

## INFORMATION TO USERS

This manuscript has been reproduced from the microfilm master. UMI films the text directly from the original or copy submitted. Thus, some thesis and dissertation copies are in typewriter face, while others may be from any type of computer printer.

**The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.** Broken or indistinct print, colored or poor quality illustrations and photographs, print bleedthrough, substandard margins, and improper alignment can adversely affect reproduction.

In the unlikely event that the author did not send UMI a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if unauthorized copyright material had to be removed, a note will indicate the deletion.

Oversize materials (e.g., maps, drawings, charts) are reproduced by sectioning the original, beginning at the upper left-hand corner and continuing from left to right in equal sections with small overlaps. Each original is also photographed in one exposure and is included in reduced form at the back of the book.

Photographs included in the original manuscript have been reproduced xerographically in this copy. Higher quality 6" x 9" black and white photographic prints are available for any photographs or illustrations appearing in this copy for an additional charge. Contact UMI directly to order.

# UMI

A Bell & Howell Information Company  
300 North Zeeb Road, Ann Arbor MI 48106-1346 USA  
313/761-4700 800/521-0600





Université d'Ottawa • University of Ottawa



**INFLUENCE DU NALED DE LA RIVIÈRE FIRTH SUR LES SOLS  
ET LA VÉGÉTATION, YUKON, CANADA.**

**PAR**

**CAROLINE DUCHESNE**

**THÈSE PRÉSENTÉE  
À L'ÉCOLE DES ÉTUDES SUPÉRIEURES  
EN VUE DE L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE ES ARTS EN GÉOGRAPHIE**

**Université d'Ottawa**



National Library  
of Canada

Acquisitions and  
Bibliographic Services

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque nationale  
du Canada

Acquisitions et  
services bibliographiques

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file Votre référence*

*Our file Notre référence*

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-26318-5

Canada

## RÉSUMÉ

La rivière Firth est située dans la région non-englacée du nord du Yukon. L'objectif de l'étude est d'observer si la glace de naled a un impact sur les sols et la végétation l'environnant. L'analyse des sols et l'observation de la végétation ont permis de déterminer qu'il y a une évolution différentielle le long de trois transects, un longitudinal et deux transversaux. L'étude et la datation d'un îlot au centre de la vallée a permis d'établir que la rivière s'est encaissée après 16084 +/- 340 B.P. L'étude des sols au niveau de leur granulométrie donne une estimation du mode de déposition du matériel qui est, dans notre cas, majoritairement fluvial, mais où la glace peut jouer un rôle dans la dynamique de déposition. La concentration en sels des sols étudiés montre aussi une relation avec la distance de l'axe de la vallée. Elle est un indicateur de l'impact de la glace sur les sols et joue le rôle de signature. L'observation de la végétation se développant dans la vallée montre enfin l'influence de la glace: sa destruction implique sa présence alors que son développement indique son absence à plus ou moins court terme.

## **ABSTRACT**

The Firth River is located in a sector of northern Yukon that has not been touched by the latest glaciations. The objective of the study is to determine if the Firth River naded ice has an impact on the surrounding soils and vegetation. The analysis of the soils and the observation of the vegetation along 3 transects, one longitudinal and 2 cross-sectional, has showned a differential evolution. The study and datation of an island in the center of the valley has permitted to establish that the river has cut in the valley after 16084  $\pm$  340 B.P. The grain size distribution of the soils gives an estimation of the deposition modes which, in this case, is mainly fluvial but where the ice may play a role in its dynamic. The soils salt concentration show a relationship with the distance from the center of the valley. It is an indicator of the impact of the ice on the soils and act as a signature of the presence of the ice. The observation of the vegetation growing in the valley also show the influence of the ice: its destruction shows the presence of the ice although its development stages indicate the absence of the ice on a long or short term.

## REMERCIEMENTS

La rédaction de ce mémoire a été rendu possible grâce à la collaboration du Parc National Ivvavik. Le travail sur le terrain fut en partie financé par une bourse du Programme de Formation Scientifique dans le Nord (PFSN). Mentionnons aussi le soutien financier d'une Bourse d'Études Supérieures de l'Ontario (BESO) et du Fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche (FCAR).

Au terme de ce travail, j'adresse mes premiers remerciements à mon superviseur Dr. Bernard Lauriol, qui m'a prodigué soutien technique, conseils et encouragements tout au long de cette recherche. Je remercie les membres de mon comité, Dr. Ian Clark, Dr. Daniel Lagarec et Dr. Michel Phipps, pour leurs commentaires constructifs lors de l'élaboration et de l'exécution du projet de thèse. J'exprime aussi ma reconnaissance à Dr. Jacques Cinq Mars pour son aide et sa disponibilité pendant la saison de terrain.

Merci à Alain Riel pour son aide technique à l'ordinateur et à Monique Frappier pour ses conseils lors des analyses au laboratoire. Je ne peux passer sous silence la contribution de Gaëtan Deschamps pendant la saison de terrain: sous tous les temps, ton dynamisme a été apprécié. Un gros merci à Dr. Véronique Dewez pour ses conseils judicieux et ses paroles d'encouragement tout au long de cette recherche.

Pour ton appui constant et tes pointes d'humour rafaichissantes, merci Philip. Finalement, j'aimerais exprimer ma reconnaissance à mes parents, Nicole et Paul, et à mon frère, François, pour leur confiance et leur soutien inconditionnel pendant toutes mes années d'étude.

# TABLE DES MATIÈRES

Résumé	i
Abstract	ii
Remerciements	iii
Table des matières	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Liste des documents annexes	ix
<b>Chapitre premier : PROBLÉMATIQUE</b>	
1.1 Terminologie	1
1.2 But de la thèse	4
1.3 Hypothèse de travail	4
1.4 Justification de la recherche	5
1.5 Division du travail	7
<b>Chapitre 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE</b>	
2.1 Une forme circumpolaire	8
2.2 Un cycle annuel	11
2.3 Des eaux minéralisées	11
2.4 Une action géomorphologique caractéristique	13
<b>Chapitre 3 : CADRE PHYSIQUE</b>	
3.1 La région de la Firth	15
3.1.1 Un secteur non englacé	15
3.1.2 Une région calcaire	17
3.1.3 Un climat continental froid	17
3.1.4 Les sols des régions froides	19
3.1.5 À la limite des arbres	22
3.2 La vallée de la rivière Firth	23
3.2.1 Localisation et physiographie	23
3.2.2 Régime hydrologique	23
3.2.3 Géomorphologie	24
<b>Chapitre 4 : MÉTHODES ET TECHNIQUES</b>	
4.1 Méthodologie	32
4.2 Travail sur le terrain	33
4.2.1 Sites d'échantillonnage	33
4.2.2 Intervalle d'échantillonnage	34
4.2.3 Coupe de sol	34
4.2.4 Observation de la végétation	35
4.2.5 Échantillonnage pour datation	35
4.2.6 Prise de pH	35
4.2.7 Transport et conservation des échantillons	36

4.3	Analyses au laboratoire	36
4.3.1	Couleur	36
4.3.2	pH	36
4.3.3	Contenu en eau	37
4.3.4	Séparation des particules >2 mm	38
4.3.5	Teneur en matière organique	38
4.3.6	Évaluation des carbonates et sels solubles	39
4.3.7	Les analyses granulométriques	39
4.3.8	Datations	41
4.4	Compilation des données	41

## Chapitre 5 : RÉSULTATS

5.1	Les résultats globaux	43
5.1.1	La teneur en matière organique et en eau	43
5.1.2	Les sels et le pH	45
5.1.3	La distance et les constituants du sol	47
5.2	L'environnement du nald	48
5.2.1	La section amont	48
5.2.2	La section centrale	59
5.2.3	La section aval	62
5.3	Sommaire	66

## Chapitre 6 : DISCUSSION

6.1	Quand la rivière s'est-elle entaillée?	69
6.2	Les sols en tant qu'indicateurs de la présence de la glace	70
6.2.1	La granulométrie	71
6.2.2	Les sels solubles sont-ils une signature de la glace?	72
6.3	La végétation: l'effet de la glace sur son développement	74

## Chapitre 7 : CONCLUSIONS

## BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE 1

ANNEXE 2

ANNEXE 3

ANNEXE 4

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1: Image satellite du nord du Yukon (25/08/75). La présence de glace de naled se remarque à sa couleur blanche (pointé: le naled de la rivière Firth).
- Figure 2: Le naled de Fish Hole Creek.
- Figure 3: Îlot au centre de la vallée de la rivière Firth.
- Figure 4: Schémas des formes de différents types de naleds observés au Spitzberg: a. naled de source (bas débit); b. naled de source (haut débit); c. naled de source thermique; d. naled de pingo ( $T^{\circ}$  de l'eau et débit élevés); e. naled de pingo ( $T^{\circ}$  de l'eau et débit bas); f. naled de rivière; g. naled de ruisseau. (Åkerman, 1982)
- Figure 5: Carte de localisation de la région à l'étude.
- Figure 6: Carte géologique de la région de la rivière Firth.
- Figure 7: Températures et précipitations moyennes enregistrées à Old Crow et Komakuk Beach entre 1951 et 1980.
- Figure 8: Le pergélisol au Canada. (A.C.G.R., 1988)
- Figure 9: Débit annuel moyen de la rivière Firth (près de l'embouchure).
- Figure 10: Superficie du naled de la rivière Firth pour les mois de juillet et août (échelle de temps discontinue).
- Figure 11: Carte géomorphologique de la vallée de la rivière Firth.
- Figure 12: Pitons de versant typiques des escarpements calcaires de la vallée de la Firth.
- Figure 13: Pédiments au pied des versants calcaires.
- Figure 14: Le lit principal de la rivière Firth dominé par le naled. Au sud-est les escarpements calcaires restreignent l'étendue de glace.
- Figure 15: Relation entre le pH de terrain et le pH de laboratoire pour 78 mesures. L'indice de corrélation Pearson est significatif à  $p < 0,05$  où  $R = 0,72$ .
- Figure 16: Relation entre la distance de l'axe de la vallée et les classes granulométriques sableuse et limoneuse.
- Figure 17: En amont, végétation colonisant la plaine alluviale.
- Figure 18: Coupe transversale du premier transect: a. Taux d'humidité par rapport à la distance de la glace; b. teneur en sels des échantillons par rapport à la distance de la glace .

- Figure 19:** Épandages de gravier formant des buttes dans la plaine alluviale.
- Figure 20:** Le premier transect vue de côté. À gauche: la glace de naled. À droite: la limite des arbres. Pointé: une tourbière réticulée.
- Figure 21:** Processus de cryoturbation dans une coupe de sol du transect 1.
- Figure 22:** Coupe longitudinale du deuxième transect: a. Taux d'humidité par rapport à la distance de la glace; b. teneur en sels des échantillons par rapport à la distance de la glace .
- Figure 23:** Végétation le long du deuxième transect.
- Figure 24:** Naled de la Petite Poule se formant dans un affluent du côté nord-ouest du grand naled de la Firth.
- Figure 25:** Îlot situé au centre de la vallée. Ce cliché a été pris en 1993. Lors de l'échantillonnage, en 1994, cet îlot était sous la glace.
- Figure 26:** Coupe de sol dans un îlot au centre de la vallée.
- Figure 27:** Stratigraphie de la coupe de sol de la figure 26 sur un îlot au centre de la vallée.
- Figure 28:** Coupe transversale du troisième transect d'échantillonnage: a. Taux d'humidité par rapport à la distance de la glace; b. teneur en sels des échantillons par rapport à la distance de la glace .
- Figure 29:** Végétation se développant sur l'îlot du transect 3. Remarquez la présence de hummocks.

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau 1:** Matrice de corrélation de Pearson des données d'échantillonnage.

**Tableau 2:** Statistiques descriptives de trois propriétés de sol, horizon par horizon, coupe par coupe.

## **LISTE DES DOCUMENTS ANNEXES**

- Annexe 1:** Toutes les données étudiées sur les sols de la rivière Firth sauf les données de granulométrie.
- Annexe 2:** Données granulométriques pour la rivière Firth.
- Annexe 3:** Courbes granulométriques pour la rivière Firth.
- Annexe 4:** Graphiques des teneurs en matière organique et de pH pour chacun des trois transects.

## CHAPITRE PREMIER

### PROBLÉMATIQUE

Les environnements froids représentent une portion considérable de la superficie du Canada. La description des formes qui les caractérisent et l'étude des phénomènes qui leur sont associés contribuent à une meilleure compréhension de la géographie canadienne. Le nord du Yukon est d'ailleurs une région caractéristique de ces environnements. L'étude du naled<sup>1</sup> de la rivière Firth s'inscrit dans le cadre d'un projet de longue haleine visant à décrire les glaces de surface, de sols et de cavernes du Yukon septentrional, région n'a qui jamais été englacée.

#### 1.1 Terminologie

Les naleds, qui sont des formes périglaciaires, ont été notés dans la plupart des régions circumpolaires. À vol d'oiseau, nous les devinons à leur couleur azurée et à leurs légers reflets argentés. Sur image satellite (figure 1) ils sont mis en relief par leur teinte blanche. Les naleds furent observés dès le siècle dernier mais, comme c'est le cas pour la rivière Firth, ils étaient parfois confondus avec des glaciers (McArthur, 1934).

Le terme naled provient de la langue russe et signifie généralement «de la glace formée à la surface d'un plan d'eau déjà gelé, de la glace (de mer ou d'eau douce) ou de la neige» (Dahl, 1881). Aujourd'hui, la définition la plus acceptée d'un naled s'énonce comme : **«une masse de glace stratifiée, sub-horizontale, formée sur le sol, sur une rivière ou sur un lac, par le gel successif de nappes d'eau courante qui peut ressurgir du sol, couler d'un ruisseau ou émerger de dessous la glace de rivière au travers de fractures»** (A.C.G.R., 1988, p. 52) (figure 2).

Selon Åkerman (1982), qui a fait une thèse sur les naleds du Spitsberg, les naleds issus de ces divers processus de gel peuvent d'ailleurs être classifiés en grandes catégories, telles que:

---

<sup>1</sup> Le terme "naled" en langue Russe est du genre féminin. Dans le cadre de cette thèse nous l'utiliserons sous le genre masculin.



Figure 1: Image satellite du nord du Yukon (25/08/75). La présence de glace de naled se remarque à sa couleur blanche (pointé: le naled de la rivière Firth).



Figure 2: Le naled de Fish Hole Creek.

les naleds de rivière, les naleds de source, les naleds de pingo et les naleds de glacier. L'étendue de ces plaques de glace dépend surtout de la taille du bassin versant (Clark et Lauriol, 1997). Leur impact sur la géomorphologie locale devrait dépendre des dimensions de l'étendue de la glace. Les sols et la végétation entourant les naleds devraient aussi démontrer des caractéristiques propres à ces environnements.

## **1.2 But de la thèse**

Le temps joue un rôle important en ce qui a trait à la pédogénèse et au développement de la végétation. Les naleds étant des formes épisodiques, leur variation annuelle pourrait avoir un impact sur ces derniers. Dans cette perspective, notre thèse consiste à vérifier l'influence du naled de la rivière Firth sur son environnement immédiat. La problématique se définit comme suit:

*La glace du naled de la rivière Firth a-t-elle un impact sur les sols et la végétation de la vallée?*

Cette étude essaie donc de mettre en évidence, avec l'aide de la végétation et des propriétés des sols, l'action de la glace sur l'environnement immédiat du naled en le caractérisant.

## **1.3 Hypothèse de travail**

Afin de répondre à la question, nous tenterons de vérifier une hypothèse de travail (H1).

H<sub>1</sub> : L'environnement proximal du naled montre une évolution différentielle en partant de l'axe de la vallée et en se dirigeant vers les versants qui le cernent.

H<sub>0</sub> : L'environnement immédiat du naled est homogène.

