8.0	15.0	15.0	15.0	20.0
% des blocs couverts par les <u>Rhizocarpon geographicum s!</u>	40.0	90.0	90.0	90.0	20.0	8.0	30.0	38.0	80.0	60.0	90.0	100.0
% de recouvrement des blocs par les <u>Rhizocarpon geographicum s!</u>	10.0	15.0	10.0	15.0	10.0	1.0	10.0	8.0	10.0	10.0	10.0	10.0
grosseur moyenne des thalles de <u>Rhizocarpon geographicum s!</u> (mm)	11.30	12.6	14.07	15.04	13.95	11.65	12.66	15.48	13.56	12.46	13.5	12.15
grosseur du plus grand thalle de <u>Rhizocarpon geographicum s!</u> (mm)	16.0	21.0	23.0	27.0	27.0	19.0	24.0	27.0	24.0	21.0	21.0	23.0

Tableau 6: Résultats lichénométriques de la partie en amont du glacier rocheux B de la chaîne Dalton

Sur les lobes no 1A, 2A, 3A, 1B et 2B, on compte peu de lichens car les blocs rocheux qui forment ces lobes sont enfouis sous la végétation (tableau 3, p.55). S'ils affleurent à la surface, ils présentent généralement des faces fraîches. L'absence de lichen serait probablement due à l'instabilité et aux mouvements des blocs. Les lobes 3B et 4B montrent une petite gradation dans l'importance de l'implantation des lichens. Puis, immédiatement à l'amont du lobe 4B, on remarque que les lichens se sont bien implantés. Le fait qu'il y ait beaucoup moins de lichens sur les lobes plus en aval est peut-être dû à ce que la végétation cache les blocs et les lichens ou les empêche de s'installer et de se développer. Sur les lobes 4A, 5A et 6A, plus on monte vers l'amont, moins on trouve de lichens et plus les faces des blocs sont fraîches. Par contre, quand on arrive sur le lobe 7A, situé sur le flanc nord du lobe 5A, les blocs sont recouverts à 80% de tous les lichens et à 30% de Rhizocarpon geographicum sl. C'est là où se trouvent les plus grands thalles, 4,5 cm de diamètre. Par ailleurs, les blocs sont davantage couverts sur les lobes du glacier rocheux D. La présence de Rhizocarpon geographicum sl. est un peu plus importante que sur le glacier rocheux C. Par contre, on trouve les plus gros thalles sur ce dernier.

Enfin, une aire coïncée entre les glaciers rocheux B et D, composée d'un ensemble de petites crêtes parallèles s'étendant entre de grandes crêtes perpendiculaires a été échantillonnée (tableau 6, p.58). La partie plus au sud possède des résultats lichénométriques semblables à la partie du milieu du lobe 4A. Plus on remonte vers les crêtes plus au nord, plus les résultats s'apparentent à ceux du lobe no 5A.

4.1.2.2 Pédogenèse

L'épaisseur des profils de sol sur les lobes 7A, 2B, 3B et 4B est semblable d'un lobe à l'autre. Cependant le degré de développement, c'est-à-dire le nombre de niveau ainsi que la texture du matériel, varie selon les lobes (annexes 2, 6, 7 et 8, pp. 82, 92, 93 et 94). Le profil du lobe 7A s'apparente à celui du lobe 2B au point de vue texture du matériel (gravier dans

une matrice fine). Le sol du lobe 4B contient une pierrosité plus forte que les autres lobes de ce glacier rocheux. Sur ce glacier rocheux, on ne trouve pas de sol au-delà du lobe no 4 si ce n'est que dans de petites dépressions très localisées remplies de matériel qui a été fixé par une végétation qui s'y est implantée.

Le développement du sol du lobe 1 du glacier rocheux A se situe à mi-chemin entre les caractéristiques du profil de sol des lobes 7A et 1B, c'est-à-dire qu'il est moins profond que 7A mais possède une pierrosité plus faible que 1B. Le profil du lobe 2A est semblable à celui du lobe 1A. Par contre, le sol 3A est beaucoup moins développé. Sur les autres lobes du glacier rocheux A, le sol est inexistant sauf, comme dans le cas précédent, dans les petites dépressions favorables à l'accumulation du matériel éolien ou résultant de la gélifraction.

Dans le cas du glacier rocheux D, les profils relevés mesurent 29 cm pour le lobe inférieur et 35 cm sur le lobe supérieur tandis que sur le glacier rocheux C, le sol n'atteint que 20 cm. Cependant, on trouve plus de cailloux dans le profil du glacier rocheux D que dans celui du glacier rocheux C.

Au point de vue granulométrique, comme dans le cas de la chaîne Ruby, les courbes cumulatives dévoilent que plusieurs agents ont participé à la mise en place des matériaux formant les lobes. Cependant, les blocs recouvrant les lobes viennent principalement des parois des cirques et des vallées et résultent des éboulis et de la gélifraction. Certains blocs ont aussi été apportés par la glace car on en trouve formés de roches autre que sédimentaire c'est-à-dire qui ne viennent pas des parois. On remarque aussi que les courbes des lobes nos 1, 2, 3, et 4 du glacier rocheux B sont semblables à celles des glaciers rocheux C et D. Enfin, c'est au niveau du glacier rocheux A que les courbes sont les plus variées. Les courbes des lobes no 1, 3 et 7 s'apparentent à celles des lobes des glaciers rocheux B, C et D. Par contre, le matériel du sol du lobe no A2 ainsi que celui de l'horizon supérieur du sol du lobe A1 possèdent une plus forte proportion de matériel plus fin.

Les résultats des mesures de pH indiquent que celui-ci augmente selon les lobes suivants: 1A, 7A, 2A, 3A et 4A. Sur le glacier rocheux B, l'augmentation du pH va dans l'ordre des lobes suivants: 2B, 3B, 1B et 4B. Les valeurs de pH des lobes du glacier rocheux B équivalent à celles trouvées sur les lobes 2A et 3A. Le sol du glacier rocheux C a un pH d'environ de 6,30 et celui du glacier rocheux D, de 6,40 pour le lobe du haut et de 6,52 , pour le lobe du bas.

Le pourcentage de matière organique diminue d'un lobe à l'autre (7A, 4A, 1A, 2A, 3A) sur le glacier rocheux A ainsi que sur le glacier rocheux B (1B, 3B, 2B, 4B). Enfin, on a mesuré 50,24% de matière organique dans l'horizon supérieur et 15,12% dans l'horizon inférieur du glacier rocheux C ainsi que 23% de matière organique dans le lobe inférieur du glacier rocheux D et 12,8% dans le sol du lobe supérieur.

Les résultats des rapports AlD/FeD , AlO/AlT et FeO/FeT , dans le cas du glacier rocheux A, démontrent que les lobes 1A et 7A sont les plus vieux et que 2A et 3A, sont plus jeunes. De plus, ces mêmes taux sont généralement plus élevés pour le glacier rocheux C que le glacier rocheux D révélant que C serait plus vieux. Pour sa part, le glacier rocheux B, possède des taux indiquant que les lobes 1 et 3 seraient les plus âgés et 2 et 4, plus jeunes. Le taux FeO/FeD indique les mêmes résultats que les autres taux mentionnés plus haut pour les glaciers rocheux C et D. Par rapport aux autres taux, FeO/FeD donne des résultats contraires dans le cas du glacier rocheux A. Pour le glacier rocheux B, ce taux FeO/FeD varie selon la profondeur. En surface, on obtient des taux FeO/FeD indiquant les mêmes résultats que les autres rapports tandis que pour le matériel plus en profondeur, les résultats sont contraires. Malheureusement, la restriction de nos connaissances en cette matière ne nous permet pas d'apporter une réponse à ce problème.

Comme dans les sols des moraines de la chaîne Ruby, les pourcentages de fer et d'aluminium, obtenus par extraction totale, sont généralement plus élevés dans les sédiments en profondeur que ceux situés en surface. Sur les lobes du glacier rocheux A, on trouve un pourcen-

tage plus élevé de fer et d'aluminium dans les sols des lobes 3 et 2, et plus faibles dans les sols des lobes 7 et 1. Si on suppose que plus le pourcentage de fer et d'aluminium libre dans un sol est élevé, plus ce sol sera âgé. Selon la position du lobe ainsi que les résultats des autres méthodes employées, les lobes 7A et 1A devraient être plus âgés que 2A et 3A. Mais selon les résultats, le pourcentage de fer et d'aluminium est plus bas pour les lobes 1A et 7A que pour les lobes 2A et 3A. Serait-ce parce que le fer et l'aluminium libérés auraient été emportés à cause d'un bon drainage dans le matériel sous-jacent diminuant ainsi le pourcentage de fer et d'aluminium présent?

Sur le glacier rocheux B, les pourcentages de fer et d'aluminium libres sont plus élevés dans les sols des lobes 2 et 4 et diminuent aux lobes 3 et 1. Enfin, on retrouve ces pourcentages plus élevés sur le glacier rocheux C et dans le lobe supérieur de D tandis qu'ils diminuent dans le lobe inférieur de ce dernier glacier rocheux.

4.1.2.3 Succession de la végétation

Sur les deux principaux glaciers rocheux de la chaîne Dalton (A et B), la densité de la végétation varie d'un lobe à l'autre (tableau 3 et annexe 10, pp. 55 et 99). Sur les lobes les plus en aval, la végétation implantée est fortement représentée par une végétation qui transite vers la pessière (Salix sp., Picea sp.). Ensuite, sur les seconds lobes, elle cède totalement la place à une toundra arbustive. Puis sur les troisièmes lobes, la végétation varie selon ces deux glaciers rocheux. Sur le glacier rocheux B, la végétation recouvrant les lobes 3 et 4 est sensiblement la même mais diminue de façon draconienne immédiatement à l'amont de ces 3 lobes. Les lobes 2B, 3B et 4B sont couverts à environ 80% et les régions plus à l'amont, de 5 à 10%. Par contre, sur le glacier rocheux A, la végétation se raréfie, sa densité décroît à mesure que l'on remonte en altitude et reste presque nulle sur le lobe no 6. En effet, la végétation couvre la surface des lobes 3, 4, 5 et 6 d'environ 70, 50, 20 et 5%. Sur les lobes 4 et 5, la végétation ne s'est implantée que dans les dépressions et près des limites latérales du gla-

cier rocheux où il y a accumulation de matériel fin. Pour sa part, le lobe no 7 du glacier rocheux A, niché à la hauteur du lobe no 5A est couvert à environ 90% d'une végétation représentée, elle aussi, par une toundra arbustive. La variation de la densité du couvert végétal n'est cependant pas causée par l'altitude. On note, par exemple, que situé à la même altitude que le lobe 5A, le lobe 7A possède une végétation beaucoup plus abondante que ce dernier. De plus, autre exemple, le glacier rocheux B, un peu plus élevé en altitude que A, possède une végétation beaucoup plus luxuriante que les lobes 3A à 6A. Enfin, la végétation qui recouvre les glaciers rocheux C et D est représentée par une toundra arbustive du même type que sur le lobe 7A. Ces deux glaciers rocheux voient environ 60% de leur surface recouverte par la végétation.

4.2 DISCUSSION

4.2.1 Chaîne Ruby

Dans la chaîne Ruby, selon le nombre de moraines et la position qu'elles occupent dans chacun des cirques, on peut déceler au moins trois réavancées (fig 2, p. 8). On remarquera trois moraines dans le cirque C, deux dans B et 6 dans A. Logiquement, leur position indique la chronologie de leur édification. Dans le cirque C, la moraine no 3 se serait édifiée la première, ensuite la no 2 et la no 1. Dans le cirque B, la moraine no 2 serait la plus vieille et la no 1, la plus jeune. Enfin, dans le cirque A, plus élevées en altitude que les autres, 6 et 7 seraient les plus vieilles, ensuite 3 et 4, 2 puis no 1 la plus jeune.

Selon les résultats fournis par les différentes méthodes de datation utilisées, dans le cirque B, on dénote une différence nette entre le degré de développement des facteurs étudiés sur les deux moraines présentes. La moraine no 1 est nettement plus jeune que la no 2. Dans le cirque C, la moraine no 1 présente en général des caractéristiques moins développées. Il en va de même pour la moraine no 3, où on s'attendrait à découvrir des caractéristiques de déve-

loppement plus avancé. Enfin, c'est dans le cirque A que le degré de développement des facteurs est le plus variable et le plus discordant par rapport à la position des moraines. Tout d'abord, on note une différence entre les moraines no 6, 7 et 3 qui normalement devraient avoir environ le même âge.

De plus, dans plusieurs cas, sur ces moraines, le degré de développement est moins avancé que celui des moraines nos 1 et 2 qui, selon leur position dans le cirque, devraient s'être édifiées plus tard. Aussi, dans l'ensemble, les résultats obtenus marquent la tendance que les moraines 7 et 4 sont les plus âgées. Par contre, ils laissent paraître l'anomalie que la moraine no 6 serait la plus jeune. Enfin, ils sont variés pour les autres moraines de ce cirque.

Ces différences dans le développement sont peut-être causées par divers facteurs externes. Par exemple, le développement des caractères étudiés de la moraine no 6 du cirque A aurait peut-être été freiné par la présence de neige permanente accumulée, sous l'influence de conditions de pergélisol ou d'ensoleillement moins propices au dégel. Dans ce même cirque, la moraine no 3, plus près de la sortie du cirque et dont le sol se compose d'une forte proportion de cendre volcanique, probablement apportée par le vent, offre des conditions moins propices au développement de ce sol et de la végétation.

Enfin, la moraine no 3 du cirque C, située directement dans la vallée passant au pied du cirque, est beaucoup plus petite que toutes les autres moraines étudiées. Elle a probablement subi une forte érosion par les eaux fluvioglaciaires diminuant considérablement sa dimension. Cette érosion pourrait être la cause du rajeunissement des caractéristiques de cette moraine par rapport aux autres situées plus en amont dans le cirque.