Pour nous aider à vérifier l'hypothèse de travail, nous suivrons les trois voies de recherche suivantes:

- 1 - Dans le lit de la rivière Firth, nous remarquons la présence d'îlots de dimensions variables, très souvent orientés dans le sens de l'écoulement de la glace; la génèse de ces îlots est méconnue (figure 3). Parce que ces formes sont présentes à des endroits où la glace peut avoir une croissance épisodique, leur étude du point de vue de la constitution de leur sol et de leur végétation pourrait nous aider à comprendre l'impact annuel de la glace sur cette forme spécifique.
- 2 - L'étude des propriétés physiques et chimiques des sols, le long de transects longitudinaux et transversaux à l'axe de la vallée, menant à la recherche de relations entre les propriétés des sols et leur situation spatiale par rapport à la glace.
- 3 - La description générale de la végétation qui peut être affectée par l'impact périodique de la glace, dans le but de déterminer les types de végétation caractéristiques à l'environnement du naled.

#### 1.4 Justification de la recherche

Jusqu'à présent les études sur les naleds se sont concentrées sur l'hydrologie et la géocryologie. La variation de l'extension des naleds pourrait modifier considérablement le paysage. Les environnements pergélisolés sont facilement affectés par de très petites variations au niveau de la température, de l'apport en eau et de l'insolation annuelle. L'impact des naleds sur la géomorphologie, l'évolution des sols et la végétation, est mentionné dans la littérature (Åkerman, 1982) mais de façon très superficielle.

Dans ce contexte, la recherche proposée est une étape afin d'arriver à une meilleure compréhension de ces environnements. Elle doit permettre d'établir une méthodologie d'étude des sols et de la végétation en tant qu'indicateurs. Dans la même foulée, l'étude essaie de mettre en valeur des critères d'identification pour éventuellement reconnaître la présence d'anciens naleds.

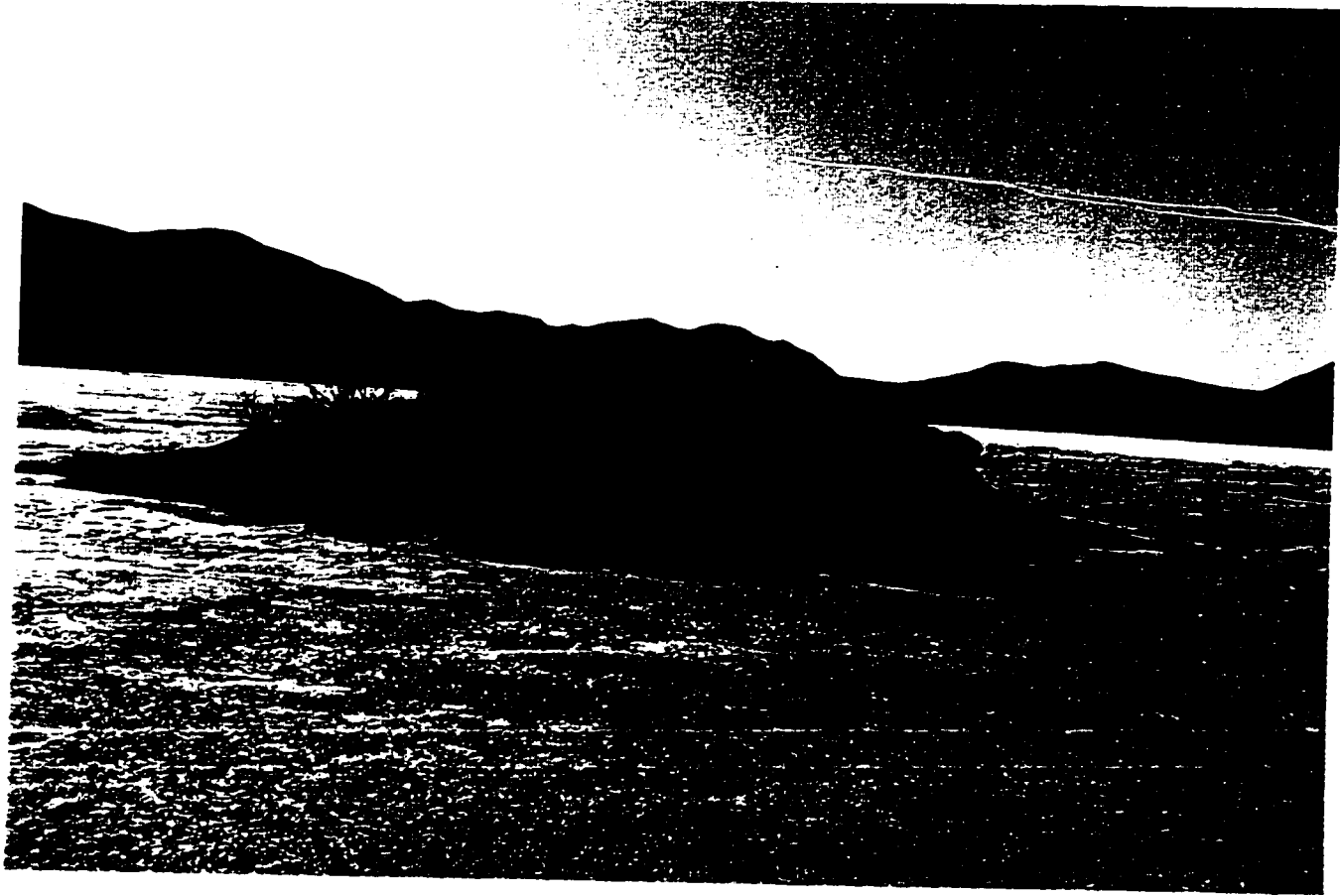


Figure 3: Îlot au centre de la vallée de la rivière Firth.

## **1.5 Division du travail**

La thèse se divise en sept chapitres. Les deux premiers discutent des objectifs de l'étude et donne une courte description des différents aspects de recherche sur les naleds d'après une revue de la littérature. Les deux chapitres suivants se concentreront plutôt sur la description de la région à l'étude et sur la méthodologie et les techniques utilisées pour répondre à la problématique. Finalement, les trois derniers chapitres présenteront les résultats obtenus, leur interprétation et les conclusions qui ont été tirées.

Parmi les nombreux éléments caractérisant les régions à pergélisol, le naled est sans doute un des plus impressionnants. Si son étude nous éclaire sur l'hydrologie nordique, elle peut aussi porter un regard sur les caractéristiques physiographiques de ces environnements sensibles.

## CHAPITRE 2

# REVUE DE LA LITTÉRATURE

La littérature contient de nombreuses études sur les naleds. Parce qu'ils sont des indicateurs hydrologiques, les différents auteurs ont mis en relief leur importance au niveau de leur distribution spatiale, de leur régime, de leur géochimie et de leur dynamique de formation. Leurs effets sur la géomorphologie sont aussi mentionnés mais de façon peu exhaustive. Ce chapitre propose un survol des recherches faites sur les naleds dans différentes régions froides du monde.

### 2.1 Une forme circumpolaire

Des études sur la distribution des naleds ont été menées au niveau de plusieurs régions circumpolaires. Holmgren *et al.* (1974) et Harden *et al.* (1977) ont étudié, avec l'aide du MSS (multispectral Scanner Subsystem) de Landsat, la distribution et la longévité des naleds de rivière en Alaska. Ils arrivent à la conclusion que la distribution des naleds est associée aux changements morphologiques des rivières et à la présence de sources. Dans leur revue des eaux souterraines des régions à pergélisol, Williams et van Everdingen (1975) mentionnent les naleds de la chaîne des montagnes Brooks et British. Leur étude discute principalement du débit des ruisseaux qui varie de 0.12 à environ 1.14 m<sup>3</sup>/s et de la température de l'eau ressurgissante qui est entre 4 et 5°C. Lauriol *et al.* (1991) montrent que les naleds se situent toujours au voisinage des affleurements calcaires liés aux résurgences dans le nord du Yukon. Encore plus vers l'est, Veillette et Thomas (1979) ont observé la présence de quatre naleds dans une partie du Keewatin nord-central (T.N.O.). Ils ont observé leur formation dans des sites où l'eau ressurgit de dépôts granulaires gelés en permanence. Leur formation serait associée à la présence de taliks situés sous la couche de pergélisol et qui serviraient de conduits aux eaux souterraines.

Les naleds ont aussi été étudiés extensivement en Russie. Dans la partie orientale de la plateforme sibérienne, Rudavin et Federov (1973) ont noté leur présence dans des régions à géologie carbonatée, très fissurée, de type ordovicienne. Selon leurs observations, les naleds de cette région seraient formés à partir du contact entre des taliks et, située sous le pergélisol, une formation karstique inondée. Dans leurs travaux Nikitina et Tolstikhin (1973) ont aussi noté que leur distribution semble dépendante de la morphologie des pentes, des conditions hydrogéologiques et de l'altitude absolue à laquelle ils se développent. En Mongolie, Froehlich et Slupik (1982) mentionnent la présence de naleds sur les pentes australes des monts Khangai. Dans cette région, les auteurs les ont remarqués surtout au centre de la vallée Bayan-Nuurin-Khotnor où ils se forment sur du matériel à déposition limnologique ayant une texture sableuse à fine.

Enfin, avec ses travaux au Spitzberg, Åkerman (1980) a mis en évidence la diversité de localisation des naleds sur ces îles. Il classifie les naleds en se basant sur leur processus de formation. Les différents types de naleds auraient une distribution qui serait associée à ces processus (Alekseyev, 1973; Åkerman, 1982) et, par conséquent, les naleds se formeraient dans des régions distinctes où nous retrouvons des éléments physiographiques provoquant leur formation (figure 4). Par exemple, les naleds provenant de sources thermales se localisent assez loin de ces sources, étant donné qu'il faut plus de temps pour refroidir l'eau de gène. Un autre cas est celui des naleds situés à l'aval des glaciers; ces derniers, par leur fonte, apportent l'eau souterraine nécessaire à leur formation. De tels naleds ont d'ailleurs été observés au Spitzberg (Griselin, 1994). Un point à noter est qu'il n'existe pas de cartographie mondiale de la distribution des naleds. Une telle cartographie pourrait éventuellement donner des indications sur leur développement par rapport à une géologie, une géomorphologie et une hydrologie plus globale.

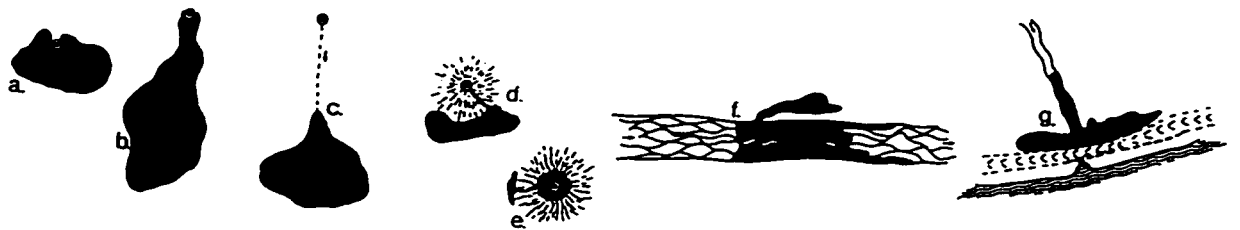


Figure 4: Schémas des formes de différents types de naleds observés au Spitzberg: a. naled de source (bas débit); b. naled de source (haut débit); c. naled de source thermique; d. naled de pingo ( $T^{\circ}$  de l'eau et débit élevés); e. naled de pingo ( $T^{\circ}$  de l'eau et débit bas); f. naled de rivière; g. naled de ruisseau. (Åkerman, 1982)

## **2.2 Un cycle annuel**

Le régime hydrologique de naleds occupe une part importante des études (Froehlich et Slupik, 1982; Slaughter, 1982; Sokolov, 1975; Tolstikhin, 1973; Williams et vanEverdingen, 1975). Le régime de la plupart des naleds semble comprendre trois périodes de développement (Sokolov, 1975; Tolstikhin, 1973) : (1) à la fin de l'automne et au début de l'hiver, il y a croissance des naleds de façon sporadique; (2) du début de l'hiver jusqu'au début du printemps, leur croissance est à son maximum et ils se développent de façon constante (Williams et van Everdingen, 1975; Slaughter, 1982); (3) pendant la période printannière, la croissance diminue et s'arrête éventuellement pour faire place à la fonte. La fonte des naleds se fait d'ailleurs très rapidement lors de périodes de réchauffement prononcé (Slaughter, 1982). L'abrasion thermique de l'eau coulant dans les chenaux est un catalyseur de la fonte du naled (Froehlich et Slupik, 1982), l'eau de fonte contribuant fortement au bilan hydrologique de la rivière durant cette période (Tolstikhin, 1973). En région montagneuse, la fonte des naleds a une grande importance au niveau hydrologique (Froehlich et Slupik, 1982) puisque les phases de décharge élevée contribuent à irriguer la plaine alluviale, un peu de la même façon que les glaciers.

## **2.3 Des eaux minéralisées**

La composition chimique de la glace de naled est dépendante de la géochimie des eaux de surface ou souterraines (soit venant d'un talik ou coulant au-dessus et sous le pergélisol) participant à sa formation. Dans le cas des taliks Tolstikhin et Tolstikhin (1976) ont noté une différence entre la minéralisation des eaux d'un talik fermé et celles d'un talik ouvert. Les eaux d'un talik fermé subissent l'effet marqué du métamorphisme cryogénique. Ce métamorphisme provoque une augmentation de la minéralisation qui peut aller de quelques fractions à 20-80 g/L et jusqu'à 250 g/L dans le cas de taliks complètement fermés et qui est causée par la précipitation de certains sels, la redistribution de la composition ionique ainsi que les échanges et l'absorption d'éléments du substrat. Dans le cas de taliks ouverts, l'eau est généralement

moins affectée par le métamorphisme cryogénique et sera plutôt le reflet de la composition de l'eau suprapergéisolée (au dessus de la surface du pergélisol), subpergéisolée (sous le pergélisol) ou de surface. Selon les auteurs, sa concentration en ions subit, par contre, une légère augmentation, spécialement au niveau de taliks qui sont rechargés par des eaux suprapergéisolées et subpergéisolées riches en minéraux.

Du point de vue de la minéralisation, Chistotnova et Tolstikhin (1973) mentionnent que la haute concentration de la glace en minéraux est le résultat non seulement de la teneur en ions de l'eau de formation mais aussi du réarrangement subséquent des ions dans la colonne de glace. Les concentrations d'ions sont d'ailleurs très variables le long de cette colonne. Cette variation s'explique par les changements saisonniers dans la composition de l'eau de la résurgence mais aussi par la migration de particules dans la colonne de glace. Cette intense minéralisation se manifeste par la présence de précipitations de calcite à la surface de la glace lors de la fonte du naled. Ces épandages de poudre de calcite suggèrent qu'une bonne partie de l'eau de formation des naleds prend sa source dans les fractures des massifs carbonatés (Hall, 1980b). Ces précipitations se déposent sur le sol après la fonte de la glace et sont un des seuls indicateurs de la présence de celle-ci; ils pourraient aussi avoir une influence sur le pH des sols (Lauriol et al., 1991). La distance à laquelle l'eau formant les naleds s'écoule du point d'origine et l'épaisseur des couches de glace dépendront de la température de l'eau à la source, de la pente (gradient) à la surface du sol, du taux de minéralisation de l'eau et de la température ambiante (Chistotnova et Tolstikhin, 1973). De plus, l'accrétion de la glace de naled ne se fait pas uniformément et, à certains endroits, la croissance maximale de la glace fut notée en janvier alors qu'à d'autres endroits elle fut notée en février ou mars (Chistotnova et Tolstikhin, 1973).

Dans le cas de la rivière Firth, avec des analyses isotopiques sur de la glace de naled, Lauriol et al. (1991) arrivent à la conclusion qu'il s'agit d'une formation basale de la glace où, après un long refroidissement souterrain, l'eau émergeant durant l'hiver gèle à l'interface sol-glace. Les valeurs élevées de  $^{13}\text{C}$  de calcite cryogénique indiqueraient d'ailleurs que l'eau karstique souterraine est la composante majeure de la glace du naled (Clark et Lauriol, 1997).

Les dépôts de calcite recristallisée qui sont exultés à la surface de la glace donnent aussi une indication de la dissolution significative de la géologie sous-jacente (Hall, 1980b). En outre, l'analyse d'ions, composant l'eau de naled provenant de trois sources du nord du Yukon, montre une très grande concentration en calcium et en bicarbonate et met bien en évidence le processus de dissolution (van Everdingen, 1988).