La position des moraines dans les cirques et les résultats obtenus par les diverses méthodes employées démontrent que le développement des sols, de la végétation ainsi que des lichens ne s'est pas amorcé immédiatement après l'édification de la moraine. Il semble y avoir eu un certain laps de temps avant que le développement commence. Des facteurs

externes comme la présence du pergélisol, l'érosion et l'accumulation de neige en plaques permanentes et semi-permanentes ont agi. Ceux-ci ne semblent pas avoir agi en même temps ou durant une même période de temps, faisant varier d'une moraine à l'autre le laps de temps écoulé entre l'édification de la moraine et la formation de son sol de même que de l'implantation des lichens et de la végétation. De plus, il semble que les caractéristiques du développement de la végétation implantée sur chaque moraine aient atteint un paroxysme, un développement maximal et que les résultats de cette méthode de datation ne s'avèrent pas très révélateurs ni concluants, c'est-à-dire que les variations ne sont pas très importantes. D'une moraine à l'autre, on ne rencontre pas une succession végétale comme telle. Les différences dans les caractéristiques de la végétation implantée d'une moraine à l'autre ne semblent pas révéler un indice de temps mais plutôt un indice de microclimat selon les micro-reliefs.

Sans datations au radiocarbone, les résultats obtenus par les méthodes de datation relative employées ne peuvent servir à élaborer une chronologie des fluctuations des glaciers. Ces résultats, même si les échantillons ont été prélevés dans les conditions les plus semblables possible, dépendent trop des facteurs externes. Le meilleur moyen pour la datation de ces fluctuations aurait été de s'appuyer sur le plus grand nombre possible de datations au C-14 de matériel trouvé dans des endroits stratégiques comme au contact entre le sol sous la moraine et le till formant la moraine même. Cependant, la cendre volcanique datée à environ 1230 C-14 années BP (Denton et Karlén, 1977) et présente dans tous les profils de sol prélevés sur les moraines indique que leur édification est nécessairement antérieure à cette date.

4.2.2 Chaîne Dalton

Contrairement à la chaîne Ruby, dans la chaîne Dalton, les résultats obtenus par les différentes méthodes employées sont généralement concordants avec la position des lobes formant les glaciers rocheux étudiés. Cependant, sans toutefois apporter une réponse catégorique, ces résultats démontrent une tendance chronologique.

Selon les glaciers rocheux étudiés, on remarque deux aires d'âges différents. La surface couvrant les lobes 3A, 4A, 5A et 6A ainsi que la partie amont du glacier rocheux B sont beaucoup moins développées. Un morceau de bois identifié par M H. Jetté (GSC Wood Report no. 86-2) comme Salix sp., a été trouvé entre la couche de blocs formant le matériel du lobe 3A et la couche de sol développé sur ce matériel glaciaire. La datation au C-14 de ce morceau de saule indique une date moderne (GSC-4195). Donc tout ce qui est à l'amont de ce lobe 3A ou présente un même degré de développement (comme dans le cas de la partie amont du glacier rocheux B) devrait être du même âge.

Très différents de cette aire par un développement plus important de la végétation, des lichens ainsi que de leur sol, les lobes 7, 1 et 2 du glacier rocheux A ainsi que les lobes 1, 2, 3 et 4 du glacier rocheux B sont donc beaucoup plus âgés.

Selon les résultats obtenus, la chronologie des événements aurait été la suivante. Tout d'abord, il y aurait eu une première avancée des glaciers A et B. Au recul, les deux fronts protégés par une couverture de débris venant des parois formèrent les lobes 1A et 1B. Puis, les deux glaciers réavancent. A leur deuxième recul, les lobes 2A et 2B se forment. Cependant, il n'y a aucune évidence pour affirmer que les avancées et reculs de ces deux glaciers aient été synchronisés. Ensuite, le glacier B aurait avancé et reculé à deux reprises formant ainsi les lobes 3B et 4B. Probablement, à ce moment, ou même plus tôt, le lobe 7A s'est formé. Plus tard, le glacier A aurait subi une crue sectionnant le lobe no 7 et recouvrant ou détruisant tout sur son passage jusqu'au lobe 2A. Ce phénomène expliquerait la différence de développement entre les deux aires adjacentes sur ce glacier rocheux. De son côté, le glacier B, aurait réavancé mais jusqu'au lobe 4B puis serait resté stationnaire quelques années pour fondre ensuite. La position stationnaire de ce glacier se révèle par la série de petites crêtes parallèles qui pourraient indiquer les fluctuations annuelles de ce glacier.

Par ailleurs, selon la position qu'ils occupent, les glaciers rocheux C et D ne semblent pas être d'origine glaciaire comme les glaciers rocheux A et B. Selon les conclusions tirées



Figure 12: Vue du glacier rocheux D

par le professeur Peter G. Johnson, les glaciers rocheux C et D se seraient formés à partir du glacier rocheux B c'est-à-dire que les blocs de ce dernier auraient débordé sur le côté formant ainsi ces deux glaciers rocheux latéraux (Johnson, comm. pers.). Dans ses recherches, le professeur Johnson n'a pas trouvé l'évidence d'un noyau de glace dans les glaciers rocheux C et D. Selon lui, la glace du glacier rocheux B, en fondant, fournit l'eau disponible dans les glaciers rocheux C et D. Contrairement aux glaciers rocheux A et B, l'alimentation en blocs des glaciers rocheux latéraux ne vient pas des parois de la vallée mais plutôt du glacier rocheux B. Les glaciers rocheux C et D seraient donc d'origine périglaciaire (Johnson, comm. pers.).

Même s'ils ne sont pas d'origine glaciaire, les glaciers rocheux C et D témoignent d'une période où les cycles gel-dégel sont plus fréquents. Ce phénomène engendre plus de mouve-

ment aux blocs du glacier rocheux B permettant ainsi la formation des deux glaciers rocheux latéraux. Chronologiquement, les glaciers rocheux C et D semblent s'être édifiés peu après la formation des lobes 3A et 4B, bien avant la réavancée en crue du glacier rocheux A et la dernière réavancée du glacier rocheux B.

4.3 IMPLICATIONS PALEOCLIMATIQUES

Dans une étude sur les glaciers, les conditions d'humidité et de température sont les deux données essentielles. Ce sont elles qui règlent l'accumulation et l'ablation (Paterson, 1981), donc la survie ou la destruction des glaciers. Comme nous l'avons déjà mentionné au premier chapitre, même située près des côtes du Pacifique, la chaîne Ruby est une région sèche par effet de Chinook. Par contre, on trouve de la glace dans les cirques de la chaîne Dalton. Ainsi donc, un changement de conditions climatiques apporté par les masses d'air venant du Pacifique n'aura pas la même intensité selon ces régions. Dans la chaîne Ruby, qui ne reçoit jamais d'énormes quantités de neige (Normales climatiques au Canada, 1982), la vie des glaciers sera régie essentiellement par de basses températures en été qui freineront l'ablation (Lagarec, comm. pers.). Ainsi, dans cette chaîne, on trouvera une très faible accumulation accompagnée d'une plus ou moins forte ablation défavorisant la survie des glaciers. Une augmentation d'humidité affectera beaucoup et directement la région des St- Elias, de façon relative la région de la chaîne Dalton mais sans pour autant avoir une influence dans la chaîne Ruby.

Par sa position géographique, pendant le Pléistocène comme l'Holocène, la chaîne Ruby n'a jamais été favorisée par de fortes précipitations (Lagarec, comm. pers.). Par rapport à la chaîne Ruby, même si son climat reste sec, la chaîne Dalton, située immédiatement à côté des monts St-Elias, est en meilleure position au point de vue circulation atmosphérique. En effet, comme on a déjà expliqué au premier chapitre, la chaîne Dalton reçoit son humidité

des masses d'air venant du sud et qui passent par un couloir préférentiel composé de vallées plus basses. La chaîne Dalton se situe donc sur la trajectoire même de ces masses d'air. Par exemple, on enregistre en moyenne par année 140,7 cm de neige à Haines Junction situé à environ 24 km de la chaîne Dalton par rapport à 66,9 cm à Kluane, situé près de la chaîne Ruby (Normales climatiques au Canada, 1982) . De plus, la proximité de la calotte glaciaire des monts St-Elias pourrait-elle affecter les températures, aidant ainsi à réduire l'ablation et permettant la présence de glaciers contemporains dans les cirques de la chaîne Dalton? Selon les caractéristiques climatiques mentionnées plus haut, dans les deux régions étudiées, les relations accumulation-ablation n'ont pas la même importance. Dans les monts St-Elias, la naissance et la survie des glaciers sont principalement dictées par l'abondance de l'accumulation de neige apportée par les masses d'air humide du Pacifique. Dans des proportions moins importantes, il en va de même pour la chaîne Dalton. Au contraire, dans la chaîne Ruby, ne recevant jamais d'énormes quantités de neige (Normales climatiques au Canada, 1982), la vie des glaciers sera régie essentiellement par de basses températures en été qui freineront l'ablation (Lagarec, comm. pers.). Donc, dans la chaîne Ruby, l'entretien de glaciers s'effectuerait par la faible ablation au cours de l'été. Cette caractéristique impliquerait une circulation des masses d'air plus zonale en été (venant de l'ouest plutôt que du sud) donnant des températures plus fraîches durant cette saison (Andrew et al., 1972; Lagarec, comm. pers.). Aujourd'hui, en été, les masses d'air viennent du sud (Weatherwise, p. 175, 207, 219, etc.) apportant ainsi de la chaleur. Cette chaleur est probablement la cause du retrait et de la petitesse des glaciers présents dans la chaîne Dalton. Avec des températures plus fraîches en été, on aurait plus de chances de pouvoir trouver de petits glaciers dans la chaîne Ruby.

Dans les Saint-Elias et la chaîne Dalton, on est donc en présence de fortes accumulations et une plus ou moins forte ablation donnant aux glaciers un bilan positif ou faiblement négatif, et permettant ainsi leur présence. Dans la chaîne Ruby, on trouve une très faible accumulation accompagnée d'une plus ou moins forte ablation défavorisant la survie des gla-

ciers. Une petite fluctuation de température ne serait sans doute pas suffisante pour faire naître des glaciers dans la chaîne Ruby. On ne pourrait avoir que des bancs de neige permanents ou des débuts de névéification. Toutefois, il serait difficile de prouver la présence de glacierets ou de névés car ces deux phénomènes sont trop petits ou pas assez développés pour ériger des moraines indicatrices de leur existence. De plus, la naissance de nouveaux glaciers à partir de névés demanderait des conditions d'humidité beaucoup plus importantes qu'aujourd'hui. A cause de la position géographique de la chaîne Ruby, cette condition exigerait un trop grand bouleversement dans le type de circulation actuelle des masses d'air pour permettre la naissance de nouveaux glaciers. L'existence de glaciers dans la chaîne Ruby devrait donc venir de la réactivation d'énormes culots de glace déjà existants dans les cirques.

Si durant une période donnée il y avait un changement d'humidité dans les masses d'air entraînant une augmentation d'accumulation neigeuse, les glaciers des monts St-Elias subiraient alors des fluctuations bien plus importantes que ceux de la chaîne Ruby. Par contre, des variations dans les températures, favorisant l'ablation affecteraient probablement également des glaciers de même grosseur dans les deux régions. L'établissement d'une chronologie des fluctuations glaciaires des deux régions étudiées avec des dates C-14, nous révélerait si effectivement les conditions d'humidité et de températures agissent de cette manière ou non selon les deux endroits. Aussi, les deux chronologies pourraient être décalées dans le temps dévoilant une différence de grosseur des glaciers selon les deux régions. Ceux dans la chaîne Ruby répondraient plus vite et plus facilement que ceux de la chaîne Dalton aux changements de température car ces derniers seraient plus gros. Une petite hausse dans les températures estivales serait sans doute suffisante pour faire fondre la glace qui aurait survécu dans la chaîne Ruby.

De plus, il y a aussi le phénomène des crues glaciaires. Plusieurs glaciers des monts Saint-Elias présentent un schéma de fluctuations marqué de crues. Même si elles sont dirigées par des fluctuations climatiques, les réponses de chaque glacier qui présente des crues, diffé-

rent. Selon les glaciers étudiés, la chronologie de leurs fluctuations varie d'un glacier à l'autre si l'un d'entre eux subit des crues. Ceci expliquerait la différence entre les glaciers rocheux A et B étudiés dans la chaîne Dalton. A part leur terminus, le glacier rocheux A est plus récent que B.

Dans les cirques étudiés de la chaîne Ruby, s'il y a eu la présence de glaciers durant l'Holocène ce serait dans le cirque B. En effet, l'ensemble des résultats démontrent que la moraine 1 B présente des caractéristiques moins développées qu'ailleurs. De plus, on retrouve de grandes plaques de neige semi-permanentes nichées entre cette moraine et la paroi du cirque. A cet endroit, s'il y a eu activité de la glace durant l'Holocène, selon les implications climatiques discutées plus haut, cela devrait probablement être une réactivation d'un restant de glace du Pléistocène ayant résisté jusque-là. En supposant que ce restant de glace ait été protégé par la couche de débris encore présente, faisant face au nord-ouest et protégé du vent par la moraine, cette glace aurait pu baigner dans un micro-climat favorable à sa survie. Cette réactivation aurait probablement eu lieu au début de l'Holocène, par exemple, lors de la première réavancée des fronts glaciaires proposée par Denton et Karlén (1973 et 1977). Ensuite, avec le temps, elle aurait diminuée jusqu'à sa dimension actuelle. Mais cette hypothèse peut-elle être réaliste? Ou la différence démontrée par les résultats obtenus ne serait due qu'à la présence de neige accumulée dans cet endroit favorable à l'accumulation, ce qui aurait freiné le développement des facteurs étudiés? Mais une question se pose. Y-a-il un sol entre la neige et la roche en place de ce cirque? Un forage aurait été utile. Malheureusement l'équipement manquait. L'étude d'une carotte prélevée par un forage dans ces plaques de neige jusqu'à la roche en place de ce cirque aurait peut-être pu ébaucher une réponse à notre question. Si on avait trouvé un sol, notre hypothèse de la possibilité de trouver dans ce cirque B un petit glacier formé à partir d'un restant de glace datant du Pléistocène serait rejetée car la présence de ce sol prouverait que lors de la déglaciation, la glace aurait totalement disparu de ce cirque et que ces plaques de neige ne seraient qu'une accumulation de neige récente. Par

contre, si on n'avait pas trouvé de sol entre la neige et la roche en place mais uniquement de la glace et des débris, on pourrait encore poser notre hypothèse. Cependant, nous devons rester conscients que la plaque de neige peut par elle-même éliminer un sol par gélifraction et ruissellement.

Chapitre V

CONCLUSION

A travers cette recherche, les résultats des techniques de datation relative employées ne permettent pas d'élaborer une chronologie des fluctuations glaciaires de la chaîne Ruby ni de détecter s'il y a eu un certain synchronisme d'un cirque à l'autre. Plusieurs datations radiométriques d'échantillons prélevés dans chacun des cirques se seraient donc avérées nécessaires pour la reconstitution des fluctuations glaciaires de cette région.

On ne peut davantage affirmer que ces cirques aient été occupés par la glace durant l'Holocène. Cependant, la différence marquée dans le développement des facteurs étudiés de la moraine no 1 du cirque B n'exclut pas la possibilité de survie d'un petit glacier dans ce cirque durant l'Holocène. Afin de donner du poids à cette hypothèse, il faudrait vérifier dans les autres cirques de la chaîne Ruby si on ne trouverait pas d'autres indices comme du matériel moins altéré et moins développé, des conditions semblables ou plus marquées, des sites préférentiels à la protection de glace contre l'ablation et même du matériel datable au C-14 incitant à s'en tenir à cette hypothèse de la présence de glaciers durant l'Holocène dans cette partie du Yukon. En plus d'un forage dans la plaque de neige située entre la paroi du cirque B et la moraine no 1, cette étude pourrait s'étendre aux cirques nichés dans la vallée de Raft Creek ainsi que dans celles situées entre les rivières Gladstone et Talbot.

Dans la chaîne Dalton, les méthodes utilisées fournissent des résultats plus concluants. Les caractéristiques du développement des sols, de la végétation et des lichens dévoilent des changements évidents dans l'espace. Cela est peut-être dû au fait que le matériel de la chaîne Dalton est plus récent et que les facteurs étudiés n'ont pas atteint un stade final de développe-

ment comme les lichens et la végétation de la chaîne Ruby qui semble avoir atteint son climax par rapport au temps et au climat. Les différences entre les lobes sont bien marquées. Néanmoins, l'étude de quatre glaciers rocheux ne suffit pas pour élaborer une chronologie dans cette région. L'étendue de cette étude à plusieurs autres glaciers rocheux de cette chaîne aurait plus de chance d'englober toutes les fluctuations qui ont eu lieu et d'aplanir les erreurs et difficultés rencontrées à cause des crues subites de certains glaciers. Cependant si le phénomène de crue est présent dans une vallée, il pourrait affecter plusieurs autres vallées. Si c'est le cas, l'établissement de la chronologie à l'aide des techniques de datation employées devrait s'appuyer sur le plus grand nombre possible de dates établies au radiocarbone.

Sans toutefois comparer les résultats obtenus d'une région par rapport à l'autre, visuellement, les lobes des glaciers rocheux de la chaîne Dalton possèdent des surfaces beaucoup plus fraîches que les moraines de la chaîne Ruby. Selon la date établie au C-14 indiquant que l'édification du troisième lobe du glacier rocheux A est récente et le développement général des lichens et de la végétation, il paraît évident que les glaciers de la chaîne Dalton ont subi une activité récente soit, par exemple, lors du Petit Age Glaciaire (sensu stricto). On remarque aussi un manque de synchronisme entre les avancées des glaciers A et B. La dernière avancée du glacier A semble s'être manifestée plus tardivement et plus loin dans l'espace que celle du glacier B. Dans le cas de A, la force de la glace poussant le front plus loin en aval et détruisant tout sur son passage, révèle probablement un phénomène de crue que l'autre glacier ne semble pas avoir subi compte tenu de la position de son front plus en retrait à cette même époque.

Toutes les moraines étudiées de la chaîne Ruby se sont édifiées beaucoup plus tôt, soit avant le dépôt de la cendre volcanique "White River", datée de 1230 C-14 ans BP (Denton et Karlén, 1977). Ceci explique le fort degré d'implantation des lichens et de la végétation. Contrairement à la chaîne Dalton, aucune évidence d'une activité glaciaire certaine durant l'Holocène n'a été observée dans cette chaîne mis à part l'indice fourni par les caractéristiques de

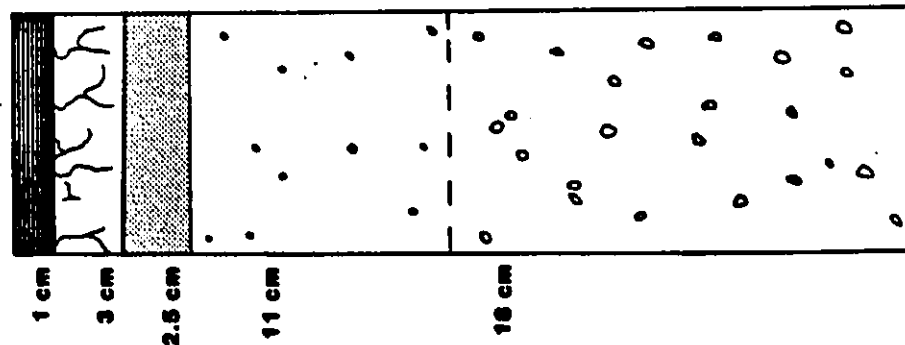
développement des facteurs étudiés de la moraine 1 B qui pourraient infirmer la conclusion formulée ci-dessus. Dans la chaîne Ruby, les traces d'activité glaciaire semblent appartenir au tardiglaciaire soit la fin du Pléistocène ou peut-être le début de l'Holocène. Dans la chaîne Dalton, l'activité glaciaire s'est manifestée jusqu'au Petit Age Glaciaire. L'hypothèse no 3 posée au chapitre premier et traitant du synchronisme des fluctuations des glaciers de l'Holocène des deux chaînes sera donc rejetée.

Selon les caractères étudiés, la chaîne Dalton serait située à la limite de la région qui possède un bilan accumulation-ablation permettant la survie des glaciers. Sa position dans le corridor préférentiel composé de vallées orientées nord-sud joue un rôle déterminant dans la réception des précipitations nécessaires. Du côté nord-est de la vallée Shakwak, la chaîne Ruby baigne dans l'air sec. Cette situation semble être la principale cause de la différence marquée entre les deux chaînes étudiées.

Enfin, dans le cadre d'une telle étude, le meilleur outil s'avère la datation au radiocarbone. La difficulté de trouver du matériel datable dans des endroits pertinents n'ayant pas subi de cryoturbation nous a obligé à opter pour l'utilisation de méthodes de datation relative. Cependant, les résultats obtenus par de telles méthodes doivent être considérés avec soin. Ces méthodes n'offrent qu'une tendance, qu'une idée globale du facteur temps dans un espace donné. C'est pourquoi, il est important d'utiliser plusieurs méthodes s'attaquant à divers facteurs, chacune employée selon les caractéristiques les plus significatives de la région étudiée. De plus, dans l'étude de ces deux chaînes, les résultats obtenus auraient pu dire davantage et relever des indices intéressants s'ils avaient été enrichis par plusieurs dates absolues calculées à partir du radiocarbone. C'est dans cette association que l'ensemble des résultats obtenus par des techniques de datation relative détient tout son sens, sa valeur et sa pertinence pour l'élaboration d'une chronologie des fluctuations des glaciers de cirque de l'Holocène.

Annexe 1 PROFILS PEDOLOGIQUES DES SOLS DEVELOPPES SUR LES MORAINES DES CIRQUES DE LA CHAÎNE RUBY

**cirque A
moraine no 1**



1 cm

3 cm

2.5 cm

11 cm

16 cm

litière

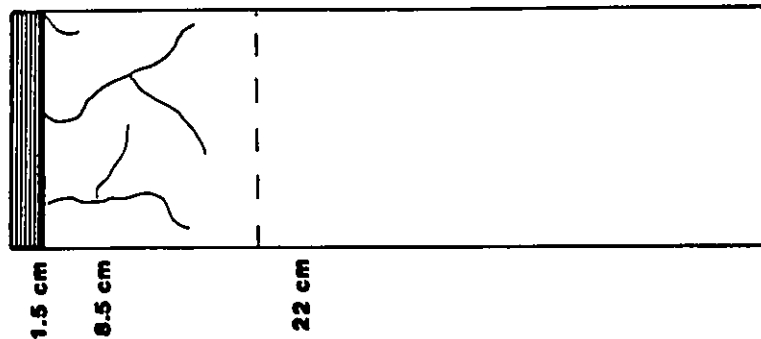
couleur: 10 YR 3/2, texture fine avec cendre volcanique, pierrosité 0%, aucune structure, forte cohésion, environ 50% de matière organique, 20% de racines

cendre volcanique

couleur: 7.5 YR 3/2, texture sable-limoneuse, pierrosité: 2% à 3%, aucune structure, cohésion moyenne à forte, environ 10% de matière organique

couleur: 10 YR 3/3, texture grossière dans une matrice fine (limon et argile), pierrosité: environ 30%, aucune structure, 60% de cohésion moyen

**cirque A
moraine no 2**



1.5 cm

8.5 cm

22 cm

litière

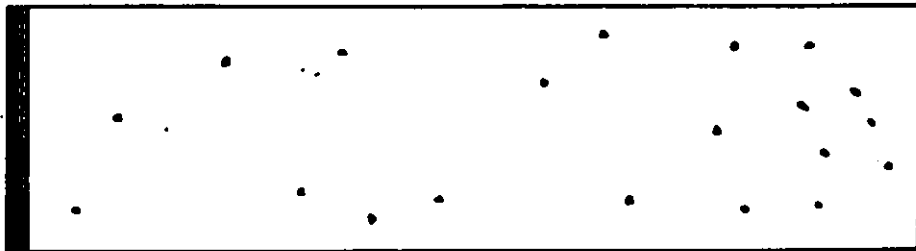
couleur: 10 YR 3/3, texture fine (limoneuse), pierrosité 0%, aucune structure, fort degré de cohésion, environ 20% de matière organique, faible fréquence des racines

couleur: 10 YR 3/3, texture: sable fin avec 50% de cendre volcanique, pierrosité: 0%, aucune structure, degré de cohésion moyen à fort, pourcentage de matière organique très faible

**cirque A
morsine no 3**

0.5 cm

37.5 cm



litière

couleur: 10 YR 3/3. texture adhésive (cette fin avec centre volcanique), pierrosité faible (environ 10% avec gravier en profondeur), aucune structure, degré de cohésion très faible, tous de matière organique moyen à nul de haut en bas. faible fréquence des racines. bien drainé

**cirque A
morsine no 4**

1 cm

21 cm



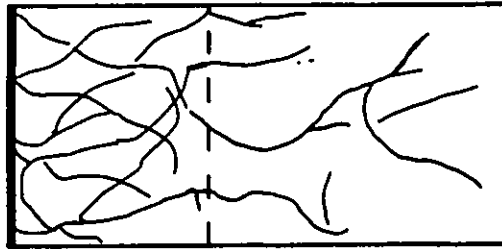
litière

couleur: 10 YR 2.5/1. texture fine (limon et avec environ 5% de centre volcanique), pierrosité variable, forte cohésion, leur de matière organique faible, faible préance des racines, mauvais drainage

15 cm

couleur: 10 YR 2.5/1. texture fine (limon et argile), pierrosité moyenne (environ 50% gravier et moins de 2 cm), aucune structure, forte cohésion du matériel fin, faible leur de matière organique et de racines, mauvais drainage (peu)

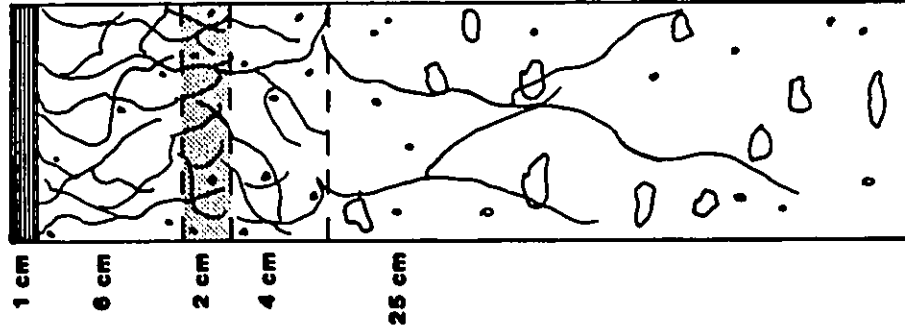
cirque A
moraine no 8



couleur: noir, texture: matière organique, pierrosité: nulle, aucune structure, fort degré de cohésion à cause des racines et de la matière organique (peu de matériel minéral), tous de matière organique et fréquence des racines très forte, très mal drainé

couleur: 10 YR 5/1, texture grasse (sable et forte proportion de cendre volcanique), pierrosité: nulle, aucune structure, degré de cohésion faible, faible taux de matière organique, environ 10% de racines, très mal drainé, gelé

cirque A
moraine no 7



litère

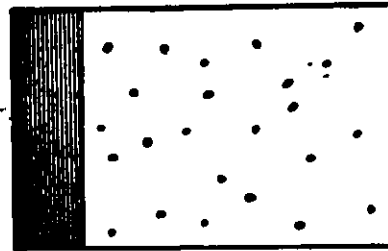
couleur: 10 YR 2.5/1, texture fine, pierrosité très faible (peu de gravier), aucune structure, fort degré de cohésion, fort taux de matière organique, fréquence importante des racines, mal drainé, gelé

couleur: 5 YR 2.5/2, texture fine avec cendre volcanique (même chose que la couche du dessus mais avec de la cendre volcanique)

couleur: 10 YR 2.5/1, texture fine, pierrosité faible (peu de gravier), aucune structure, forte cohésion, fort taux de matière organique et fréquence importante des racines, mal drainé, gelé

couleur: 10 YR 3/2, texture: cailloux dans matrice fine, forte pierrosité (de gravier à cailloux), aucune structure, faible cohésion, importance moyenne de la matière organique à cause des racines, fréquence moyenne des racines, mal drainé