#### **2.4 Une action géomorphologique caractéristique**

Dans ses travaux sur le Spitzberg occidental, Åkerman (1982) mentionne plusieurs effets géomorphologiques des naleds dont les pavements qui sont une mosaïque de pierres embriquées sur le lit de la rivière par le poids de la glace. Il discute aussi de formes d'accumulation comme les pseudo-eskers. Un autre effet du naled dont il fait mention dans ses travaux est celui d'inhiber le développement de certaines formes. Par exemple, le naled peut empêcher la croissance de la végétation, élément important au développement de certaines formes de sol structuré. La présence d'une nappe de glace protège aussi le lit de la rivière de l'érosion durant la débâcle printannière. Cet effet protecteur peut, par contre, causer des changements dans le profil du lit de la rivière puisque l'eau est canalisée dans un chenal plus étroit.

Plusieurs auteurs (Harden *et al.*, 1977; Nekrasov, 1973; Froelich et Slupik, 1982) ont étudié la géomorphologie des chenaux des rivières à naled. Parce que les naleds se forment généralement aux mêmes endroits au fil des ans, leur vallée d'écoulement s'élargit par la force de l'eau qui coule en marge de la glace. Les chenaux sont typiques d'une rivière anastomosée et sont très souvent creusés lorsque la fonte du naled a été particulièrement active vers la fin de l'été (Åkerman, 1980). Malgré ces quelques études, l'effet des naleds sur la géomorphologie, la pédologie et la végétation environnante n'est pas encore bien connue, notamment dans le nord du Yukon.

Dans son ensemble, cette revue de la littérature permet de localiser l'essentiel des naleds dans les régions qui n'ont ou pas été englacées, qui sont soit carbonatées ou riches en gravier, et qui connaissent un pergélisol "tempéré", c'est-à-dire dont la température se situe autour de -3° C. Dans ces régions, les eaux souterraines dissolvent le calcaire et le précipitent lors de leur résurgence.

## CHAPITRE 3

### CADRE PHYSIQUE

Les naleds sont fréquemment observés au Yukon. Nous les rencontrons parfois au sud du cercle polaire, entre autre, le long de la route Dempster (Pollard et French, 1983), mais plus fréquemment encore au nord du 67<sup>ième</sup> parallèle. Comme il fut discuté au chapitre précédent, des conditions géologiques, hydrologiques et climatiques favorables sont essentielles à la formation d'un naled. Le nord du Yukon, en particulier les monts British et Richardson, possèdent les conditions propices à leur formation. Parmi les plus grands, nous retrouvons ceux des rivières Malcolm, Babbage, Fish Hole, Joe et Firth (figure 5). C'est celui de la rivière Firth qui nous intéresse particulièrement dans le cadre de cette étude. Dans ce chapitre, nous décrivons le cadre physique de la vallée puis, du naled de la rivière Firth en particulier.

#### 3.1 La région de la Firth

##### 3.1.1 Un secteur non englacé

Un système de glaciers de piedmont et de vallée ainsi que d'inlandsis de montagnes ont recouvert de grandes régions de la Cordillère canadienne. À plusieurs reprises durant le Pléistocène les limites septentrionales des glaciations de la Cordillère n'auraient pas dépassé le 65<sup>ième</sup> parallèle (Dyke, 1987). Du côté de l'inlandsis Laurentidien, Hughes *et al.* (1981) ont placé la limite glaciaire du Wisconsinien supérieur dans le bassin de la rivière Rat. Du côté des Brooks Range, les glaciers étaient alimentés principalement par les neiges venant du pacifique et, par conséquent, étaient plus importants du côté maritime (Claque, 1980). Donc, la plus grande partie de l'intérieur de l'Alaska et du centre du nord du Yukon, aussi appelés Béringie, étaient des endroits semi-arides durant tout le Quaternaire et n'ont donc pas été englacés. Le territoire qui nous intéresse se retrouve dans cette enclave non englacée. Contrairement aux rivières glaciaires, dont le cours s'est réorganisé et a suivi des trajets complexes le long des

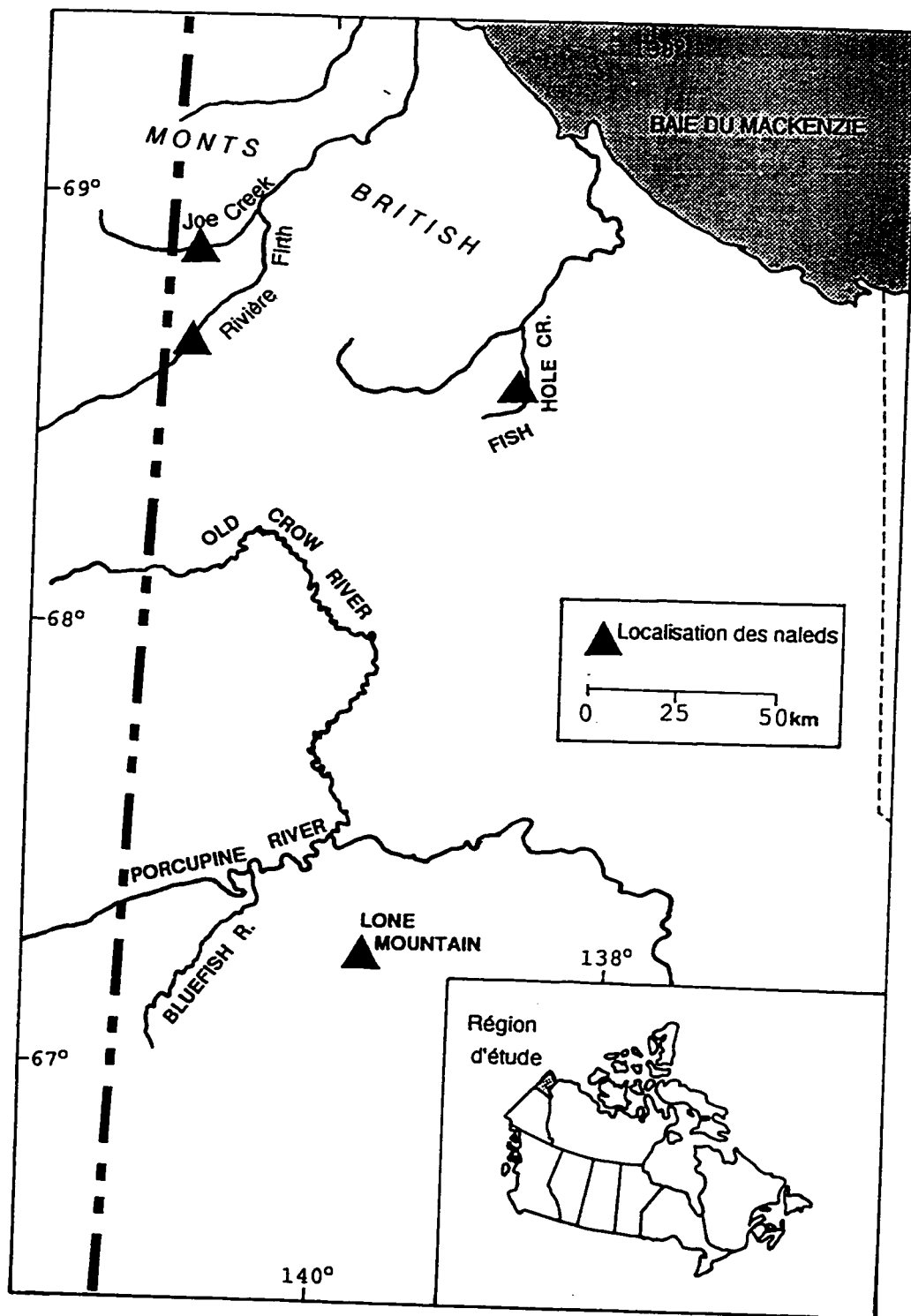


Figure 5: Carte de localisation de la région à l'étude.

marges glaciaires, les rivières des régions non englacées auraient suivi le même cours durant tout ce temps et, par conséquent, entraîné une quantité accrue de sédiments lors du wisconsinien supérieur (Clague, 1989). Une fois mis en place, ces sédiments n'ont pas été remaniés. Ceci nous permet d'observer un environnement possédant une échelle de développement des formes du modelé plus longue que dans les endroits qui ont été englacés. Dans ce contexte, la glace de naled aurait pu se développer à n'importe quel moment et avoir un effet sur les sols l'environnant.

### **3.1.2 Une région calcaire**

La géologie du bassin de la rivière Firth est caractérisée par une forte dominance des roches carbonatées (Norris, 1984). La géologie sous-jacente silicieuse est recouverte de façon non conforme par la formation carbonatée du groupe Lisburne, laquelle est entrecoupée de la formation du groupe Endicott principalement composée de schistes et de grès (figure 6). Associés à la formation silicieuse nous retrouvons des systèmes de failles et de synclinaux qui ont une trame structurale NW/SE marquée (Clague, 1989). De plus, les strates du groupe Lisburne ont fréquemment un pendage vertical. Ces deux éléments pourraient contribuer à la formation du naled par une résurgence concentrée des eaux karstiques (Clark et Lauriol, 1997).

### **3.1.3 Un climat continental froid**

Le climat du nord du Yukon et de la vallée de la rivière Firth en particulier est influencé par la physiographie de la région. D'abord, sa situation latitudinale au nord du cercle polaire résulte en un angle d'insolation réduit contribuant ainsi à une température moyenne moins élevée. La topographie des monts British joue aussi un rôle au niveau de l'insolation reçue à un niveau local. L'effet orographique augmente aussi les précipitations mais, les masses d'air de ces régions ayant un taux d'humidité assez bas, la région est relativement sèche. En hiver, il semblerait qu'un effet d'inversion apporterait des températures moins froides sur les versants que dans les basses terres environnantes. En été, le climat est refroidi par les vents venant de la mer de Beaufort (Wahl, 1987).

# GÉOLOGIE RÉGIONALE DE LA RIVIÈRE FIRTH

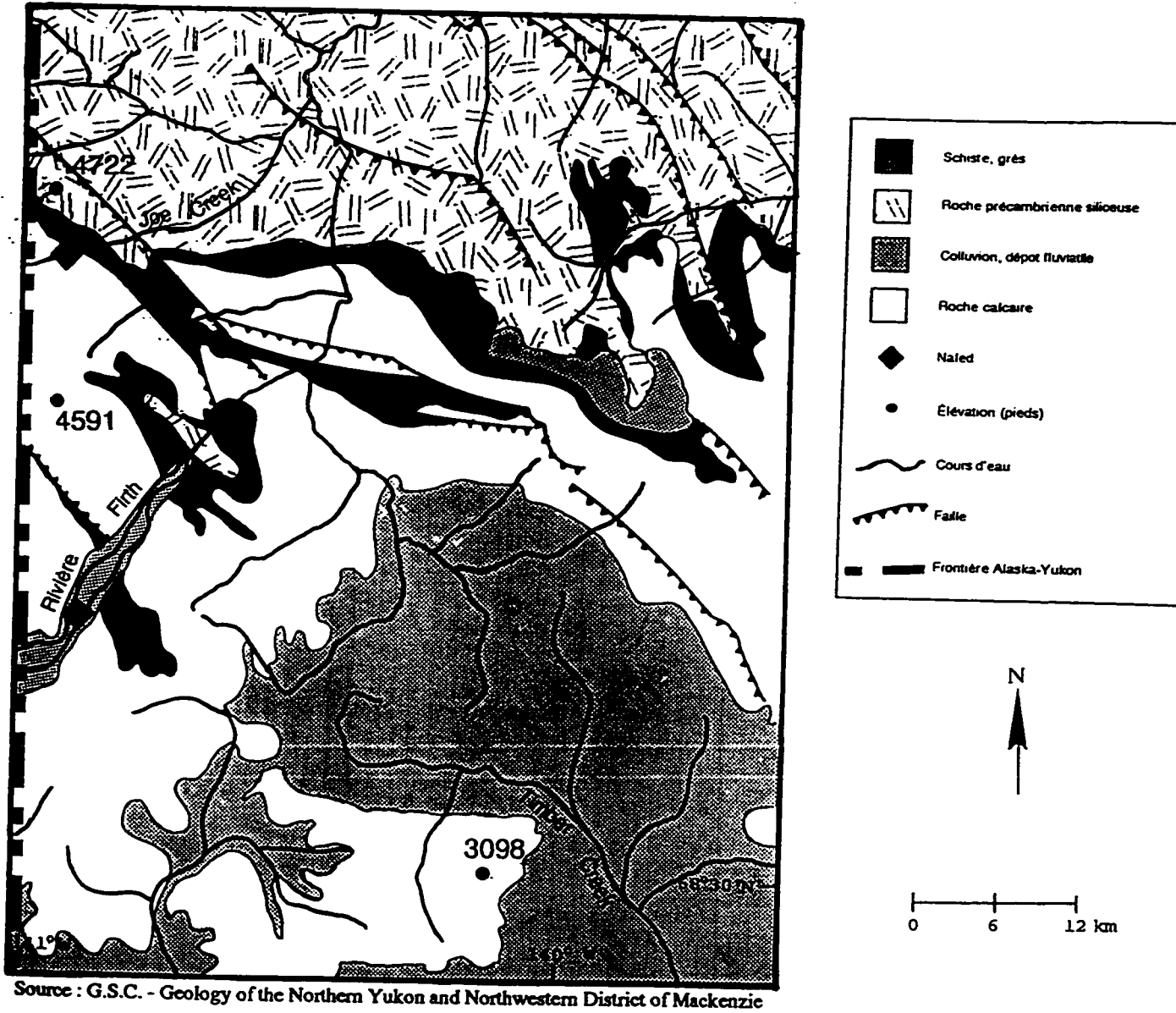


Figure 6: Carte géologique de la région de la rivière Firth.

À cause de la rareté des stations, les conditions météorologiques exactes du bassin de la Firth sont méconnues. Les stations les plus proches sont situées à Komakuk Beach sur la mer de Beaufort et à Old Crow situé à 160 km au sud de la vallée (figure 7). La température annuelle moyenne enregistrée à Komakuk Beach, entre 1951 et 1980, (P.C.C., 1982a) est de  $-11.4^{\circ}\text{C}$ , avec des moyennes maximum et minimum de  $-7.6$  et  $-15.3^{\circ}\text{C}$ . À Old Crow la température annuelle moyenne se situe à  $-10.1^{\circ}\text{C}$ , avec un maximum et un minimum de  $-4.9$  et  $-15.9^{\circ}\text{C}$ . Les moyennes des températures les plus froides ont été de  $-30.2^{\circ}\text{C}$  pour le mois de janvier à Komakuk et de  $-38.0^{\circ}\text{C}$  à Old Crow alors que les plus chaudes ont été enregistrées au mois de juillet:  $20.5^{\circ}\text{C}$  et  $11.9^{\circ}\text{C}$  respectivement pour chacune des deux stations.

Les précipitations moyennes annuelles à Komakuk Beach sont de 135.9 mm alors qu'à Old Crow elles se situent vers 214.7 mm. Dans les deux cas, 60% des précipitations tombent sous forme de neige (P.C.C., 1982b).