**clisque B
moraine no 1**



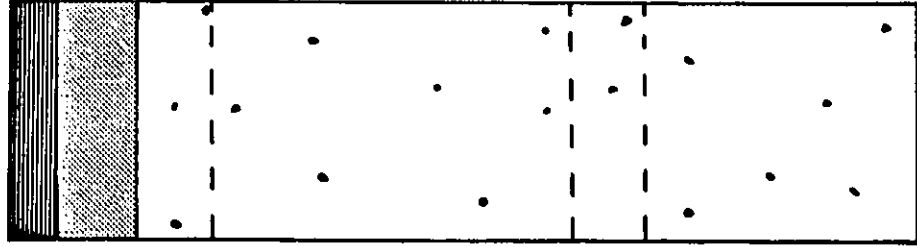
3 cm

13 cm

litière

couleur: 5 YR 2.5/2, texture fine, pierrosité moyenne (gravier dans matrice fine), aucune structure, fort degré de cohésion, faible teneur de matière organique, faible fréquence des racines, mal drainé, gris

**clisque B
moraine no 2**



2.5 cm

3 cm

3 cm

15 cm

3 cm

12 cm

litière

sandre volcanique

couleur: 10 YR 3/2

couleur: 10 YR 3/3

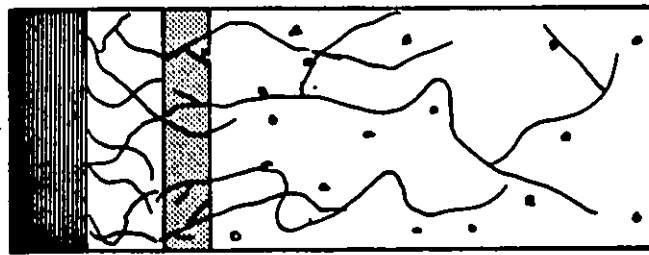
même chose tout le long du profil mais en dénote une différence, une gradation de couleur

texture fine, pierrosité: très faible, structure: gradation de couleur, existence avec lamelles de matière organique noire, fort degré de cohésion, faible teneur de matière organique, fréquence moyenne à faible (vers le bas) des racines, mal drainé

couleur: 10 YR 3/1

couleur: 10 YR 4/4

**cirque C
moraine no 1**



3 cm

3 cm

2.5 cm

11.5 cm

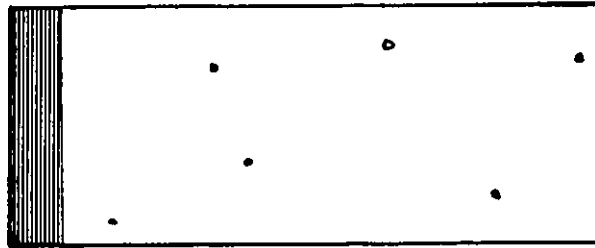
litière

couleur: 5 YR 2.5/1. texture fine, pierrosité: nulle, aucune structure, fort degré de cohésion, fort tour de matière organique et des racines, mal drainé

centre volcanique

couleur 5 YR 3/1, texture fine (environ 40% de petit gravier dans matrice fine), pierrosité: environ 40% de petit gravier, aucune structure, moyen à fort degré de cohésion, tour moyen de matière organique et fréquence moyenne des racines, mal drainé

**cirque C
moraine no 2**



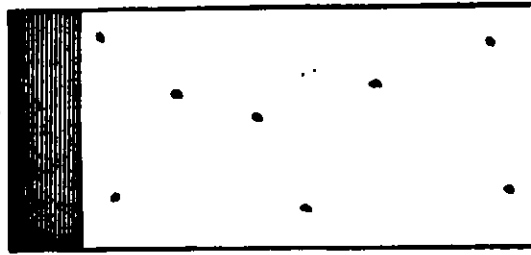
2 cm

23 cm

litière

couleur: 10 YR 3/2, texture fine, pierrosité très faible, fort degré de cohésion, aucune structure, tour moyen à nul (vers le bas) de matière organique et des racines, très mal drainé

cirque C
moraine no 3



3 cm

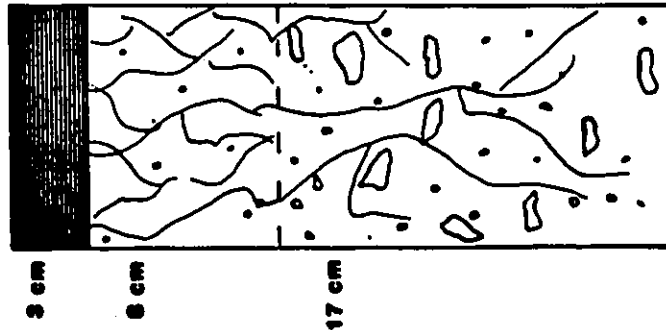
10 cm

litière

couleur 10 YR 5/3, texture fine avec environ 10%
de petit gravier, aucune structure, fort degré
de cohésion, tous de matière organique et
fréquence des racines faibles, sel drainé, gelé

Annexe 2 PROFILS PEDOLOGIQUES DES SOLS DEVELOPPES SUR LES LOBES DES GLACIERS ROCHEUX DE LA CHAÎNE DALTON

gl. rocheux A
lobe no 1

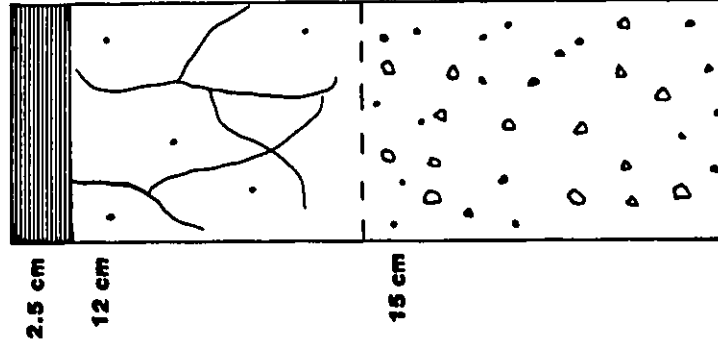


humus

couleur: 7.5 YR 2.5/1. texture fine, pierrosité faible (environ 10% de petit gravier). aucune structure, cohésion moyenne à cause de la matière organique et des racines. fort taux de matière organique, fréquence importante des racines, bon drainage

couleur: 7.5 YR 3/2. texture fine (gravier, et cailloux dans matrice fine), pierrosité forte (environ 50%). aucune structure, cohésion très faible, taux moyen de matière organique, fréquence moyenne des racines, bon drainage

gl. rocheux A
lobe no 2

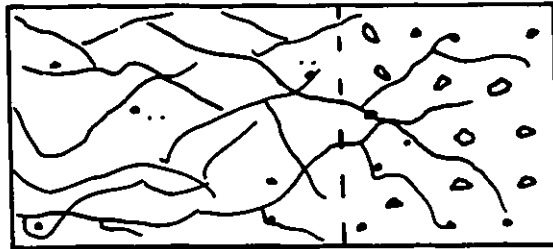


humus

couleur: 10 YR 3/3. texture fine (limonneuse), pierrosité faible (environ 3% de petit gravier). aucune structure, faible cohésion, taux moyen de matière organique, fréquence moyenne des racines, bon drainage

couleur: 10 YR 4/2. texture moyenne (matrice de sable très fin), pierrosité très forte (environ 40% à 50% de petit gravier et petits cailloux). aucune structure, aucune cohésion, taux de matière organique très faible, bon drainage

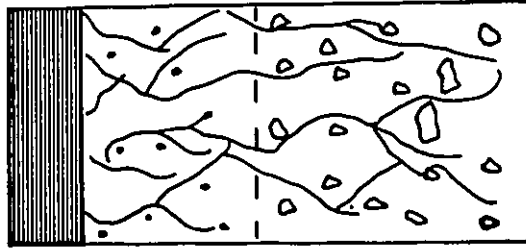
St. rocheux A
lobe no 3a



humus, couleur: 10 YR 2.5/1, texture fine (matière organique et argile), pierrosité très faible (environ 15 de petit gravier), aucune structure, cohésion très forte à cause des racines, tous de matière organique et fréquence des racines extrêmement importante, mes drainés

couleur: 10 YR 3/1, texture fine (gravier dans matrice fine), pierrosité très forte (environ 50%), aucune structure, très faible cohésion, tous de matière organique et fréquence des racines très importante, souvent drainés

St. rocheux A
lobe no 3b

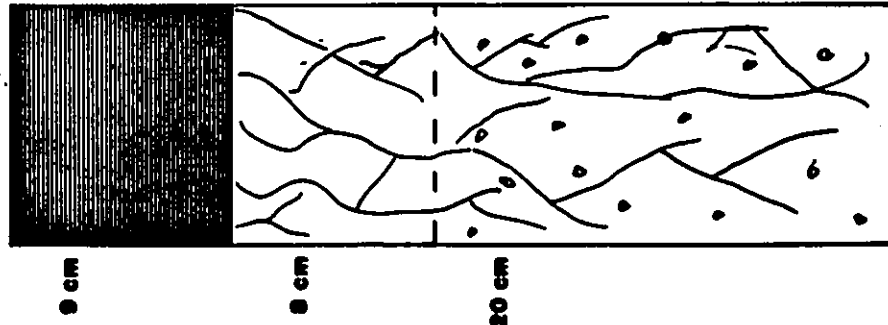


humus

couleur: 5 YR 2.5/2, texture fine (patil gravier dans une matrice de matière organique et d'argile), pierrosité environ 20%, aucune structure, faible degré de cohésion, tous de matière organique et fréquence des racines extrêmement importante

couleur: 5 YR 2.5/2, texture fine (cailloux dans une matrice de matière organique et d'argile), pierrosité forte (environ 50%), aucune structure, tous de matière organique et fréquence des racines extrêmement importante, forte cohésion et il y a de la matière organique et de l'argile et faible et il y a les cailloux

St. rocheux A
lobe no 7

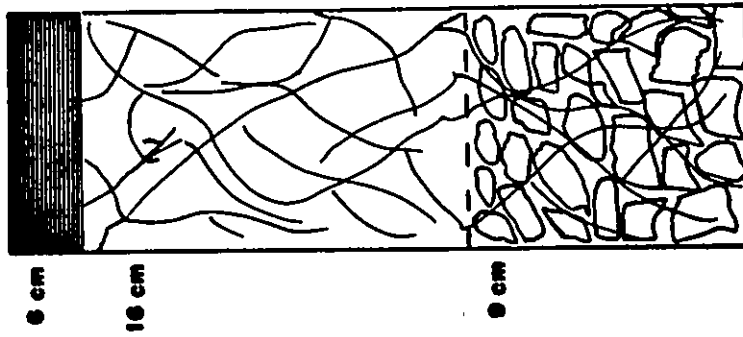


matière

couleur: 5 YR 2.5/1, texture fine (matière organique et argile), pierrosité nulle, aucune structure, fort degré de cohésion, taux de matière organique et fréquence des racines très forte, mauvais drainage

couleur: 10 YR 3/2, texture fine (limoneuse), pierrosité moyenne (environ 20% de gravier et petits cailloux), aucune structure, faible cohésion, taux de matière organique et fréquence des racines importants, drainage moyen à bon

sf. rocheux B
lobe no 1

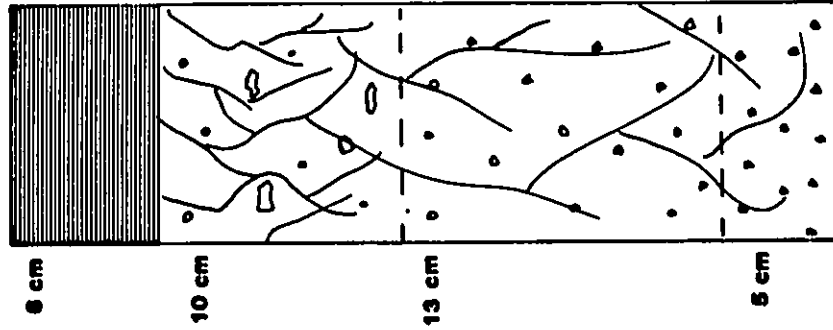


litière

humus, couleur: 10 YR 2.5/1, texture fine (matière organique) pierrosité nulle, aucune structure, cohésion très forte, taux de matière organique et fréquence des racines extrêmes, mal drainé

texture grossière (celluleux), pierrosité: 100%, cohésion nulle, taux de matière organique et fréquence des racines importants

sf. rocheux B
lobe no 2



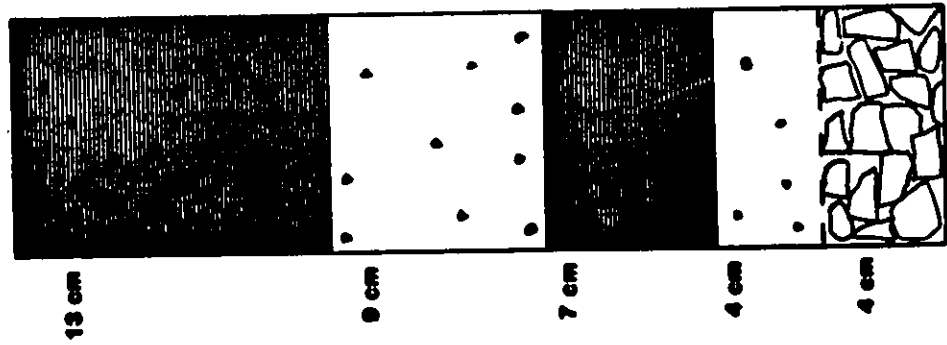
litière

humus, couleur: 5 YR 2.5/2, texture fine (matière organique et argile avec gravier et cailloux), pierrosité faible (environ 10%), aucune structure, forte cohésion, taux de matière organique et fréquence des racines extrêmes, mauvais drainage

couleur: 10 YR 2.5/1, texture fine (gravier dans matrice fine), pierrosité moyenne (environ 20%), forte cohésion, taux de matière organique important, fréquence moyenne des racines, mal drainé

couleur: 10 YR 3/2, texture fine (gravier dans matrice fine), pierrosité moyenne (environ 30%), aucune structure, cohésion faible, taux moyen de matière organique et fréquence moyenne des racines, mal drainé

gf. rocheux B
lobe no 3



litère

tous les niveaux renferment environ 20% de gravier dans une matrice de matière organique

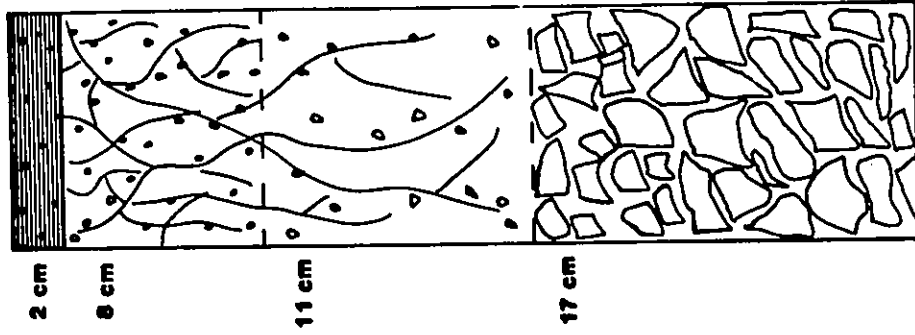
humus

litère

humus

cailloux dans une matrice de matière organique

gf. rocheux B
lobe no 4



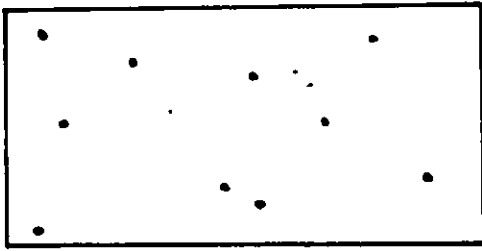
humus et gravaille

couleur: 5 YR 4/1, texture fine, pierrosité moyenne (environ 50% de petit gravier), aucune structure, faible degré de cohésion, leur moyen de matière organique, fréquence importante des racines, bon drainage

couleur: 5 YR 3/1, texture: gravier dans matrice fine, pierrosité moyenne (environ 25%), aucune structure, très faible cohésion, leur de matière organique et fréquence des racines moyens, bon drainage

cailloux

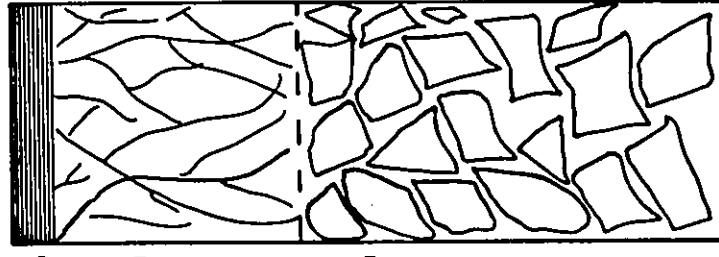
pt. rocheux C



20 cm

couleur: S YR 2.5/2. texture fine, pierrosité faible, aucune structure, forte cohésion, tous de matière argileuse et fréquence des racines ostréennes, mal drainé

gl. rocheux D
lobe du bas



2 cm

10 cm

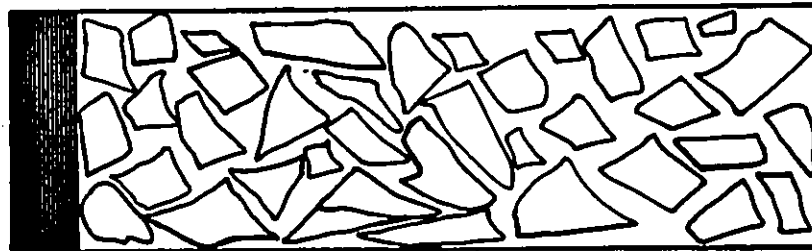
19 cm

litère

couleur: 5 YR 2.5/2, texture fine (orgile et matière organique), pierrosité nulle, aucune structure, forte cohésion, tous de matière organique et fréquence des racines extrêmes

texture grossière (celluleux), pierrosité: 90% de cellules, aucune structure, cohésion nulle, tous de matière organique et fréquence des racines importantes

gl. rocheux D
lobe du haut

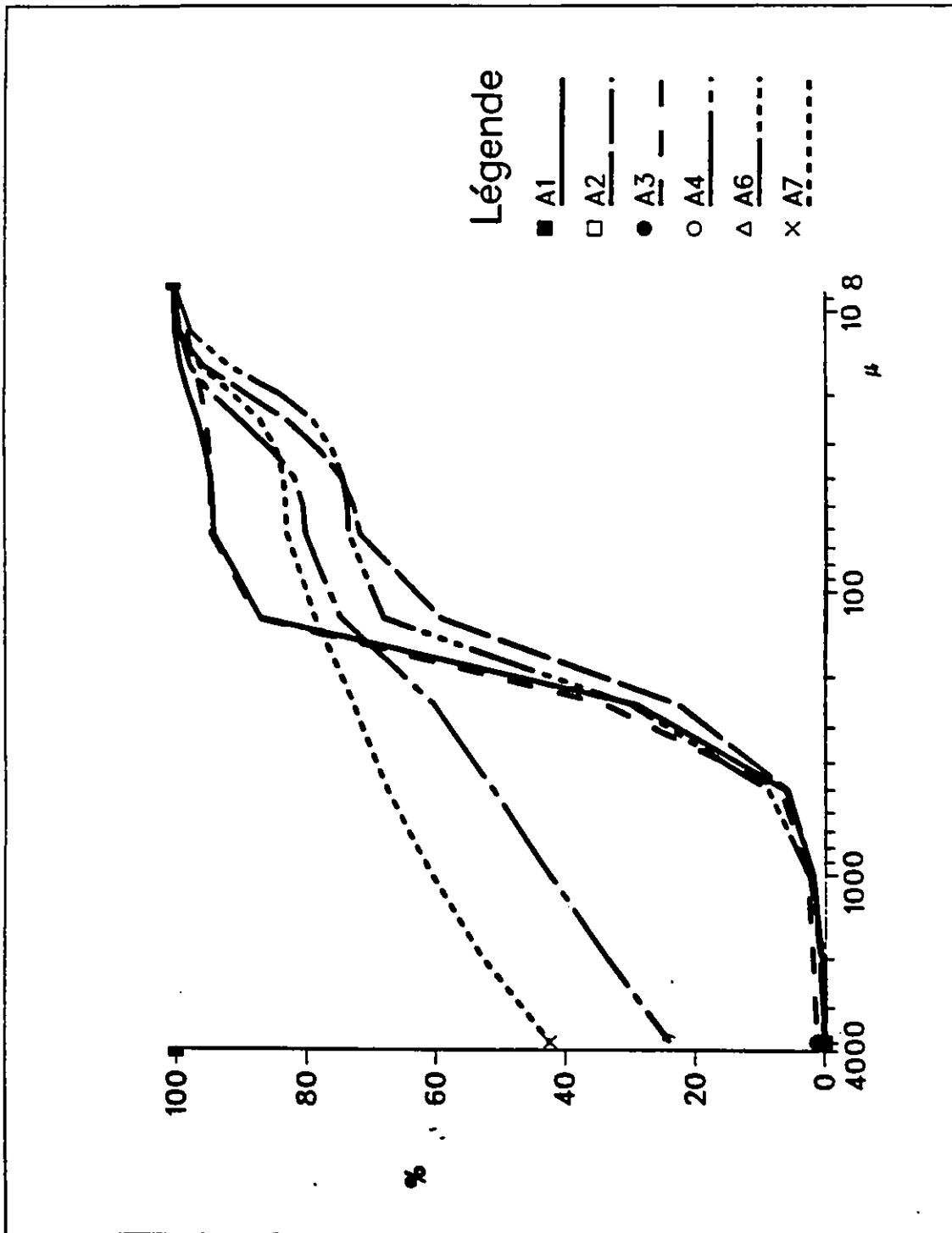


2 cm

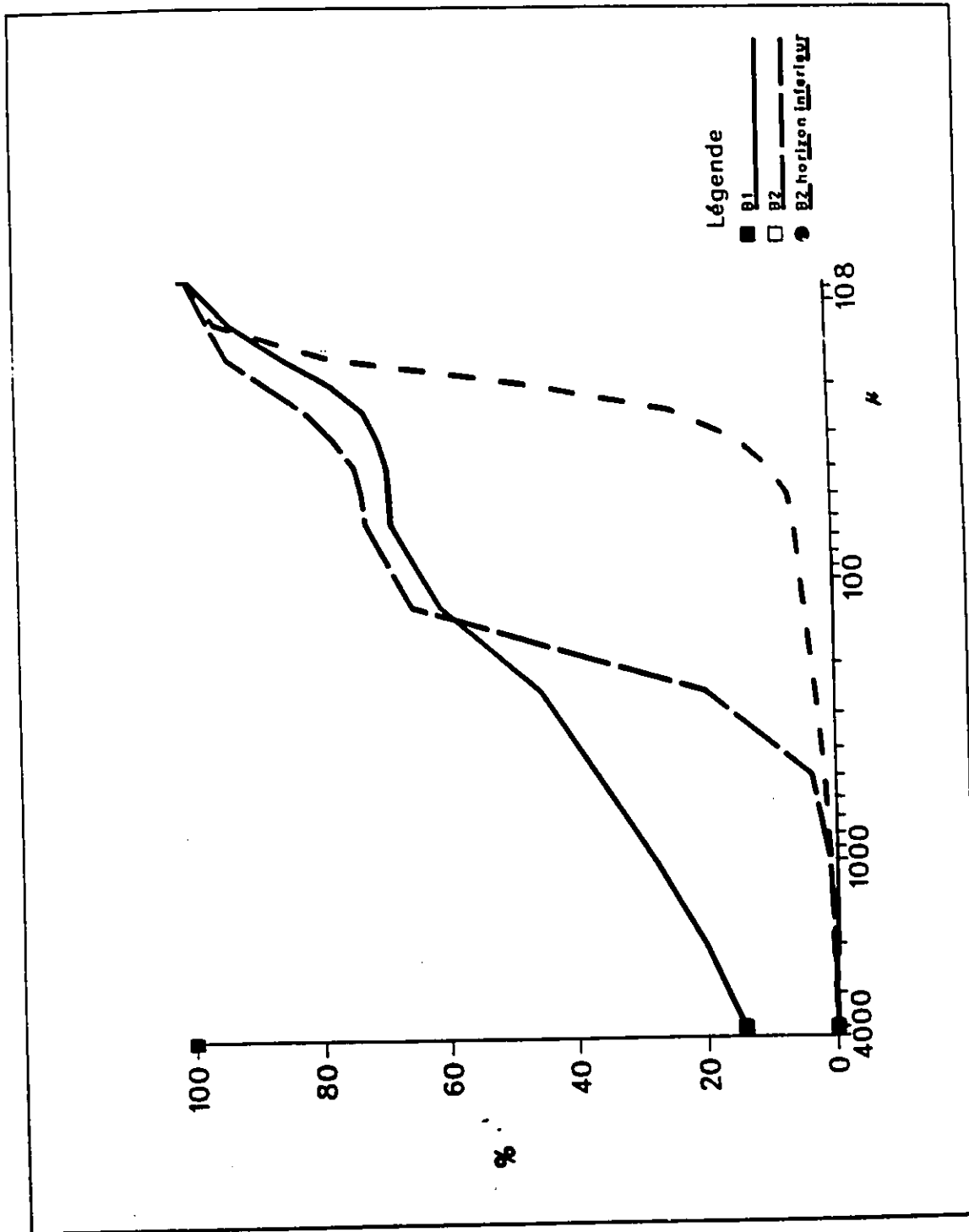
38 cm

litère

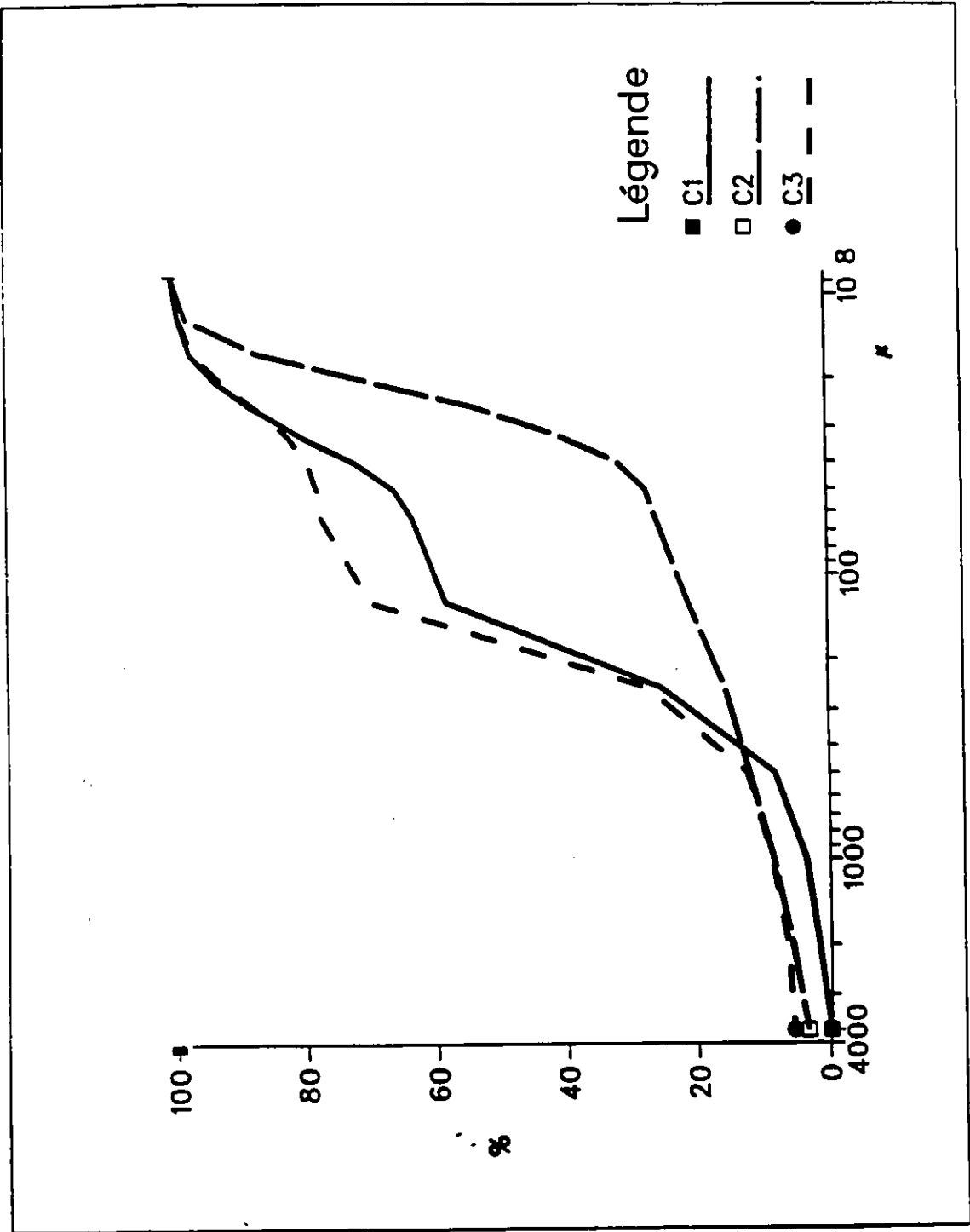
pierrosité: 90% de cellules, aucune structure, aucune cohésion, tous de matière organique et fréquence des racines importantes