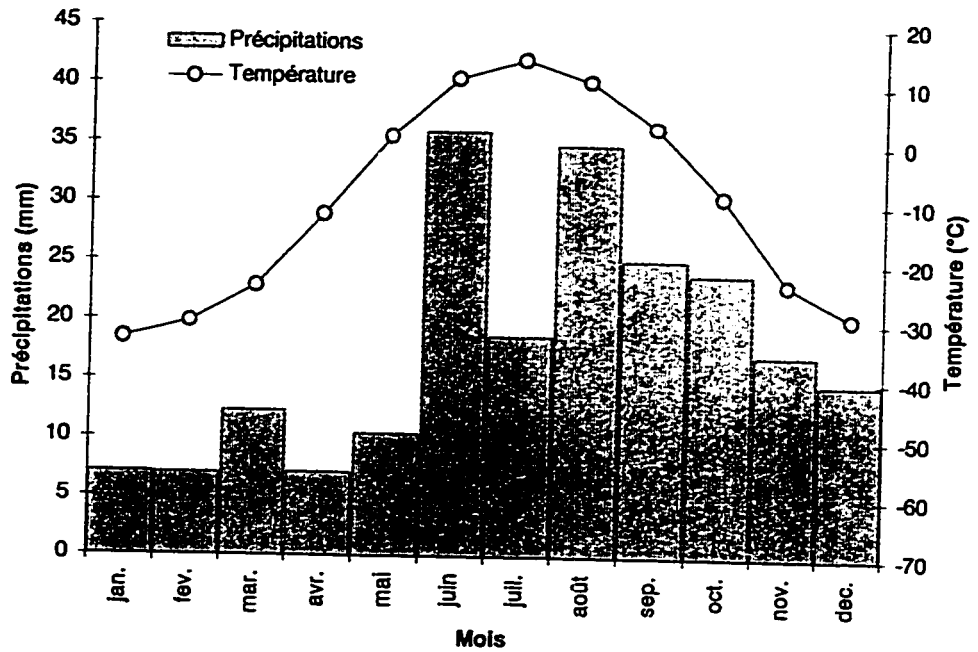
La région étant relativement sèche, le naled, pour se développer continuellement, est grandement dépendant de la circulation souterraine. Celle-ci peut d'ailleurs être très variable et dépend à son tour de plusieurs facteurs locaux par exemples la géologie, l'eau disponible en aquifère et les conditions de pergélisol.

#### 3.1.4 Les sols des régions froides

La région à l'étude est située dans la région à pergélisol continu (figure 8). Si l'eau de formation des naleds provient en grande partie de la zone sous le pergélisol, sa profondeur devient primordiale à la formation de résurgences permettant d'alimenter le naled.

Quant aux sols de la région de la rivière Firth, ils sont principalement dominés par des sols de l'ordre régosolique et par ceux de l'ordre cryosolique (Tarnocai *et al.*, 1993) qui sont typiques des régions froides. Les premiers se caractérisent par l'absence de pergélisol dans le premier mètre (ou dans les 2 premiers mètres lorsque fortement cryoturbés). Ils ont un développement d'horizons trop faible pour faire partie des autres ordres. Les seconds occupent

### Normales climatiques à Old Crow



### Normales climatiques à Komakuk Beach

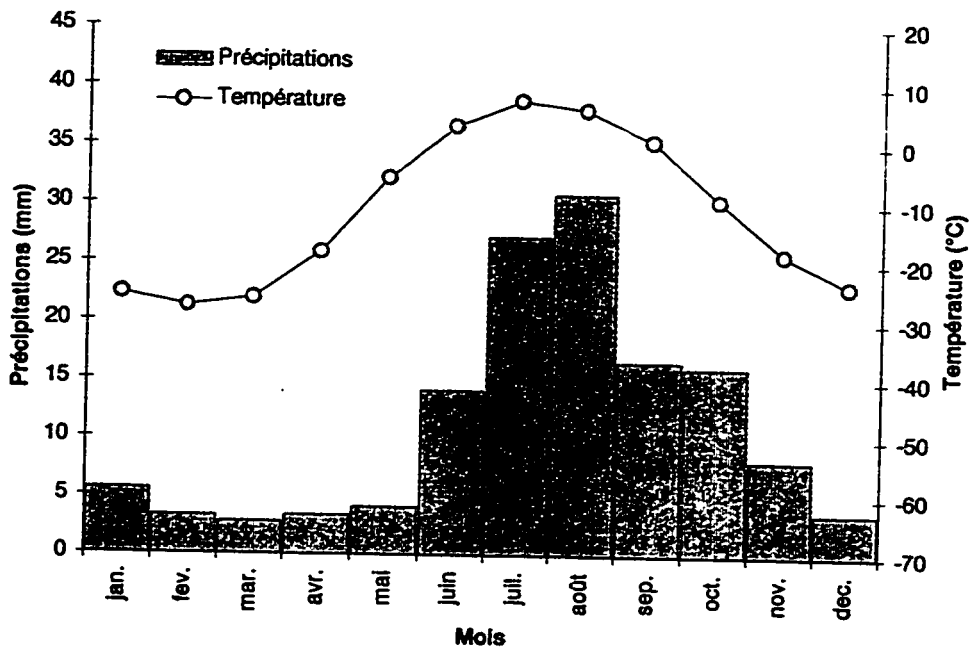
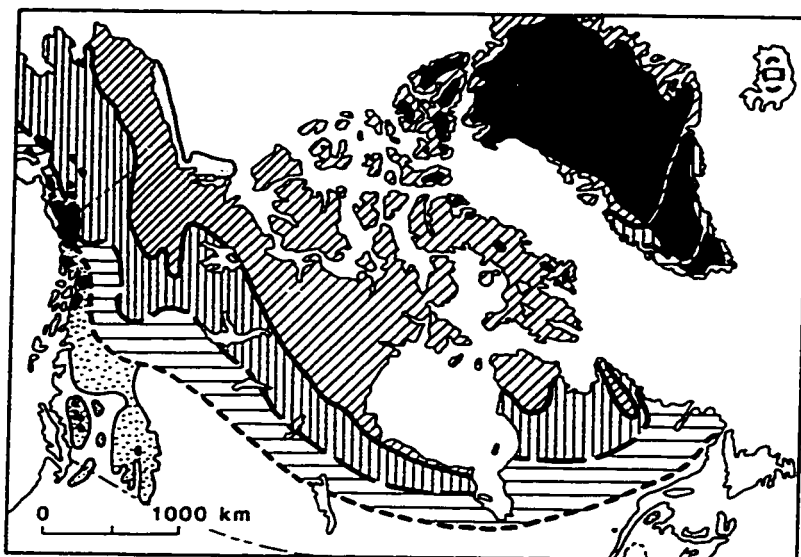


Figure 7: Températures et précipitations moyennes enregistrées à Old Crow et Komakuk Beach entre 1951 et 1980.













-  Zone of continuous permafrost (>80% of area underlain by permafrost).
-  Southern boundary of the zone of continuous permafrost.
-  Zone of discontinuous permafrost: subzone of widespread discontinuous permafrost (30 to 80% of area underlain by permafrost).
-  Boundary between widespread and sporadic discontinuous permafrost.
-  Zone of discontinuous permafrost: subzone of sporadic discontinuous permafrost (<30% of area underlain by permafrost).
-  Southern boundary of the permafrost region.
-  Alpine permafrost.
-  Alpine permafrost limit.
-  Known subsea permafrost.
-  Perennial ice caps.

Figure 8: Le pergélisol au Canada. (A.C.G.R., 1988)

une grande partie du nord du Canada et sont prédominants au nord de la limite des arbres où nous les retrouvons principalement dans les dépôts à texture fine. Ils sont formés sur des matériaux minéraux ou organiques ayant un pergélisol à moins d'un mètre de la surface ou deux mètres quand plus du tiers du pédon a été cryoturbé. Ils sont formés sur du matériel minéral portant souvent des marques de cryoturbation évidentes. Les horizons organiques ou minéraux riches en matériel organique sont présents de façon caractéristique dans la zone de la nappe de pergélisol (partie superficielle de celle-ci) où nous retrouvons généralement une accumulation de glace. Ces types de sol se retrouvent généralement sur des terrains réticulés qui comportent des formes cryogéniques triées ou non (C.E.P.P., 1992).

### 3.1.5 À la limite des arbres

La grande région du nord du Yukon possède deux zones de végétation dominantes: (1) la toundra arctique et alpine constituée de grandes zones de terres humides dominées par les graminés, la laiche (*Carex* sp.) et les joncs, ainsi que des zones mieux drainées caractérisées par la présence de saules (*Salix* sp.) et d'aulnes (*Alnus* sp.); (2) la forêt subarctique, limitée surtout aux vallées, où nous trouvons des épinettes noires (*Picea mariana*) et quelques saules (*Salix* sp.), le lichen et la mousse recouvrant le sol (Tamocai *et al.*, 1993).

En ce qui concerne le bassin de la rivière Firth, la limite nordique de la forêt subarctique divise le bassin en deux. Malgré tout, dans les vallées latérales, nous retrouvons des espèces comme l'épinette noire (*Picea mariana*) et le peuplier baumier (*Populus balsamifera*). En conjonction avec les conditions hydriques, les terrasses dominant la rivière Firth montrent des espèces telles que les *Carex* sp., *Betula glandulosa*, *Salix arctica* et *Sphagnum* sp.. Dans la plaine alluviale, le saule (*Salix* sp.) domine une grande partie des sites graveleux et partage l'espace avec plusieurs espèces d'herbacées telles que les *Dryas* sp., *Lesquerella* sp. et *Epilobium* sp. (Wiken *et al.*, 1981).

## **3.2 La vallée de la rivière Firth**

### **3.2.1 Localisation et physiographie**

Le naled de la rivière Firth se situe au Yukon septentrional, dans le parc national Ivavik, à 68°40' de latitude nord et 140°55' de longitude ouest. La vallée s'encaisse dans les monts British qui, situés au sud de la plaine côtière de la mer de Beaufort, sont une extension orientale des monts Brooks dominant le nord de l'Alaska. Les monts British atteignent des élévations allant jusqu'à 1200-1500m (Wiken *et al.*, 1981) et jouent le rôle de bouclier climatique entre la plaine côtière et le bassin d'Old Crow. Ils sont caractéristiques d'une région non englacée où l'érosion fluviale et celle causée par l'effet du gel-dégel sont dominantes. Les variations quotidiennes et saisonnières de température ainsi que les précipitations peu fréquentes sont des facteurs qui contribuent à accentuer l'érosion causée par le gel-dégel. Ce processus provoque des mouvements de masse dont nous remarquons les marques telles que les arêtes escarpées jonchées de débris, les tors, les pitons de versant et les talus d'éboulis. Cette érosion différentielle et contribue à enrichir d'une couverture imposante de colluvions les plaines qui s'étendent à leur pied.

La rivière Firth prend sa source en Alaska. Les naleds se développent ponctuellement le long de son cours (figure 1), mais c'est au niveau de la frontière Alaska-Yukon que nous notons la présence du grand naled. À cet endroit, le lit de la rivière s'élargit considérablement et est recouvert d'une nappe de glace atteignant 2 km en sa partie la plus large, 23 km de longueur et, à la fin du mois de juin, jusqu'à 3m d'épaisseur. Par la suite, la nappe devient ponctuelle jusqu'à disparaître presque complètement. La rivière se taille alors un chemin dans les monts British et la plaine côtière pour enfin se jeter dans la mer de Beaufort. Tout au long de son parcours elle reçoit de nombreux affluents, comme celui de Joe Creek, qui contribuent à augmenter son débit.

### **3.2.2 Régime hydrologique**

Le bassin de la rivière Firth occupe une superficie totale de 6200 km<sup>2</sup>. La rivière montre un régime nival accusé mais aussi un écoulement constant d'eau venant du pergélisol et

résurgissant au niveau de fissures dans la roche calcaire. De janvier à avril, le débit de surface est nul mais l'eau résurgissante du sol gèle et contribue à la formation du naled. En avril, la fonte de la neige provoque une crue intense qui atteint un niveau maximum au mois de juin (figure 9). Un maximum instantané de 1330 m<sup>3</sup>/s fut d'ailleurs noté le 1<sup>er</sup> juin 1977 (D.G.E.I., 1989). Entre juin et août, le débit diminue régulièrement et les eaux sont surtout nourries par la fonte du naled. Dès septembre le débit diminue rapidement jusqu'en novembre où il n'est plus que de 3.61 m<sup>3</sup>/s pour finalement cesser complètement vers le mois de décembre.

Avec l'aide de documents soit les photographies aériennes et les images satellites, nous avons déterminé l'extension annuelle du naled de la rivière Firth, pour une période de temps discontinue allant de 1944 à 1990 (figure 10). Nous avons noté que, pour cette période de temps, le naled se développe annuellement généralement aux mêmes endroits et que sa superficie varie très peu au mois de juillet mais beaucoup plus au mois d'août. Il est donc très possible que le naled disparaisse complètement certaines années.

### 3.2.3 Géomorphologie

La géomorphologie du bassin de la rivière Firth (figure 11) se caractérise par des versants calcaires escarpés où l'érosion différentielle est mise en évidence par des chapelets de pitons de versants (figure 12). L'escarpement s'adoucit au niveau de la base en de grands pédiments qui s'étendent en marge de la vallée (figure 13). La rivière Firth se creuse un lit au sein de ces pédiments et découpe les pédiments et des terrasses fluviales sur ses rives. En son point central, les versants du côté est de la rivière se rapprochent jusqu'à canaliser le lit qui ne peut alors prendre de l'expansion que d'un seul côté de la vallée (figure 14).

Débit mensuel moyen de la rivière Firth de 1972 à 1988

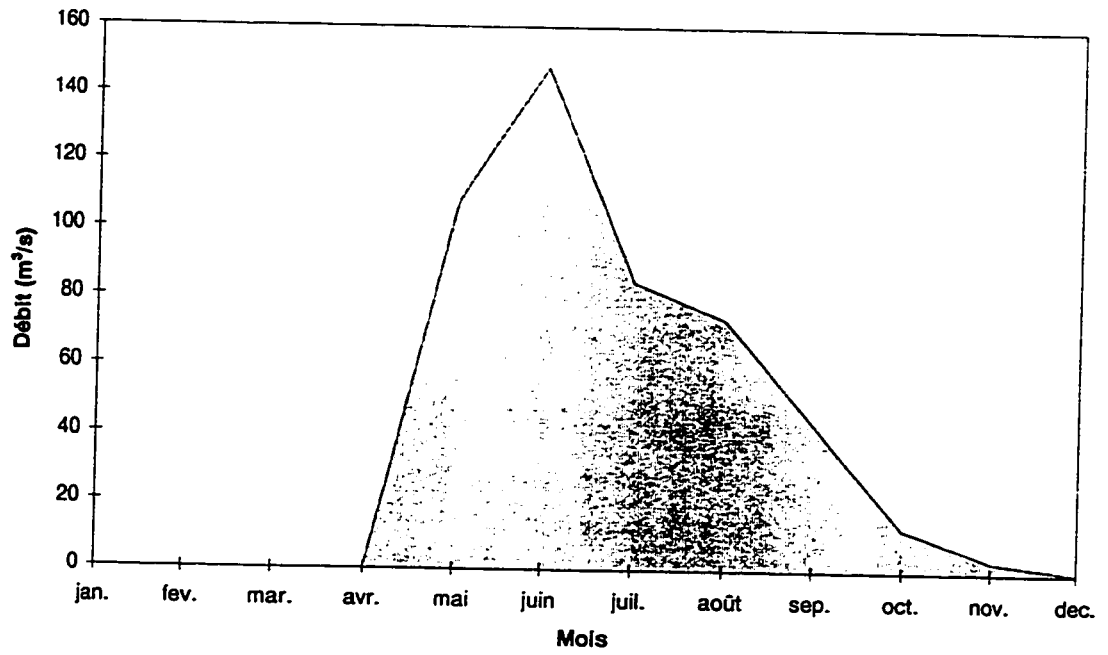
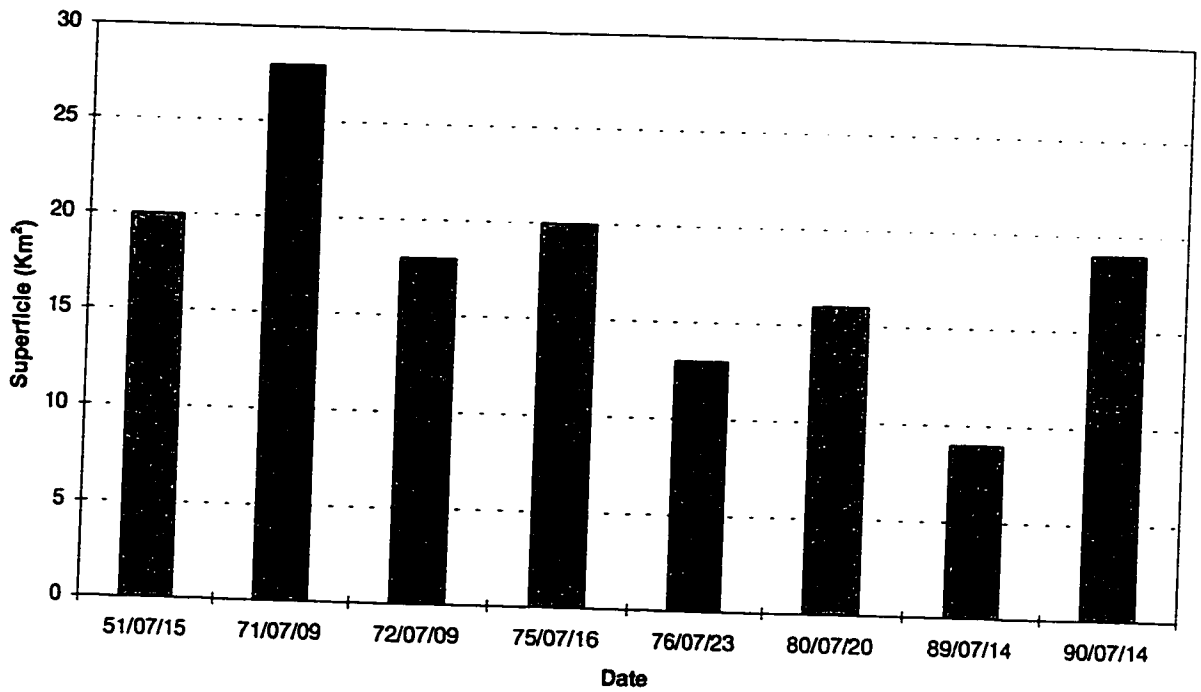


Figure 9: Débit annuel moyen de la rivière Firth (près de l'embouchure).

### Superficie du naled de la rivière Firth pour le mois de juillet



### Superficie du naled de la rivière Firth pour le mois d'août

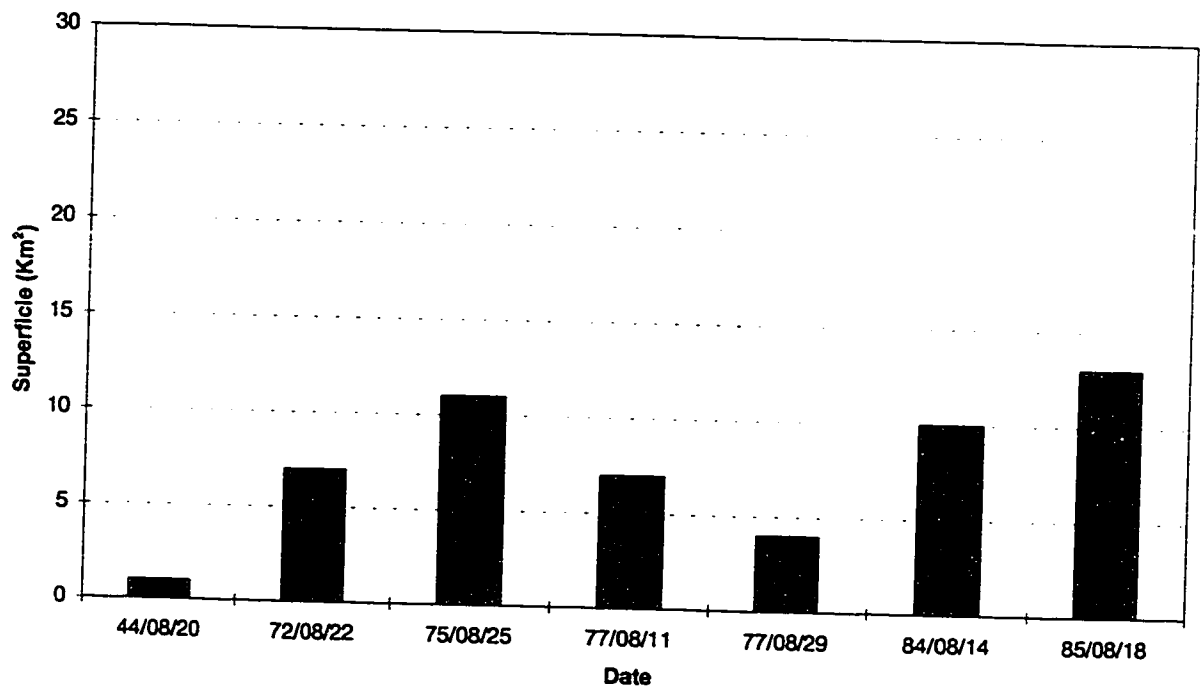
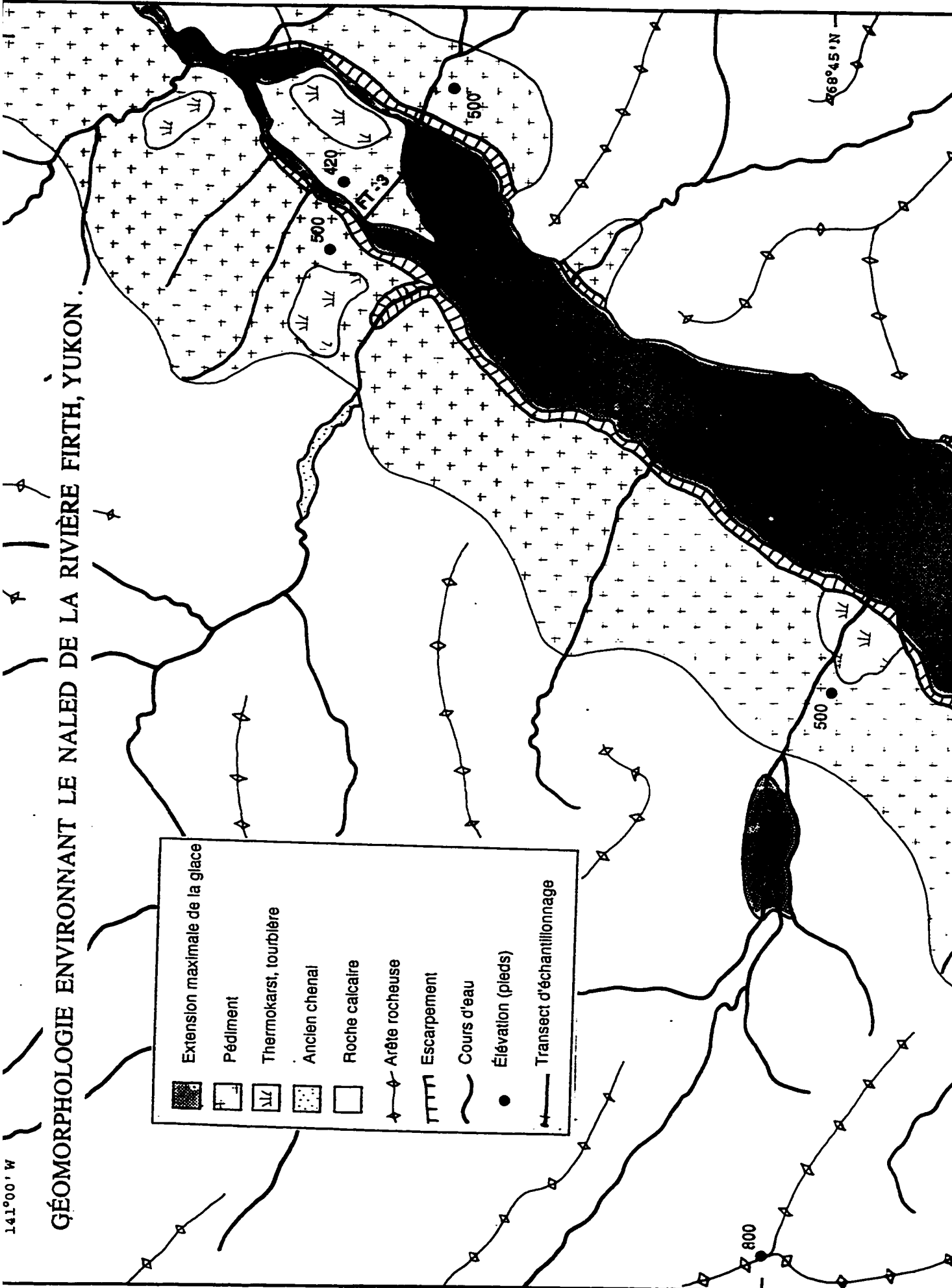
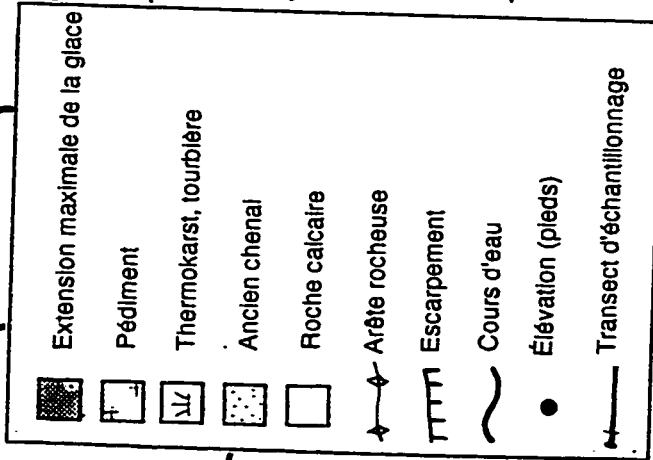


Figure 10: Superficie du naled de la rivière Firth pour les mois de juillet et août (échelle de temps discontinue).

141°00' W

# GÉOMORPHOLOGIE ENVIRONNANT LE NALED DE LA RIVIÈRE FIRTH, YUKON.





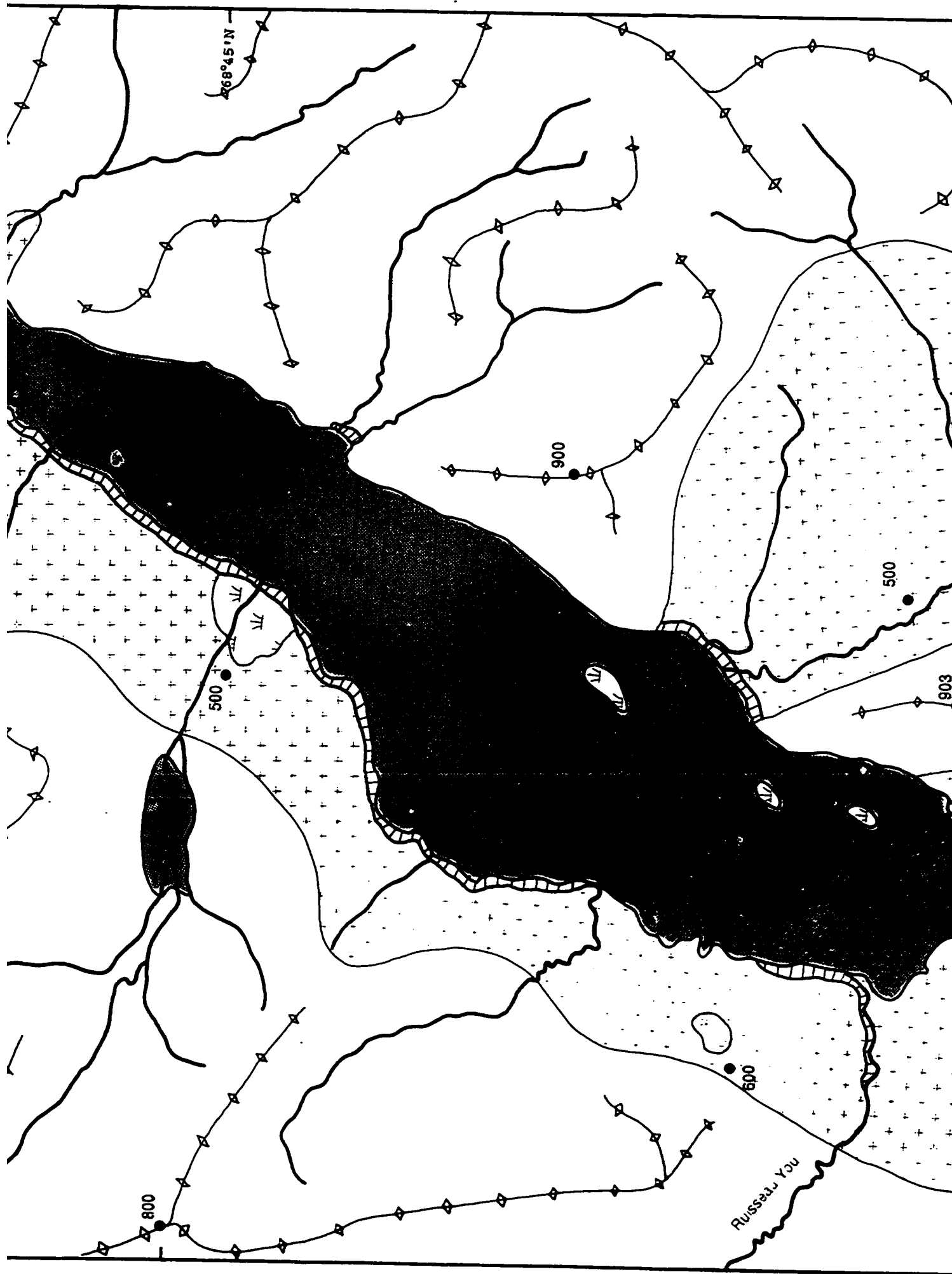




Figure 11

N 183,886

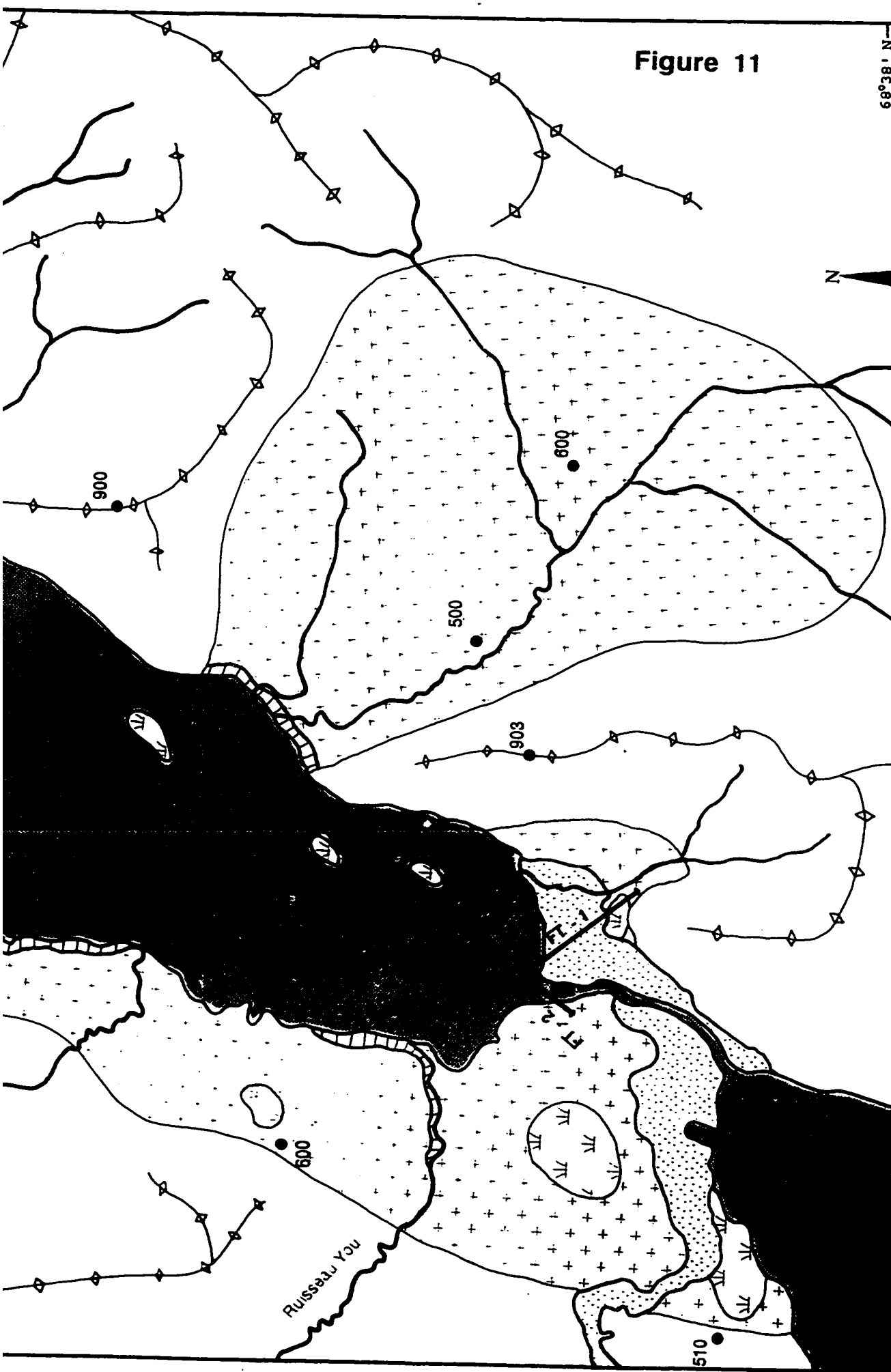






Figure 12: Pitons de versant typiques des escarpements calcaires de la vallée de la Firth.