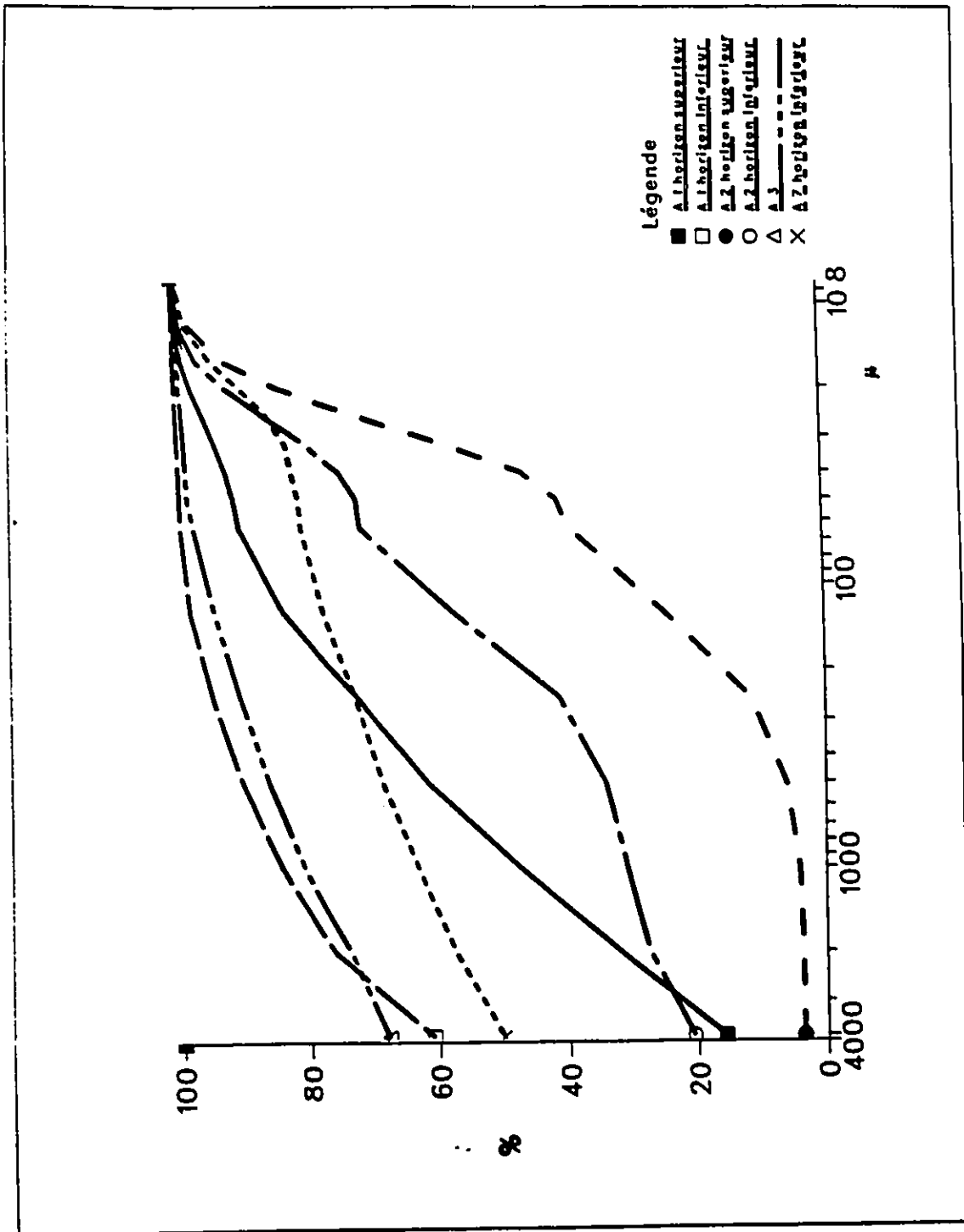
Annexe 3: Courbes granulométriques, cirque A



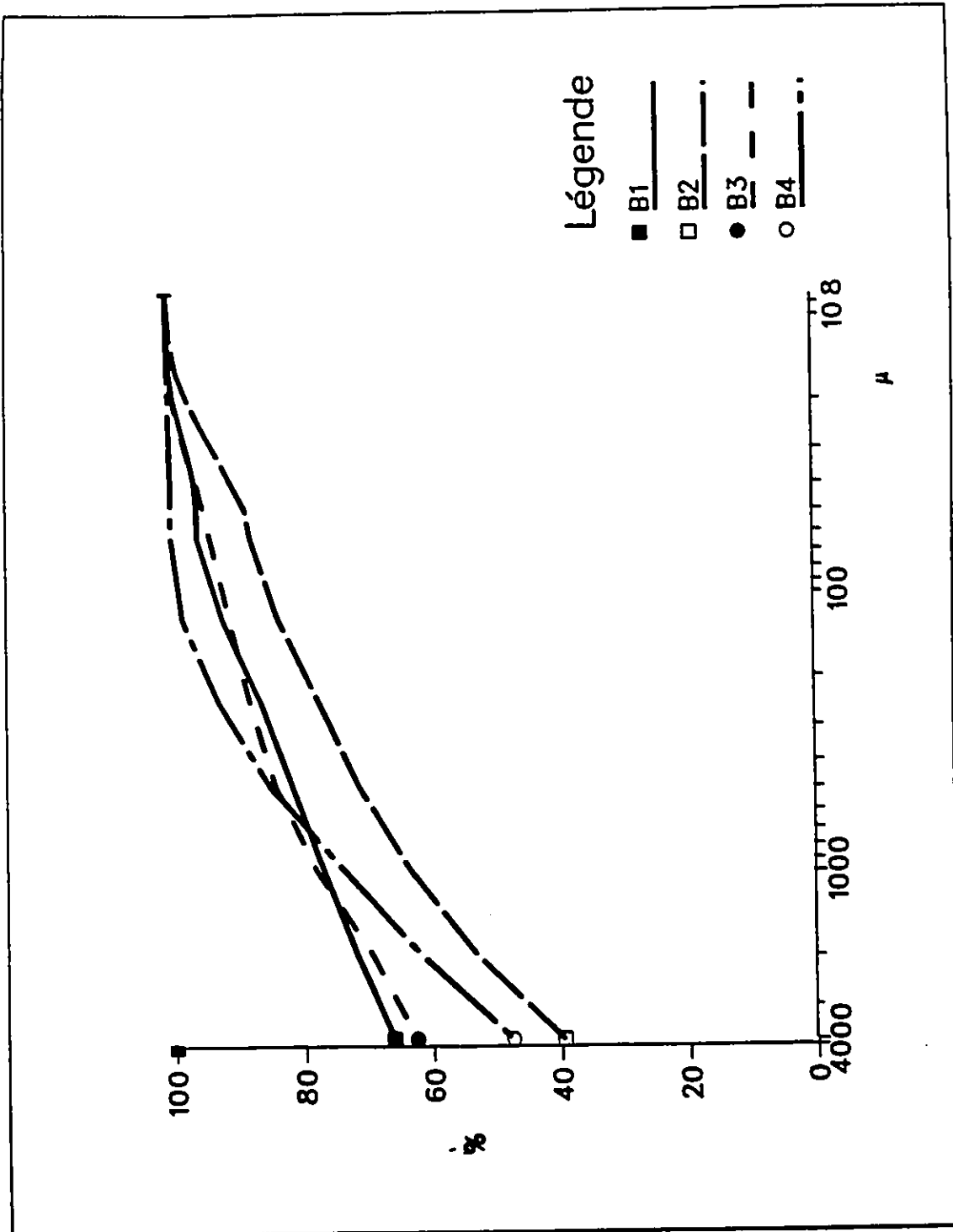
Annexe 4: Courbes granulométriques, cirque B



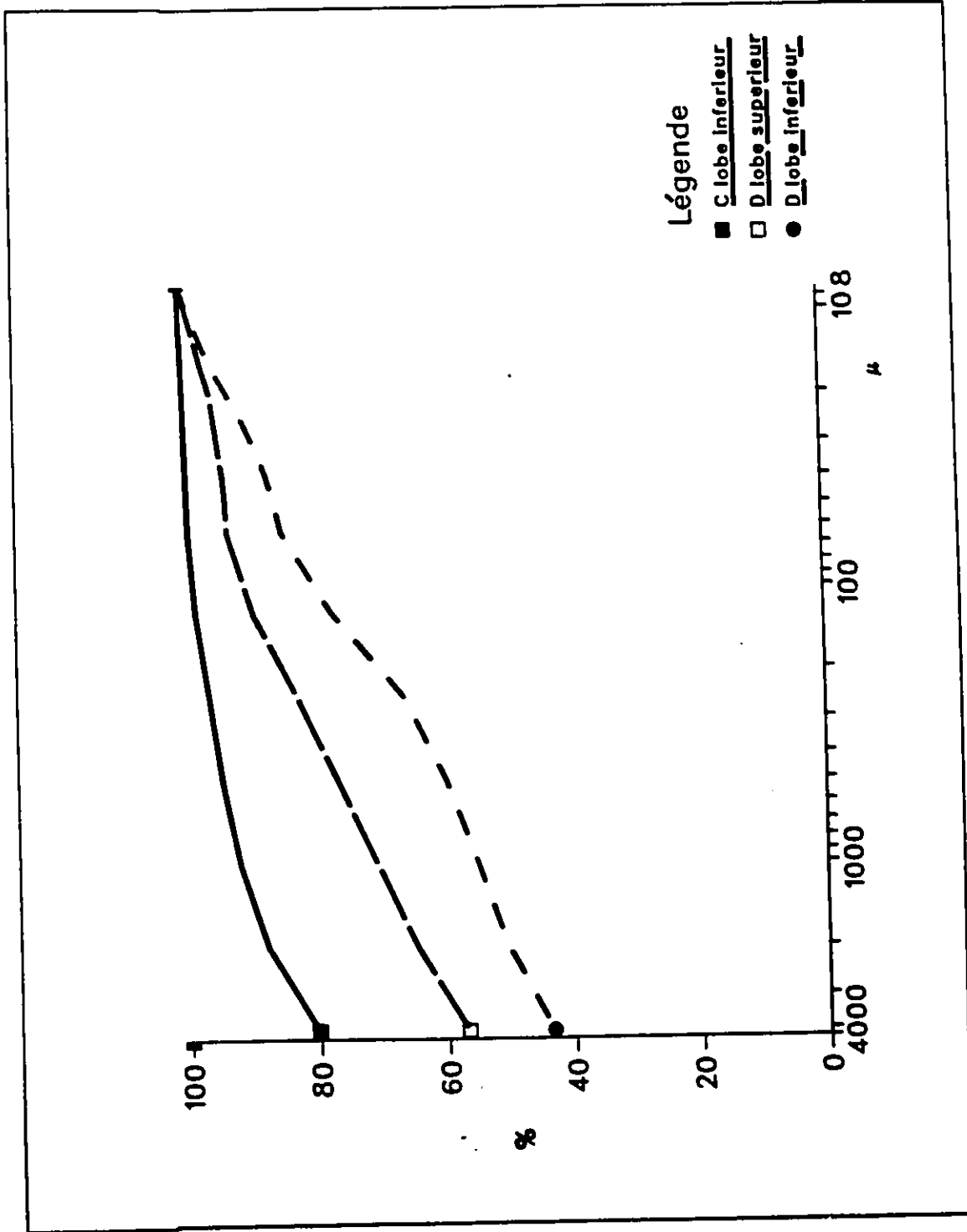
Annexe 5: Courbes granulométriques, cirque C



Annexe 6: Courbes granulométriques, glacier rocheux A



Annexe 7: Courbes granulométriques, glacier rocheux B



Annexe 8: Courbes granulométriques, glaciers rocheux C et D

Annexe 9

LISTE DES ESPECES VEGETALES RELEVÉES SUR CHACUNE
DES MORAINES DES CIRQUES ETUDIÉES DE LA CHAÎNE RUBY

Cirque A, moraine no 1.

Anemone narcissiflora, Betula nana, Carex rupestris, Cassiope tetragona, Cladonia sp.,
Dryas octopetala, Festuca altaica, Oxitropis nigrescens, Polytrichum sp., Salix glauca, Salix
polaris, Silene acaulis.