Figure 13: Pédiments au pied des versants calcaires



Figure14: Le lit principal de la rivière Firth dominé par le naled. Au sud-est les escarpements calcaires restreignent l'étendue de glace

La région étant présente dans la zone à pergélisol continu, nous remarquons une quantité importante de formes périglaciaires comme les coins de glace qui sont mis à jour par des processus d'érosion sur les berges et les affaissements thermokarstiques.

Le lit même de la rivière se caractérise par la présence de chenaux anastomosés. À la base du naled quelques chenaux plus larges définissent un lit principal à la rivière mais, très souvent, s'échappent sous le naled où ils contribuent à son ablation. Ces chenaux taillent le sédiment du lit jusqu'à former des îlots.

En conclusion, la région de la rivière Firth se définit comme une région périglaciaire où l'écoulement souterrain joue un rôle important dans la formation du naled. L'extension annuelle du naled peut être le reflet du climat et des conditions hydriques.

## CHAPITRE 4

# MÉTHODES ET TECHNIQUES

La méthodologie utilisée pour vérifier si l'environnement proximal du naled montre une évolution différentielle par rapport à sa distance de la glace n'est pas une procédure préétablie. Elle est une combinaison de l'observation des éléments modelant le paysage de la vallée, de l'étude des propriétés des sols et de la végétation. La méthode utilisée suit trois étapes: d'abord l'acquisition d'information sur le terrain, puis l'analyse des échantillons au laboratoire et, finalement, la compilation des données avec des méthodes statistiques et graphiques. Ce chapitre décrit la méthodologie et les techniques utilisées.

### 4.1 Méthodologie

Notre problématique comporte trois éléments ayant trois échelles de temps distinctes. Le premier, le développement du naled, peut se chiffrer en plusieurs milliers d'années puisque la formation et les variations majeures du naled impliquent des changements climatiques, hydrologiques et des conditions du pergélisol. Le deuxième, celui du développement des sols, se compte en milliers d'années puisque la pédogénèse des environnements froids et pergélisolés est lente. Le troisième, celui de la végétation, est de quelques centaines d'années.

Si nous partons de l'hypothèse que le naled a une extension qui peut être variable au niveau de l'échelle du millénaire, il est possible que des paléo-extensions aient pu laisser des marques sur l'environnement proximal. Ce sont ces marques que nous tenterons d'identifier avec l'aide des sols et de la végétation. En d'autres mots, nous essayerons de mettre en évidence les différences dans la composition des sols et le développement de la végétation, en nous éloignant de l'axe de la vallée, afin de voir si la glace du naled de la rivière Firth a un impact sur ceux-ci. Ce n'est pas le but de cette thèse de regarder le développement de chaque coupe de sol en tant qu'entité mais d'observer plutôt la différenciation des caractéristiques des sols par rapport à la distance de la glace du naled. Pour la végétation, nous délimiterons des zones à partir des

différences dans les types de végétation et leur développement. Par la suite, nous tenterons de déterminer les raisons de ces différences.

Cette méthode devrait permettre de vérifier ou réfuter, totalement ou en partie, l'hypothèse de travail, soit que l'environnement proximal du naled montre une évolution différentielle en partant de l'axe de la vallée et en se dirigeant vers les versants qui l'entourent.

## **4.2 Travail sur le terrain**

L'échantillonnage des sols du naled de la rivière Firth s'est fait au mois de juin de l'été 1994. Le choix de la saison estivale se justifie par sa température clémente et ses 24 heures d'ensoleillement qui rendent le travail sur le terrain beaucoup plus facile. Avant et pendant l'échantillonnage, les formes particulières telles que les coins de glace, buttes cryogènes, tourbières, formes d'érosion ou d'accumulation ont été observées et notées. Au cours de cet été là, d'autres naleds ont aussi été échantillonnés mais nous n'avons retenu que celui de la rivière Firth. Étant donné la superficie variable des naleds échantillonnés, les comparaisons entre les naleds auraient été à toutes fins pratiques impossibles dans le seul cadre de cette thèse.

### **4.2.1 Sites d'échantillonnage**

L'interprétation de photos aériennes a permis d'évaluer le terrain et de choisir les sites d'échantillonnage. Ils se situent sur trois transects (figure 11): un premier (transversal), d'une longueur de 1200m et d'une orientation est-ouest, coupe la vallée en sa partie amont; un deuxième (longitudinal), d'une longueur de 500m et d'orientation nord-sud, suit l'axe de la vallée dans sa partie amont; un troisième, d'une longueur de 500m et d'une orientation ouest-est, a été réalisé à l'aval du naled et recoupe principalement un grand îlot au centre de la vallée. Le choix des transects s'explique par la recherche d'une évolution différentielle pour lequel un échantillonnage transversal et longitudinal deviennent nécessaires.

#### **4.2.2 Intervalle d'échantillonnage**

L'échantillonnage des sols et de la végétation a été fait le long des transects décrits au point 4.2.1. Tel que mentionné au chapitre précédent, le type de végétation reflète un changement dans la morphologie des sols. Une coupe de sol a été faite chaque fois que nous notions une modification, ne serait-ce que minime, dans la composition de la végétation. Il s'agit donc d'un échantillonnage discontinu. La raison motivant cette discontinuité est l'ampleur du terrain à couvrir. Dans notre cas, les échantillonnages étaient parfois rapprochés (20-30 m), surtout en marge de la plaine alluviale, mais étaient parfois éloignés (jusqu'à 100 m) si les unités de végétation étaient très homogènes. Nous avons échantillonné 21 coupes de sol sur le premier transect, 6 sur le deuxième et 12 sur le troisième. Entre chaque point d'échantillonnage (coupe de sol) la dénivellation était mesurée à l'aide d'un clinomètre et d'un décamètre.

#### **4.2.3 Coupe de sol**

Une coupe a été creusée à chaque point d'échantillonnage. La profondeur de la coupe est restreinte par la profondeur de la couche active au moment de l'échantillonnage. Lorsque cela était possible, les coupes étaient mises à jour sur les berges de la rivière, d'un ruisseau ou d'un effondrement. Étant donné la fonte partielle du pergélisol à ces endroits, la coupe dégagée était beaucoup plus profonde.

Les strates à échantillonner ont été déterminées à partir de la couleur et de la texture (C.E.P.P., 1992). Nous avons décrit chaque coupe strate par strate de sol visible. Les strates furent décrites du point de vue de leur épaisseur, leur couleur (estimée), leur texture, leur structure et d'autres caractéristiques spécifiques (par exemple un lit de matières organiques ou des lentilles de glace). Par la suite, chaque strate a été échantillonnée (environ 400 ml de sol), l'échantillon mis dans un sac en plastique fermé hermétiquement (whirl-pak) et identifié d'un code indiquant le numéro du transect suivi du numéro de la coupe et finalement d'une lettre indiquant la profondeur de l'échantillon. Par exemple, 1.09b signifie transect 1, coupe 9, deuxième strate.

Par la suite, un cliché de la coupe, échelle à l'appui, a été pris pour référence ultérieure. La coupe a ensuite été rebouchée en prenant bien soin de mettre le sol minéral suivi de la litière.

#### **4.2.4 Observation de la végétation**

La végétation herbacée, arbustive et arborescente a été décrite à chaque point d'échantillonnage. Nous avons noté la couverture du sol (par exemple *dryas*, mousse, laiche) et, si c'était le cas, les espèces dominantes. Pour les arbustes et les espèces arborescentes, nous avons noté les espèces présentes, leur hauteur ou leur développement et leur recouvrement. Les observations ont été notées pour une section d'environ 25 m<sup>2</sup> lorsque nous étions situés au centre de l'unité de végétation au point d'échantillonnage.

#### **4.2.5 Échantillonnage pour datation**

Lors de l'échantillonnage des coupes de sol, s'il y avait présence de matières organiques qui semblait propice à une datation <sup>14</sup>C, comme des morceaux de bois en place ou des lits organiques définis, le prélèvement a été fait séparément. Avec un canif, la pièce organique ou le lit à échantillonner ont été délicatement détachés de la surface de la coupe, scellés dans un sac Ziplock et identifiés avec le même code servant à l'échantillonnage de strate en plus de l'indication <sup>14</sup>C. La profondeur de l'échantillon a été prise en note dans le carnet de terrain.

#### **4.2.6 Prise de pH**

Afin de pouvoir estimer s'il y a une différence entre les pH de terrain et ceux de laboratoire, une prise de pH a été effectuée le soir même de l'échantillonnage avec un pH-mètre portatif (ColeParmer #5995-50). La méthode suivie est une procédure de laboratoire adaptée pour le terrain et qui consiste à prendre un peu de l'échantillon de sol dans une petite bouteille. Après l'ajout d'eau distillée afin de mouiller le sédiment, nous agitons pendant environ 2 min puis laissons décanter pour 5 min. Par la suite nous immergeons le bout de l'électrode dans le surnageant et prenons la lecture après stabilisation.

#### **4.2.7 Transport et conservation des échantillons**

Les échantillons ont été emballés dans des barils métalliques et expédiés par avion à Ottawa dans les deux semaines suivant l'échantillonnage. Étant donné la température ambiante assez fraîche (autour de 0° C la nuit), nous ne croyons pas que les échantillons aient subi des transformations majeures quant à leurs propriétés. À Ottawa, ils ont été entreposés à une température d'environ 5° C.

#### **4.3 Analyses au laboratoire**

Les analyses de sol au laboratoire ont été effectuées pendant l'été 1995. Les analyses ont été réalisées au niveau physique et chimique suivant des procédures déjà établies. Environ la moitié du volume des échantillons a été utilisée pour les analyses, tandis que l'autre moitié a été séchée et conservée pour les archives. Toutes les données des analyses au laboratoire pour la rivière Firth se retrouvent à l'annexe 1 et 2.

##### **4.3.1 Couleur**

L'évaluation de la couleur de nos échantillons sert uniquement à décrire les sols. Nous avons utilisé la notation Munsell. Cette notation donne la teinte, la luminosité et la saturation de la couleur de l'échantillon (par exemple 10YR 5/3 ). Comme dans notre cas, il est toujours préférable de donner la notation de couleur sur les deux états, soit humide et sec, dans les deux cas il faut indiquer par un suffixe (h ou s) l'état de l'échantillon (C.E.P.P., 1992). Les couleurs pour chaque strate des 96 échantillons analysés sont retrouvées à l'annexe 1.

##### **4.3.2 pH**

La mesure du pH des sols permet de connaître la concentration en ions H<sup>+</sup> dissociés des solutions de sol. Il est parfois en relation avec d'autres propriétés comme la teneur en eau, le pourcentage de carbonates et la pente; il pourrait aussi donner des indications sur le

développement des sols. Le pH des sols a été calculé à l'aide d'un pH-mètre digital (ACCUMET pH meter, model 610A) et suivant la méthode 3.13 du "Manual of soil sampling and method of analysis" (McKeague, 1981). Dans notre cas nous avons pris 20 g de sol frais (dont le poids précis a été pris en note: PF) auquel 20 ml d'eau déionisée dans le cas de sol minéral ou 40 à 60 ml dans le cas de sol organique ont été ajoutées, dans un erlenmeyer de 200 ml. L'erlenmeyer est bouché et la solution sol-eau est agitée (avec agitateur mécanique) pendant 30 min puis laissée à décanter pendant 4 heures ou plus. La méthode demande de laisser décanter pendant 30 min mais, dans notre cas, les échantillons étaient souvent très fins donc la vitesse de sédimentation très lente. Nous avons donc décanté plus longtemps pour être certains de ne pas endommager l'électrode. Le pH-mètre est par la suite calibré et l'électrode plongée dans le surnageant. Après stabilisation, la lecture du pH est prise.

#### 4.3.3 Contenu en eau

La teneur en eau des sols apporte surtout des éléments sur le drainage du sol. Le contenu des échantillons en eau a été fait à la suite de la prise de pH. La méthode utilisée suit la procédure décrite par Eilers (McKeague, 1981). Les échantillons dont le poids est connu (PF) sont séchés à 105° C pendant 12 à 16 heures. Ils sont par la suite refroidis au dessiccateur et pesés (PS). Le pourcentage d'eau contenu dans l'échantillon humide est par la suite calculé avec la formule suivante:

$$H_m \text{ (\% poids mouillé)} = \frac{(PF - PS)}{PF} \cdot 100$$

Les résultats obtenus peuvent être très variables puisque la densité du matériel diffère d'un échantillon à l'autre (Briggs, 1977). Étant donné que nous ne connaissons pas le volume du matériel, nous devons intuitivement "doser" les résultats. Par exemple, si du matériel très organique possède une teneur en eau de 75%, du matériel minéral contenant 25% d'eau n'a pas nécessairement trois fois moins d'eau que le matériel organique.

#### 4.3.4 Séparation des particules >2 mm

Dans le contexte de nos analyses, parce que la plupart des échantillons ont des particules inférieures à 2 mm, nous avons procédé à une première séparation. À partir d'un poids connu d'échantillon sec, nous tamisons à  $-1\phi$  (échelle phi) équivalant à la fraction supérieure à 2 mm. Cette fraction a, par la suite, été pesée et conservée mais, en ce qui concerne cette étude, elle ne sera pas prise en considération lors des analyses.

#### 4.3.5 Teneur en matière organique

La matière organique est traditionnellement une mesure de la fertilité des sols. Dans le cas qui nous intéresse, elle pourrait donner une indication de la présence récente de la glace qui aurait alors un effet négatif sur le développement de la végétation (section 2.3). La mesure du pourcentage de matières organiques a été effectuée par une perte au feu selon la méthode décrite par Atkinson et al. (1958). Nous pesons d'abord 20 g (PS) de matériel préalablement séché à 105° C pendant 12 heures et nous brûlons à une température de 420° C pendant 45 min dans le cas d'un sol minéral et pendant 3 heures dans le cas de sol organique. Par la suite le matériel est pesé (PB) et le pourcentage de matières organiques est estimé par la formule suivante:

$$\% \text{ M.O.} = \frac{(PS - PB)}{PS} \cdot 100$$

La perte au feu est une estimation assez précise de la teneur en matière organique. Parce qu'il reste très souvent de la cendre et des quantités infimes de matières organiques dont il faut se débarrasser pour l'analyse granulométrique, le matériel est réhydraté et oxydé au peroxyde [30%]. Ce processus, en plus d'oxyder le matériel, a pour effet de dissocier les argiles, aidant ainsi à la dispersion du matériel. L'échantillon est par la suite séché et pesé (PP).

#### 4.3.6 Évaluation des carbonates et des sels solubles

L'analyse des échantillons au niveau de leur carbonate et sels solubles est très importante pour notre étude. En effet, les dépôts de carbonate du naled pourraient laisser une signature qui serait détectée par une telle analyse. Dans notre cas la technique utilisée ne nous permet pas de différencier les carbonates des autres sels solubles. Nous utiliserons donc le terme sel pour décrire ces éléments. La teneur en sels est connue à partir d'une destruction à l'acide chlorydrique [20%] (Dean, 1974). À partir du poids mesuré (PP) de l'échantillon, nous ajoutons un peu d'eau déionisée dans un bécher pour mouiller le sédiment. Par la suite, de l'acide chlorydrique [20%] est ajouté en excès à l'échantillon. Le bécher est recouvert d'un verre de montre afin d'éviter les éclaboussures pendant la réaction. Les échantillons sont laissés au repos pendant une nuit puis, l'échantillon est centrifugé, décanté et lavé à plusieurs reprises à l'eau déionisée. Par la suite l'échantillon est séché et pesé (PC). Le pourcentage en sels se calcule à partir de la formule suivante:

$$\% \text{ sel soluble} = \frac{(PP - PC)}{PP} * 100$$

La méthode décrite, en plus d'évaluer la concentration, permet en même temps de détruire les carbonates en vue de la décantation des limons et des argiles tel que décrit dans la procédure de A.J. Green (McKeague, 1981).

#### 4.3.7 Les analyses granulométriques

La granulométrie est l'analyse statistique de la dimension des particules dans un sédiment meuble (Tricart, 1965). Cette analyse apporte des éléments qui serviront non seulement à caractériser les sols et leur développement mais aussi à éventuellement identifier des étapes de déposition. Deux méthodes sont utilisées afin de réaliser l'analyse. La première est un tamisage à l'eau et permet d'évaluer la distribution des particules supérieures à 63 µm. La deuxième est une décantation et, suivant la méthode de Gullentops, évalue la distribution des particules limoneuses et argileuses.

## Tamissage

L'échantillon d'un poids connu, soit autour de 20 g pour les échantillons limoneux et 40 g pour ceux sableux, a d'abord été mis en suspension dans de l'eau déionisée. Du dispersant, pyrophosphate de sodium [10 g/l], a par la suite été ajouté en petite quantité (20 ml). Les échantillons sont mélangés mécaniquement pendant une heure afin d'aider au processus de dispersion. Pour les échantillons récalcitrants, c'est-à-dire ayant de trop grandes quantités d'aggrégats argileux, nous avons utilisé un mélangeur (milk-shake) pour disperser les aggrégats. Cette méthode a le désavantage de briser les particules élémentaires si elle est utilisée trop longtemps. Nous avons opté pour un temps de mélangeur ne dépassant pas 3 min. Par la suite un tamisage à l'eau déionisée a été effectué.

Le tamisage permet d'évaluer la quantité de particules entre 2 mm et 63  $\mu\text{m}$  suivant les divisions granulométriques de Wentworth (1922), soit les tamis de 1 mm , 500  $\mu\text{m}$  , 250  $\mu\text{m}$  , 150  $\mu\text{m}$  et 63  $\mu\text{m}$  (0 $\phi$ , 1 $\phi$ , 2 $\phi$ , 3 $\phi$ , 4 $\phi$ ). Les particules inférieures à 63  $\mu\text{m}$  furent récoltées dans des béchers d'un litre. L'eau des béchers est évaporée jusqu'à n'obtenir que 800 ml de liquide (eau et sédiment). Les particules fines sont alors prêtes pour la décantation.

## Décantation

Selon la loi de Stokes, la vitesse de chute de particules dans un liquide homogène est directement proportionnelle à leur diamètre. À partir de cette loi, il est possible de déterminer la concentration des particules comprises dans une classe granulométrique si nous connaissons le poids initial (qui devrait idéalement se situer entre 8 et 15 g ) du matériel mis en suspension ainsi que la vitesse de décantation des particules pour une taille spécifique. La méthode de Gullentops utilise des vases de décantation possédant une valve d'échantillonnage à la base d'un cylindre gradué d'un litre. Après avoir mis en suspension un poids connu de matériel dans un litre d'eau, nous prenons un échantillon de 50 ml de solution à des temps prédéterminés. Ceci nous permet ainsi d'évaluer la concentration de fractions limoneuses et argileuses. Selon l'échelle de Wentworth, nous avons estimé la concentration des limons grossiers (63  $\mu\text{m}$  à

32  $\mu\text{m}$  ), celle des limons moyens et fins (32  $\mu\text{m}$  à 2  $\mu\text{m}$  ) et, finalement, celle des argiles (inférieure à 2  $\mu\text{m}$  ).

À quelques reprises des problèmes de floculation sont apparus. Les échantillons étaient alors centrifugés et lavés à l'eau déionisée à quelques reprises afin de les débarasser de tous les sels solubles pouvant encore être dissouts dans le liquide. L'échantillon était alors remis en suspension dans de l'eau déionisée et additionnée de dispersant. La décantation était par la suite reprise.

L'annexe 2 donne tous les poids des fractions granulométriques. Lors du tamisage et de la décantation, le poids du matériel trié n'égale jamais le poids initial puisqu'une fraction de ce dernier se perd lors de la manipulation. L'erreur sur le tamisage et la décantation est d'ailleurs exprimée à l'annexe 2. Pour effectuer les calculs granulométriques, nous avons totalisé les fractions sableuses, limoneuses et argileuses afin d'arriver à un total équivalent à 100 pourcent. Suivant la méthode graphique déjà établie, les courbes granulométriques sont de type cumulatif et le pourcentage est compilé sur l'unité correspondant au tamis sur lequel le matériel est déposé (Briggs,1977). Nous retrouvons toutes les courbes cumulatives à l'annexe 3.

#### **4.3.8 Datations**

Les analyses de radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) permettent d'établir une échelle de temps associée au développement des sols. Les échantillons pour datation au  $^{14}\text{C}$  ont été préparés en triant les gros morceaux de matières organiques. Ce matériel organique a, par la suite, été expédié au laboratoire GEOTOP de l'Université du Québec à Montréal pour datation par la méthode de scintillation. Ces analyses permettent d'évaluer l'activité de la rivière et de la glace en datant quelques paléo-surfaces.

#### **4.4 Compilation des données**

Les résultats des analyses au laboratoire ont été réunis sur le tableur EXCEL. Le traitement statistique a été effectué avec l'aide du logiciel STATISTICA.

Afin de vérifier l'hypothèse de travail, nous avons d'abord eu recours à une matrice de corrélation Pearson afin de mettre en évidence la relation entre les variables étudiées. À l'aide de graphiques, nous avons par la suite visualisé les relations entre les variables ayant un coefficient de corrélation significatif ( $p < 0.05$ ), en particulier les relations entre les caractéristiques des sols et la distance de l'axe de la vallée. Cette stratégie permet de comprendre les interactions entre les différentes propriétés des sols et de reconnaître éventuellement quelles seraient celles pouvant servir d'indicateurs à la présence de la glace.

Par la suite, nous avons décrit les transects. Les analyses granulométriques ont été représentées avec l'aide de courbes cumulatives pour les trois premières strates de chaque transect, permettant ainsi de visualiser les relations entre la taille des particules et la distance de l'axe de la vallée.

En résumé, la méthodologie utilisée lors de l'échantillonnage et de l'analyse des résultats devrait permettre de vérifier l'hypothèse de base. Comme nous le verrons dans les deux prochains chapitres, l'intégration des caractéristiques de sols, de la végétation et des formes particulières du modelé, devrait donner suffisamment d'éléments pour cibler l'impact de la glace du naled sur l'environnement de la vallée.

## CHAPITRE 5

# RÉSULTATS

Les sols et la végétation peuvent servir d'indicateurs à la présence périodique de la glace. Tel qu'exposé au chapitre précédent, une matrice de corrélations permet de mettre en évidence des relations entre les caractéristiques étudiées. Dans ce chapitre nous présenterons d'abord les résultats globaux des analyses de sol et les relations entre ses variables. Par la suite nous précisons l'environnement du nald au niveau de la géomorphologie, des caractéristiques des sols et de la végétation le long des trois transects d'échantillonnage.

### 5.1 Les résultats globaux

Les résultats d'une corrélation Pearson entre neuf variables caractérisant les sols de 95 individus sont représentés au tableau 2. Les relations significatives à  $p < 0,05$  représentent un ratio de 22 : 13. De ces 22 corrélations, certaines ne donnent pas nécessairement d'indication sur la présence possible de la glace mais sont plutôt le reflet de la nature du matériel analysé. Dans cette section nous présenterons ces résultats et tenterons d'expliquer brièvement pourquoi nous retrouvons ces corrélations. Il est à noter que les chiffres entre parenthèses sont les coefficients de corrélation entre les variables que nous comparons.

#### 5.1.1 La teneur en matière organique et en eau

Le pourcentage de matière organique dans nos échantillons se situe entre des valeurs de 0,2% jusqu'à environ 42,8%. Si nous regardons tous les échantillons confondus, nous remarquons une relation entre la matière organique et la plupart des autres variables (tableau 1). D'abord, pour ce qui est des particules fines, nous observons une corrélation positive avec la matière organique et les limons (0,68) ainsi que les argiles (0,54), alors qu'elle est négative dans le cas des particules sableuses (-0,58). Les argiles ayant une

N = 95  
 \* = p<0,05

Variables	M.O. (%)	SELS (%)	SAB. (%)	LIM. (%)	ARG. (%)	pH	HUM. (%)	DIS. (m)
M.O. (%)								
SELS (%)	-0,20							
SAB. (%)	-0,70 *	0,12						
LIM. (%)	0,68*	-0,11	-0,98 *					
ARG. (%)	0,54*	-0,12	-0,73 *	0,59 *				
pH	-0,58 *	0,28 *	0,37 *	-0,35 *	-0,33 *			
HUM. (%)	0,78 *	-0,14	-0,71 *	0,69 *	0,55 *	-0,48 *		
DIS. (m)	0,21 *	-0,27 *	-0,23 *	0,22 *	0,20	-0,23 *	0,11	
P. E. (cm)	-0,18	-0,18	0,10	-0,08	-0,11	0,28 *	-0,18	0,05

- M.O. : Matière organique
- SELS : Sels solubles et carbonates
- SAB. : Sable
- LIM. : Limon
- ARG. : Argile
- pH : pH
- HUM. : Humidité ou teneur en eau
- DIS. : Distance l'axe de la vallée
- P.E. : Profondeur de l'échantillon

Tableau 1: Matrice de corrélation de Pearson des données d'échantillonnage.

meilleure capacité de rétention d'eau, la végétation pourrait possiblement y prendre pied plus facilement.

Nous notons aussi une corrélation négative entre le taux de matière organique et le pH (-0,58) qui pourrait être expliquée par le fait que les sols possédant une grande quantité de matière organique doivent très souvent leur acidité à l'humus (acides humiques) (Duchaufour, 1965). Finalement, la relation positive (0,78) entre le taux de matière organique et l'humidité semble être directement reliée à la capacité de rétention d'eau du complexe organique.

Mise à part sa relation avec la matière organique, l'humidité des échantillons montre une corrélation avec les trois classes texturales et le pH. Dans le cas de la taille des particules, sa relation négative avec le sable (-0,71) met en évidence un processus de percolation actif alors qu'une relation positive existe avec les classes texturales fines, soit le limon (0,22) et l'argile (0,55), indiquant une capacité de rétention d'eau plus grande. Le taux d'humidité montre aussi une corrélation négative avec le pH (-0,48), corrélation qui s'explique possiblement par un taux de matière organique plus élevé et, par conséquent, une plus grande quantité d'acide humique.

### 5.1.2 Les sels et le pH

Les sels mesurés dans les sols ne semblent pas avoir de relations significatives avec les autres paramètres à l'exception de la distance, dont nous discuterons au point 5.1.3, et du pH. Les sels solubles et carbonates provoquent une augmentation de l'alcalinité des sols, ce qui explique la relation positive entre les sels et le pH (0,28).

Ici, nous ouvrons une parenthèse sur la prise de mesure du pH. Comme nous l'avons mentionné au chapitre 4, 78 échantillons furent chacun l'objet de deux mesures de pH, soit une mesure sur le terrain quelques heures après l'échantillonnage et une autre au laboratoire. La figure 15 montre la relation entre les deux résultats obtenus. Après comparaison, la corrélation Pearson indique une relation significative, positive à  $p < 0,05$  (0,72). Il ne semble donc pas y

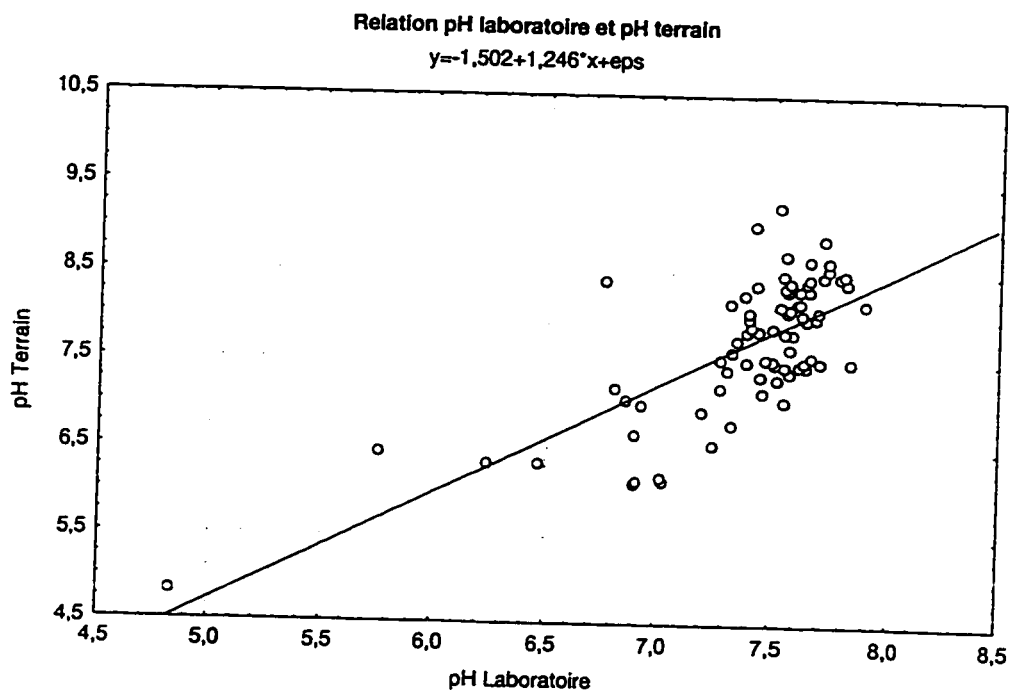


Figure 15: Relation entre le pH de terrain et le pH de laboratoire pour 78 mesures. L'indice de corrélation Pearson est significatif à  $p < 0,05$  où  $R = 0,72$ .

avoir de facteurs externes influençant les échantillons de façon majeure. Parce que les méthodes utilisées et les conditions extérieures étaient différentes pour la prise de pH sur le terrain et pour les mesures au laboratoire, il est normal d'obtenir une certaine marge d'erreur lors de la régression. Cette comparaison est importante pour nos analyses puisqu'elle nous permet d'évaluer si les échantillons ont subi une transformation lors de leur entreposage. À la lumière de ces résultats, nous estimons qu'il n'y a pas eu de transformations significatives pouvant affecter le pH des échantillons. Lors de l'analyse des résultats nous avons utilisé le pH pris en laboratoire.

Le pH montre une relation avec toutes les variables étudiées. Sa relation négative avec le taux d'humidité, tel qu'expliquée plus haut, reflète une relation positive avec le matériel sableux (0,37) et négative avec le matériel fin limoneux (-0,35) et argileux (-0,33). Les valeurs de pH se démarquent aussi si nous les comparons à la profondeur de l'échantillon (0,28). Cette corrélation pourrait être expliquée par deux facteurs concomitants, soit: le taux de matière organique moins élevé et/ou la migration des sels en profondeur. Le deuxième facteur ne peut être vérifié puisque nous n'avons pas de relations significatives entre les sels solubles et la profondeur de l'échantillon (tableau 1).

### 5.1.3 La distance et les constituants du sol

Dans le contexte de notre étude, les corrélations entre la distance et les autres variables sont importantes puisqu'elles nous permettent de mettre en valeur les caractéristiques des sols qui nous apporteront peut-être des indications sur l'impact de la glace.

Nous observons une relation significative entre la distance et cinq des neuf variables de la matrice. La première corrélation est avec la matière organique où nous remarquons une relation positive (0,21), donc une augmentation de la teneur en matière organique en s'éloignant de l'axe de la vallée. Quant à eux, les sels montrent une relation négative (-0,27) c'est-à-dire une diminution de leur concentration avec l'éloignement de l'axe de la vallée. Pour ce qui est des classes texturales, généralement elles passent de sableuses (-0,23) au centre de la vallée à

limoneuse (0,22) en s'éloignant (figure 16). Finalement, la relation entre la distance et le pH montre une corrélation (négative) qui pourrait s'expliquer soit: (1) par la présence de sels solubles et carbonates en grande quantité, lorsque nous nous rapprochons de l'axe de la vallée, contribuant ainsi à augmenter la valeur du pH ou (2) par une teneur en matière organique plus élevée.