Cirque A, moraine no 2.

Carex nardina, Cetraria sp., Cladonia sp., Dryas octopetala, Festuca altaica, Polytrichum
sp., Ptilium sp., Salix arctica, Salix glauca, Silene acaulis,

Cirque A, moraine no 3.

Agrostis scabra, Androsace chamaejasme, Anemone narcissiflora, Carex nardina, Cetraria
sp., Cladonia sp., Dryas octopetala, Festuca altaica, Polytrichum sp., Ptilium sp. Salix sp.,
Stereocaulon sp., Thamnolia vermicularis.

Cirque A, moraine no 4.

Betula nana, Carex nardina, Cetraria sp., Cladonia sp., Dicranum sp., Dryas octopetala,
Festuca altaica, Parmelia sp., Pedicularis kanei, Polytrichum piliferum, Salix glauca, Silene
acaulis, Saxifraga bronchialis.

Cirque A, moraine no 6.

Agrostis scabra, Anemone narcissiflora, Carex nardina, Cassiope tetragona, Cetraria sp.,
Cladonia sp., Dicranum sp., Dryas octopetala, Festuca altaica, Papaver nacounii, Pedicularis Kanei, Ptilium sp., Salix arctica, Saxifraga oppositifolia, Silene acaulis, Stereocaulon
sp., Tofieldia coccinea, Vaccinium uliginosum.

Cirque A, moraine no 7.

Anemone narcissiflora, Carex nardina, Cetraria sp., Cladonia cristatella, Dryas octopetala,
Festuca altaica, Potentilla fruticosa, Ptilium sp., Salix arctica, Salix reticulata, Saxifraga tri-
cuspidata, Silene acaulis, Stereocaulon sp., Thamnia vermicularis.

Cirque B, moraine no 1.

Carex nardina, Cassiope tetragona, Cetraria sp., Dicranum sp., Dryas octopetala, Festuca
altaica, Ptilium sp., Saxifraga bronchialis, Saxifraga oppositifolia, Stereocaulon sp..

Cirque B, moraine no 2.

Anemone narcissiflora, Cetraria sp., Dryas octopetala, Festuca altaica, Oxytropisnigres-
cens, Salix polaris, Saxifraga oppositifolia, Silene acaulis, Stereocaulon sp..

Cirque C, moraine no 1.

Carex nardina, Cladonia sp., Cladonia stellaris, Douglasia gormani, Dryas octopetala, Fes-
tuca altaica, Rhacomitrium sp., Salix arctica, Salix polaris, Saxifraga bronchialis, Silene
acaulis, Stereocaulon sp..

Cirque C, moraine no 2.

Carex nardina, Cassiope tetragona, Cetraria sp., Cladina stellaris, Dryas octopetala, Festuca altaica, Oxytropis nigrescens, Polytrichum sp., Salix polaris, Salix reticulata, Stereocaulon sp..

Cirque C, moraine no 3.

Androsace chamaejasme, Carex nardina, Cetraria sp., Cladonia sp., Dryas octopetala, Festuca altaica, Rhacomitrium sp., Salix reticulata, Saxifraga bronchialis, Stereocaulon sp., Vaccinium vitis-idaea.

Pour les annexes 9 et 10, notre choix d'inscrire les communautés végétales par ordre alphabétique est dû à la simplicité dans la comparaison de la présence-absence des diverses espèces d'une moraine à l'autre ainsi que le nombre restreint d'espèces implantées sur chaque phénomène étudié.

L'auteur s'est également permis de ne pas mentionner les lettres accompagnant chaque nom d'espèce estimant qu'au cours de sa recherche, l'identification ne s'est pas effectuée en tenant compte des diverses définitions selon les différents auteurs.

Annexe 10

LISTE DES ESPECES VEGETALES RELEVÉES SUR LES LOBES
DES GLACIERS ROCHEUX ETUDIÉS DE LA CHAÎNE DALTON

Glacier rocheux A, lobe no 1.

Draba caesia, Empetrum nigrum, Epilobium angustifolium, Festuca altaica, Juniperus communis, Lupinus arcticus, Myosotis alpestris, Picea sp. Ribes oxycanthoides, Rosa acicularis, Salix glauca, Vaccinium vitis-idaea, Zygadenus elegans.

Glacier rocheux A, lobe no 2.

Epilobium angustifolium, Epilobium latifolium, Lupinus arcticus, Mertensia paniculata, Poa arctica, Rosa woodsii, Salix polaris, Saxifraga tricuspidata, Solidago multiradiata.

Glacier rocheux A, lobe no 3.

Antennaria pulcherrima, Castilleja sp., Chamaedaphne calyculata, Epilobium angustifolium, Festuca altaica, Juniperus communis, Lupinus arcticus, Mertensia paniculata, Picea sp., Potentilla diversifolia, Salix polaris, Salix reticulata, Saxifraga tricuspidata, Solidago multiradiata, Stellaria longipes.

Glacier rocheux A, lobe no 4.

Artemisia alaskana, Epilobium latifolium, Lupinus arcticus, Oxytropis sp., Salix arctica, Saxifraga tricuspidata, trisetum spicatum.

Glacier rocheux A, lobe no 7.

Castilleja sp., Dioranum sp., Draba caesia, Dryas integrifolia, Empetrum nigrum, Epilobium latifolium, Festuca altaica, Lupinus arcticus, Minuartia rossii, Myosotis alpestris, Oxytropis Maydelliana, Oxytropis scammaniana, Pedicularis capitata, Polemonium acutiflorum, Potentilla hookeriana, Ptilium sp., Pyrola grandiflora, Salix sp., Saxifraga tricuspidata.

Glacier rocheux B, lobe 1.

Arctostaphylos uva-ursi, Arnica lessingii, Artemisia alaskana, Epilobium angustifolium, Festuca altaica, Juniperus communis, Lupinus arcticus, Mertensia paniculata, Myosotis alpestris, Picea sp., Potentilla diversifolia, Pulsatilla patens, Salix arctica, Saxifraga tricuspidata, Trisetum spicatum, Zygadenus elegans.

Glacier rocheux B, lobe 2.

Aconitum delphinifolium, Anemone parviflora, Cassiope tetragona, Draba caesia, Dryas sp., Empetrum nigrum, Epilobium latifolium, Festuca altaica, Juniperus communis, Lupinus arcticus, Mertensia paniculata, Myosotis alpestris, Pedicularis kanei, Polemonium acutiflorum, Ranunculus sp., Salix arctica, Salix glauca, Saxifraga tricuspidata, Silene acaulis, Stereocaulon sp.

Glacier rocheux B, lobe 3.

Anemone parviflora, Calamagrostis purpuracens, Dryas octopetala, Erigeron sp., Lupinus arcticus, Mertensia paniculata, Myosotis alpestris, oxytropis scammaniana, Pedicularis capitata, Polemonium acutiflorum, Potentilla hookeriana, Ptilium sp., Pyrola grandiflora, Salix sp., Saxifraga tricuspidata, Senecio sp.

Glacier rocheux B, lobe 4.

Dryas integrifolia, Lupinus arcticus, Myosotis alpestris, Oxytropis viscidata, Poa lanata,
Polemonium acutiflorum, Potentilla hyparctica, Salix glauca, Saxifraga tricuspidata, Silene
acaulis, Solidago multiradiata.

Glacier rocheux C

Arabis holboellii, Artemisia alaskana, Artemisia tilesii, Calamagrostis purpuracens, Delphi-
nium glaucum, Draba caesia, Epilobium latifolium, Festuca brachyphylla, Juniperus com-
munis, Mertensia paniculata, Myosotis alpestris, Oxytropis viscida, Polemonium acutiflo-
rum, Potentilla diversifolia, Salix arctica, Saxifraga tricuspidata, Silene repens, Solidago
multiradiata, Stellaria longipes.

Glacier rocheux D, lobe inférieur.

Arnica lessingii, Artemisia alaskana, Calamagrostis purpuracens, Festuca altaica, Juniperus
communis, Lupinus arcticus, Mertensia paniculata, Myosotis alpestris, Oxytropis viscida,
Polemonium acutiflorum, Potentilla diversiflora, Pulsatilla patens, Rosa woodsii, Salix arc-
tica, Saxifraga tricuspidata, Solidago multiradiata, Trisetum spicatum.

Glacier rocheux D, lobe supérieur.

Artemisia alaskana, Festuca altaica, Lupinus arcticus, Myosotis alpestris, Oxytropis visci-
da, Polemonium acutiflorum, Potentilla diversifolia, Pulsatilla patens, Saxifraga tricuspid-
ta, Solidago multiradiata.

Annexe 11

METHODE D'EXTRACTION TOTALE DES ELEMENTS COMPOSANT LES ARGILES

- 1) Faire sécher les échantillons au four durant une nuit à 100° Celcius.
- 2) Mettre dans un bécher de "Nalgen" 0,1 à 0,2 g de l'échantillon en prenant soin de bien noter le poids exacte pour chacun des échantillons.
- 3) Ajouter 3 ml d'acide perchlorique (60 - 70%).
- 4) Mettre le bécher sur une plaque chauffante à basse température et laisser pendant 2 heures.
- 5) Ajouter 15 ml d'acide fluorhydrique et laisser sur la plaque chauffante pour une autre période d'environ deux heures. Après cette période, augmenter la chaleur et laisser chauffer (environ 12 heures) jusqu'à ce qu'apparaisse de la fumée blanche.
- 6) Retirer le bécher de la plaque chauffante et laisser sécher et refroidir.
- 7) Ajouter quelques millilitres d'eau distillée puis 3 ml d'acide chlorhydrique.
- 8) Remettre sur la plaque chauffante pendant environ 15 minutes jusqu'à ce que tout soit en solution.
- 9) A l'aide d'un flacon laveur d'eau distillée vider soigneusement le contenu du bécher dans une fiole jaugée de 50 ml. Ajouter 5 ml d'une solution de K (d'une solution de

KCl) de 20000 ppm. Puis remplir le reste de la fiole jaugée avec de l'eau distillée pour obtenir un volume final de 50 ml et une concentration de 2000 ppm de potassium.

- 10) L'échantillon est maintenant prêt à être analysé au spectrophotomètre à absorption atomique.

BIBLIOGRAPHIE

American Meteorological Society, Weatherwise , vol. 11, no 5, octobre 1958 à vol. 20, no 5, octobre 1967, p. 175, 207,213, 215, 219, 227, 229, 237 et 239.

ANDREWS, J.T., BARRY, R.G., BRADLEY, R.S., MILLER, G.H. et WILLIAMS, L.D. (1972) Past and Present Glaciological Responses to Climate in Eastern Baffin Island, Quaternary Research , vol. 2, pp. 303-314.

BENEDICT, J.B. (1967) Recent Glacial History of an Alpine Area in the Colorado Front Range U.S.A. 1. Establishing a lichen-Growth curve, Journal of Glaciology , vol.6, no 48, pp. 817-832.

BENEDICT, J.B. (1968) Recent Glacial History of an Alpine Area in the Colorado Front Range U.S.A. II. Dating the glacial deposits, Journal of Glaciology , vol. 7, no 49, pp. 77-87.

BENEDICT, J.B. (1973) Chronology of Cirque Glaciation Colorado Front Range, Quaternary Research , vol. 3, pp. 584-599.

BESCHEL, R.E. (1961) Dating Rock Surfaces by Lichen Growth and its Application to Glaciology and Physiography (Lichenometry), Geology of the Arctic , proceedings of the first international symposium on Arctic Geology, vol 11, Ed. U of Toronto Press, pp. 1044-1062.

BESCHEL, R.E. (1973) Lichens as a measure of the Age of Recent Moraines, Arctic and Alpine Research , vol. 5, no 4, pp. 303-309.

BIRKELAND, P.W. (1973) Use of Relative Dating Methods in a Stratigraphic Study of Rock Glacier Deposits, Mt. Sopris, Colorado, Arctic and Alpine Research , vol. 5, no 4, pp. 401-416.

- BIRKELAND, P.W. (1978) Soil Development as an Indication of Relative Age of Quaternary Deposits, Baffin Island, N.W.T., Canada, Arctic and Alpine Research , vol. 10, no 4, pp. 733-747.
- BIRKS, H.J.B. (1980) Modern Pollen Assemblages and Vegetational History of the Moraines of the Klutlan Glacier and its Surrounding, Yukon Territory, Canada, Quaternary Research , vol. 14, pp. 101-129.
- BLAKE Jr. W. (1981) Neoglacial Fluctuations of Glaciers, Southern Ellesmere Island, Canadian Arctic Archipelago, Geografiska Annaler , 63 A, 3-4, pp. 201-218.
- BOSTOCK, H.S. (1948) Physiography of the Canadian Cordillera with special reference to the area north of the fifty-fifth parallel, Geological Survey of Canada, Memoir 247
- BOULAINÉ, J. (1975) Géographie des sols , première édition, presses universitaires de France, 199 pages.
- BOURGEOIS, J.C., GEURTS, M-A (1983) Palynologie et morphogénèse récente dans le bassin du Grizzly Creek (Territoire du Yukon), Canadian Journal of Earth Sciences , vol. 20, pp. 1543-1553.
- BRADBURY, J.P., WHITESIDE, M.C. (1980) Paleolimnology of two Lakes in the Klutlan Glacier Region, Yukon Territory, Canada, Quaternary Research , vol. 14, pp. 149-168.
- BRADY, N.C. (1974) The Nature and Properties of Soils , 8 th edition, MacMillan Publishing Co. inc., New York, 639 pages.
- BURROWS, C.J., GELLATLY, A.F. (1982) Holocene glacier activity in New Zealand, Striae , vol. 18, pp. 41-47.
- CAILLERE, S., HENIN, S., RAUTUREAU, M. (1982) Minéralogie des argiles. Vol. I, Structure et propriétés physico-chimiques , 2 ième édition. Actualités scientifiques et agronomiques, Masson, Paris, 184 pages.

- Commission canadienne de pédologie, comité de la classification des sols, Le système canadien de classification des sols , publication 1646 du ministère de l'agriculture du Canada, Ottawa, Approvisionnement et services Canada, 1978, 170 pages.
- CROCKER, R., DICKSON, B. (1957) Soil Development on the Recessional Moraines of the Herbert and Mendenhall Glaciers, S.E. Alaska, Journal of Ecology , vol. 45, pp. 169-185.
- DENTON, G.H. (1974) Quaternary Glaciation of the White River Valley, Alaska, with a Regional Synthesis for Northern St. Elias Mountain, Alaska and Yukon Territory, Geological Society of America Bulletin , vol. 85, pp. 871-892.
- DENTON, G.H., KARLEN, W. (1973) Holocene Climatic Variations-Their Pattern and Possible Cause, Quaternary Research , vol. 3, pp. 155-205.
- DENTON, G.H., KARLEN, W. (1977) Holocene Glacial Variations in the White River Valley and Skolai Pass, Alaska and Yukon Territory, Quaternary Research , vol. 7, pp. 63-111.
- DENTON G.H., STUIVER, M. (1966) Neoglacial Chronology, Northeastern St-Elias Mountain, Canada, American Journal of Science , vol. 264, pp. 577-599.
- DENTON, G.H., STUIVER, M. (1967) Late Pleistocene Glacial Stratigraphy and Chronology, Northeastern St-Elias Mountains, Geological Society of America Bulletin , vol. 78, pp. 485-510.
- ELLIS, J.M., CALKIN, P.E. (1984) Chronology of Holocene Glaciation, Central Brooks Range, Alaska, Geological Society of America Bulletin , vol. 95, pp. 897-912.
- EVANS, L.J. (1985) Dating Methods of Pleistocene Deposits and their Problems: VII. Paleosols, Dating Methods of Pleistocene Deposits and their Problems reprinted with revisions from a series of papers in Geoscience Canada, 1978-1982 published by the Geological Association of Canada, ed. N.W. Rutter, département de Géologie, Univ. d'Alberta, Edmonton, pp. 53-59.

- FOSCOLOS, A.E., RUTTER N.W., HUGHES O.L. (1977) The use of Pedological Studies in Interpreting the Quaternary History of the Yukon Territory , Bulletin no 271, publication de la commission géologique du Canada, ministère de l'énergie, mines et ressources Canada, 48 pages.
- GRIFFEY, N.J., MATTHEWS, J.A. (1978) Major Neoglacial Glacier Expansion Episode in Southern Norway: Evidences from Moraine Ridge Stratigraphy with C-14 Dates on Buried Paleosols and Moss Layers, Geografiska Annaler , 60 A 1-2, pp. 73-90.
- HALE M.E., How to know the lichens , deuxième édition, Smithsonian Institute, The Pictured Key Nature Series, Wm. C. Brown Company Publishers, 1979, 246 pages.
- HARLAND, COX, LLEWELLYN, PICKTON, SMITH, WALTER (1982) A Geologic Time Scale , Cambridge University Press, pp. 42-44.
- HEUSSER, C.J. (1983) Holocene Vegetation History of the Prince William Sound Region, South-Central Alaska, Quaternary Research , vol. 19, pp. 337-355.
- HULTEN, E. (1968) Flora of Alaska and Neighboring Territories. A manuel of the Vascular Plants , Stanford University Press, Stanford, Californie, 1008 pages.
- INNES, J.L. (1983) Lichenometric Dating of Debris-Flow Deposits in the Scottish Highlands, Earth Surface Processes and Landforms , vol. 8, pp. 579-588.
- INNES, J.L. (1985) Replication of lichenometry data: errors associated with variations in operator search efficiency, Area , vol. 17, no 3, pp. 221-232.
- IRELAND R.R., BIRD D.C., BRASSARD G.R., SCHOFIELD W.B., VITT D.H.. Checklist of the Mosses of Canada , préparé par the Canadian Botanical Association Bryophyte Checklist Committee, publication de botanique no 8, Musées nationaux du Canada, musée national des sciences naturelles, 1980, 75 pages.
- JACOBSON Jr., G.L., BIRKS, H.J.B. (1980) Soil Development on recent End Moraines of the Klutlan Glacier, Yukon Territory, Canada, Quaternary Research , vol. 14, pp. 87-100.

- JOHNSON, P.G. (1978) Rock Glaciers: Glacial and Non-Glacial Origins, Inventaire mondial des glaciers , Actes de l'Atelier de Riederalp, septembre 1978, AISH, publ. no 126. pp 285-293.
- KARLEN, W. (1973) Holocene Glaciers and Climate Variations, Kebnekaise Mountains, Swedish Lapland, Geografiska Annaler , 55 A 1, pp. 29-63.
- KARLEN, W. (1979) Glacier Variation in the Svartisen area, Northern Norway, Geografiska Annaler , 61 A 1-2, pp. 11-28.
- KARLEN, W. (1982) Holocene Glacier Fluctuations in Scandinavia, Striae , vol. 18, pp.26-34.
- KARLEN, W., DENTON, G.H. (1976) Holocene Glacial Variations in Sarek National Park, Northern Sweden, Boreas , vol. 5, pp.25-56.
- KENDREW, W.G., KERR, D. (1955) The Climate of British Colombia and the Yukon Territory , Edmond Cloutier, C.M.G., O.A., D.S.P., Ottawa, Queen's Printer and Controller of Stationery.
- KINDLE, E.D. (1953) Dezadeash Map-Area, Yukon Territory , Memoir 268, Commission géologique du Canada.
- KING, R.H. (1984) Quaternary Paleosols in the Canadian Rockies and their Significance for Establishing a Chronologic Framework, Correlation of Quaternary Chronologies , édité par Mahaney, York University from a symposium on Correlation of Quaternary Chronologies, du 26 au 29 Mai, 1983, Atkinson College, York University, Toronto, Geo Books, pp. 243-258.
- KINGSTON, M.S., KING, R.H. (1983) Morphology and Genesis of a Holocene Paleosol, Southern Alberta, Canada, Soil Micromorphology vol.1: Techniques and Applications , Proceedings of the international working meeting on soils micromorphology, août, 1981, édité par Bullock et Murphy, Academic Publishers, pp. 289-295.

- KUTZBACH, J.E. (1983) Modeling of Holocene Climates, Late-Quaternary Environments of the United States, vol. 2: The Holocene , édité par H.E. Wright Jr., University of Minnesota Press, Minneapolis, pp.271-277.
- LAMBERT, J.E. (1982) Relative Age of Rock Glaciers in Grizzly Creek, St-Elias Mountains, Yukon Territory, Canada. Thèse présentée à la faculté des études supérieures de l'Université de Guelph, Master Science, 207 pages.
- LE ROY LADURIE, E. (1967) Histoire du climat depuis l'an mil. Flammarion, éditeur, Paris, 377 pages.
- LUCKMAN, B.H. (1977) Lichenometric Dating of Holocene Moraines at Mont Edith Cavell, Jasper, Alberta, Canadian Journal of Earth Science , vol. 14, pp. 1809-1822.
- LUCKMAN, B.H., OSBORN, G. (1979) Holocene Glacier Fluctuations in the Middle Canadian Rocky Mountains, Quaternary Research , vol. 11, pp. 52-77.
- MC KEAGUE, BRYDON, MILES (1971) Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils, Soil Science Society of America Proceeding , vol. 35, pp.33-38.
- MC KEAGUE, J.A., Editeur (1976) Manual on Soil Sampling and Methods of Analysis , préparé par the Subcommittee (of Canada Soil Survey Committee) on Methods of Analysis, Soil Research Institute, pp. 94-102.
- MAHANEY, W.C. (1973) Neoglacial Chronology in the Fourth of July Cirque, Central Colorado Front Range, Geological Society of America Bulletin , vol. 84, pp.161-170.
- MATTHEWS, J.A. (1973) Lichen Growth on an Active Medial Moraine, Jotunheimen, Norway, Journal of Glaciology , vol. 12, no. 65, pp. 305-312.
- MEULLER-DOMBOIS,P., ELLENBERG, H. (1974) Aims and Methods of Vegetation Ecology , Willey and Son, New York, pp. 45-48.
- MILLER, M.M. (1964) Morphogenetic Classification of Pleistocene Glaciation in Alaska-Canada Boundary Range, Proceeding of the American Philosophical Society , vol. 108, no. 3, pp. 247-256.

- MILLER, G.H. (1973) Late Quaternary Glacial and Climatic History of Northern Cumberland Peninsula, Baffin Island, N.W.T., Canada, Quaternary Research , vol. 3, pp. 561-583.
- MILLER, M.M., ANDERSON, J.H. (1974) Out-of-Phase Holocene Climatic Trends in the Maritime and Continental Sectors of the Alaska-Canada Boundary, Quaternary Environments , compte-rendu d'un symposium, First York University Symposium on Quaternary Research, 1974, Edité par Mahaney, Geographical Monographs no. 5, York University, Atkinson College, pp. 33-58.
- MULLER, J.E. (1967) Kluane Lake Area, Yukon Territory , Geological Survey of Canada, Memoir 340, 137 pages.
- OZENDA, P., CLAUZADE, G. (1970) Les lichens. Etude biologique et flore illustrée. Musson et Cie éditeurs, Paris, pp. 421 et 430.
- PATERSON, W. (1981) The Physics of Glaciers , 2ième édition, Pergamon Press Ltd., Oxford, pp. 42-57.
- PATZELT, G. (1974) Holocene variations of glaciers in the Alps, Colloque internationaux du C.N.R.S. no 219, Les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène p. 51-59
- PORTER, S.C., DENTON, G.H. (1967) Chronology of Neoglaciation in the North American Cordillera, American Journal of Science , vol. 265, pp. 177-210.
- RAMPTON, V. (1970) Neoglacial fluctuations of the Natazhat and Klutlan Glaciers, Yukon Territory, Canada, Canadian Journal of Earth Sciences , vol. 7, p. 1236
- RAMPTON, V. (1971a) Late Quaternary Vegetational and Climatic History of the Snag-Klutlan Area, Southwestern Yukon Territory, Canada, Geological Society of America Bulletin , vol. 82, pp. 959-978.
- RAMPTON, V. (1971b) Late Pleistocene Glaciations of the Snag-Klutlan Area, Yukon Territory, Arctic , vol. 24, pp. 277-300.

- RIEGER, S. (1974) Arctic Soils, Arctic and Alpine Environments , édité par Jack Dilves et Roger G. Barry, London, William Clowes and son ltd., pp. 749-767.
- RITCHIE, J.C. (1984) Past and Present Vegetation of the Far Northwest of Canada , University of Toronto Press, Toronto.
- ROSS, G.J., WANG, C., PROTZ, R. (1983) Soil Mineralogical Evidence as an Indicator of Post- and Pre-Wisconsinan Weathering in Canada, Correlation of Quaternary Chronologies , édité par W.C. Mahaney, York University , from a symposium on Correlation of Quaternary Chronologies, du 26 au 29 mai 1983, Atkinson College, York University, Toronto, Canada, Geo Books, 1984.
- SHARP, R.P. (1951) Glacial History of Wolf Creek, St-Elias Range, Canada, The Journal of Geology , vol. 59, no 2 , mars 1951.
- STORK A. (1963) Plant Immigration in Front of Retreating Glaciers, with exemples from the Kebnekaise Area, Northern Sweden, Geografiska Annaler , vol. 45.1, pp. 1-21.
- TARNOCAI, C., SMITH, S., HUGHES, O.L. (1985) Soil Development on Quaternary Deposits of Various Ages in the Central Yukon Territory , publication de la Commission géologique du Canada, no. 1A, étude 85-1A , pp. 229-238.
- TAYLOR-BARGE, B. (1969) The Summer Climate of St-Elias Mountain Region , research paper no 53, The Arctic Institute of North America, Montréal. 265 pages.
- VIERECK, L.A. (1966) Plant Succession and Soil Development on Gravel Outwash of Muldrow Glacier, Alaska, Ecological Monographs , vol. 36, no 3, pp. 181-199.
- WATERS, P.L., RUTTER, N.W. (1983) Utilizing Paleosols and Volcanic Ash in Correlating Holocene Deposits in Southern Alberta, Correlation of Quaternary Chronologies édité par W.C. Mahaney, York University from a simposium on Correlation of Quaternary Chronologies, du 26 au 29 mai 1983, Atkinson College, York University, Toronto, Canada, pp.203-223.

- WATSON, R.A. (1980) Landform Development on Moraines of the Klutlian Glacier, Yukon Territory, Canada, Quaternary Research , vol. 14, pp. 50-59.
- WEBBER, B.L. (1974) The Climate of Kluane National Park, Yukon Territory , project report no 6, Atmospheric Environment Service-Meteorological Branch, Toronto.
- WHITESIDE, M.C., BRADBURY, J.P., TARAPCHAK, S.J. (1980) Limnology of the Klutlian, Yukon Territory, Canada, Quaternary Research , vol. 14, pp. 130-148
- WILLIAMS, L.D., WIGLEY, T.M.L. (1983) A Comparison of Evidence for Late Holocene Summer Temperature Variations in the Northern Hemisphere, Quaternary Research , vol. 20, pp. 286-307.
- WRIGHT Jr., H.E. (1972) Interglacial and Postglacial Climates: The Pollen Record, Quaternary Research , vol. 2, pp. 274-282.
- WRIGHT Jr., H.E. (1976) The Dynamic Nature of Holocene Vegetation: A problem in Paleoclimatology, Biogeography and Stratigraphic Nomenclature, Quaternary Research , vol. 6, pp. 581-596.
- WRIGHT Jr., H.E. (1980) Surge Moraines of the Klutlian Glacier, Yukon Territory, Canada, Origin, Wastage, Vegetation Succession, Lake Development and Application to the Late-Glacial of Minnesota, Quaternary Research , vol. 14, pp. 2-18.
- Normales climatiques au Canada, 1951-1980. Températures et précipitations. Le Nord.
 Publication du programme climatologique canadien, Environnement Canada, service de l'environnement atmosphérique, 1982, pp. 1-17.