## **5.2 L'environnement du naled**

Si la première section du chapitre nous a éclairé sur les relations globales entre les caractéristiques des sols étudiés, ici nous donnerons une description détaillée des transects d'échantillonnage du point de vue de leurs caractéristiques géomorphologiques, des constituants de leurs sols et de leur végétation. Nous présenterons les résultats dans le cadre de trois sections: l'amont, le centre et l'aval.

### **5.2.1 La section amont**

L'amont de la rivière est caractérisé par la présence de chenaux asséchés (figure 11). Le ruisseau You divague du côté nord-ouest et vient se joindre aux chenaux déjà existants. Sur cette même berge, l'épinette pousse sur la terrasse alluviale située en bordure des chenaux actifs. Une végétation arbustive se développe dans les anciens chenaux et prend pied sur du matériel alluvial (figure 17). Le côté sud-est de la section amont est plutôt dominé par de grands escarpements qui s'éloignent un peu afin de laisser la place à de petits pédiments. Un de ces pédiments est le cadre du premier transect qui s'oriente de façon transversale. Quant au deuxième transect, il a été échantillonné dans le lit de la rivière, à l'amont de l'étendue de glace, de façon longitudinale.

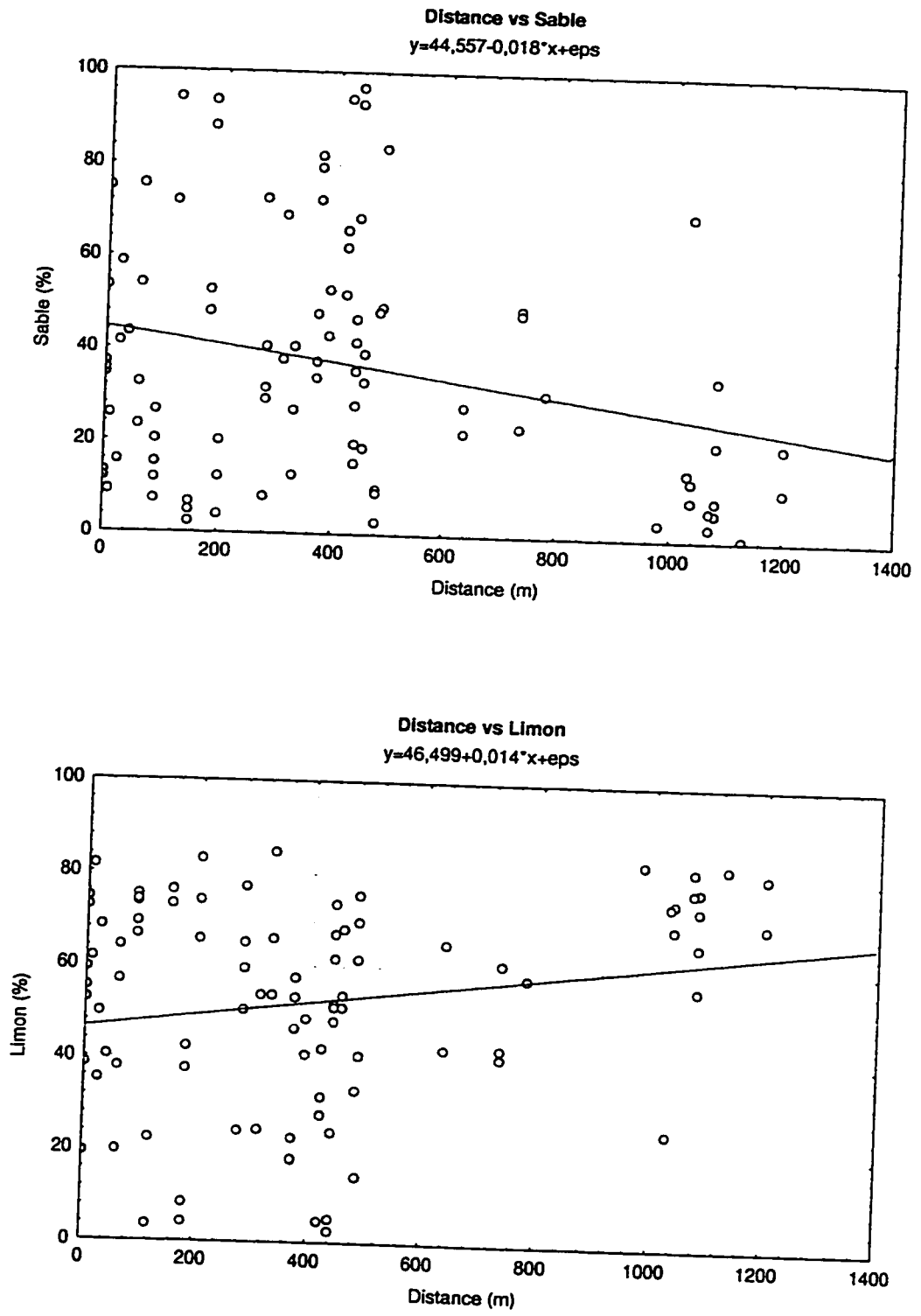


Figure 16: Relation entre la distance de l'axe de la vallée et les classes granulométriques sableuse et limoneuse.



Figure 17: En amont, végétation colonisant la plaine alluviale.

### Premier transect: transversal

Le premier transect a une longueur de 1200 m et une pente générale de 0,5°. Les points d'échantillonnage partent du centre du lit de la rivière (1 m ) et s'éloignent en direction est vers les marges de la vallée (1200 m ). Nous pouvons diviser le transect en quatre zones distinctes (figure 18).

Les premiers points d'échantillonnage (0 à 485 m ) se situent dans le lit de la rivière et sur des îlots au centre de la vallée, dont nous discuterons un peu plus tard. La granulométrie de ces sédiments est grossière pour les sols sur le lit de la rivière (médiane entre 1 et 2 $\phi$ ) et fin pour les îlots (médiane entre 3 et 4 $\phi$ ). Nous remarquons aussi une teneur en sels qui se situe entre 40 et 50%. Le taux de matière organique se situe entre 5 et 10% et se traduit par un pH entre 7,6 et 7,8 (annexe 4). La végétation à ce niveau est surtout de type herbacé sur les îlots et nous retrouvons le *Dryas* en quantité. Le lit de la rivière est ponctué de buttes (figure 19). Sur ces buttes, nous remarquons la présence de saules qui semblent prendre pied sur du matériel sableux qui est parfois retenu en place par de petites plaque de mousse.

La deuxième zone du transect semble être une transition entre le lit proprement dit et la terrasse alluviale (485 à 900 m ). Cette zone est typique d'anciens chenaux qui ont été colonisés par la végétation. À ce niveau la granulométrie est définitivement plus fine (médiane entre 4 et 5 $\phi$ ). La teneur en sels diminue très légèrement et se situe maintenant entre 35 et 45% alors que la teneur en matière organique des horizons varie entre 10 et 15%. La végétation de cette zone est dominée par les herbacées mais aussi par une grande quantité d'aulnes.

La troisième zone du transect est située en haut de la terrasse alluviale (900 à 1070 m ). Elle se caractérise par la présence d'une tourbière (figure 20) et de formes périglaciaires tel les coins de glace. Les sols sont affectés par le pergélisol et sont fréquemment cryoturbés (figure 21). La taille des particules constituant les sols est dominée par les limons (médiane entre 5 et 7 $\phi$ ) et la concentration en sels solubles se situe à peu près au même niveau que la zone discutée précédemment. Le taux de matière organique s'arrête entre 15 et 20%. La végétation est dominée par les herbacées mais nous retrouvons tout de même quelques arbustes.

Transversal à l'amont

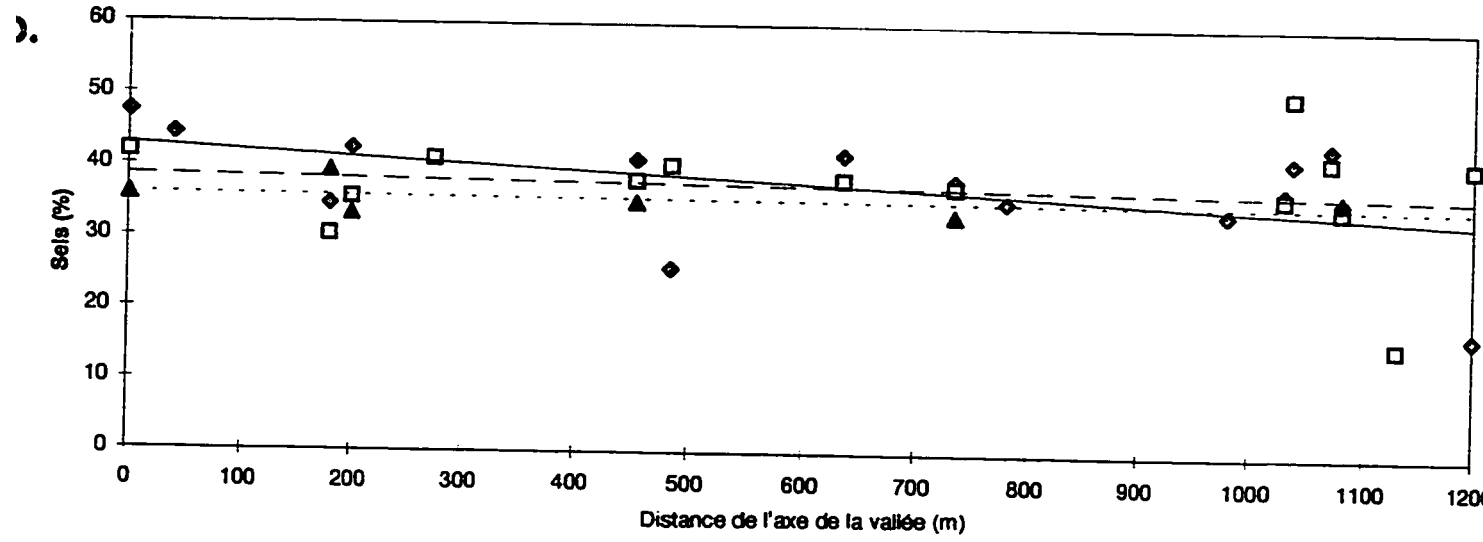
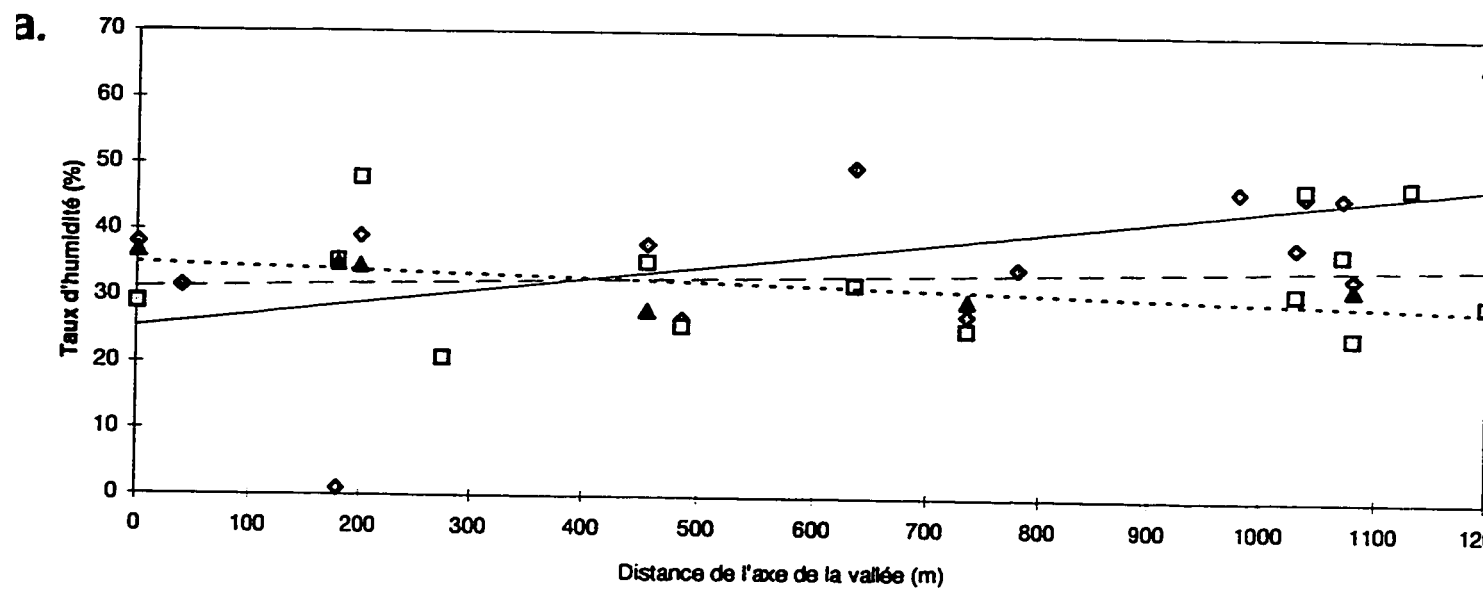
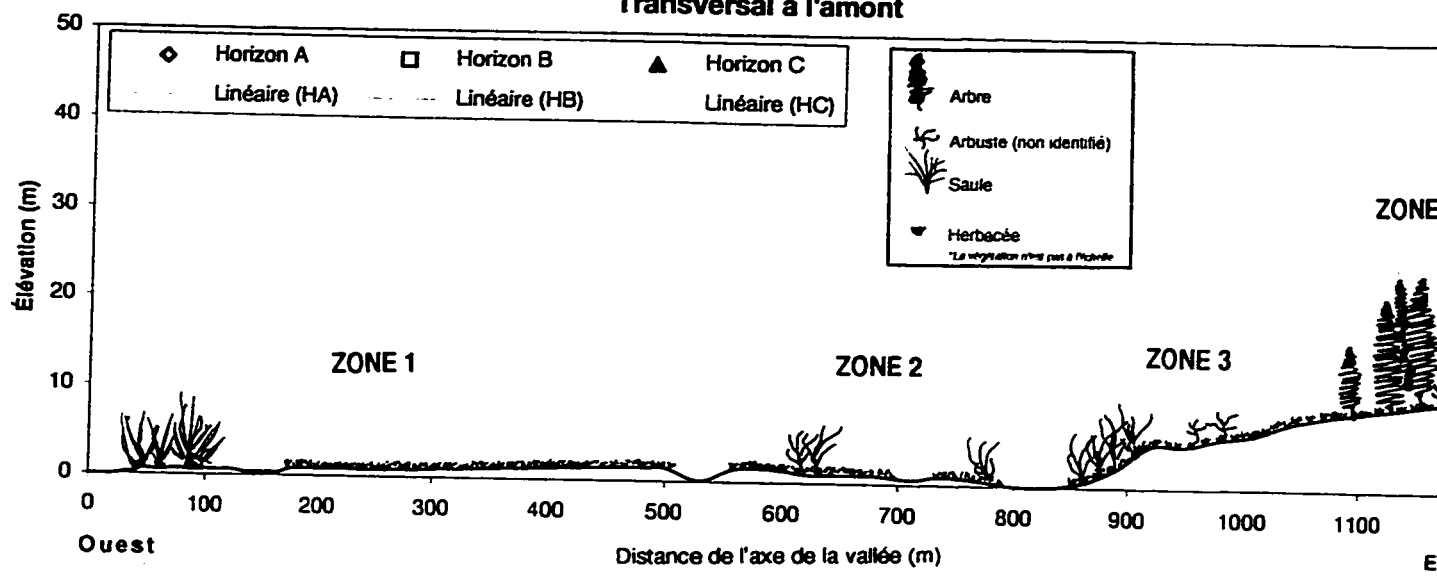


Figure 18: Coupe transversale du premier transect: a. Taux d'humidité par rapport à la distance de la glace; b. teneur en sels des échantillons par rapport à la distance de la glace .



Figure 19: Epandages de gravier formant des buttes dans la plaine alluviale

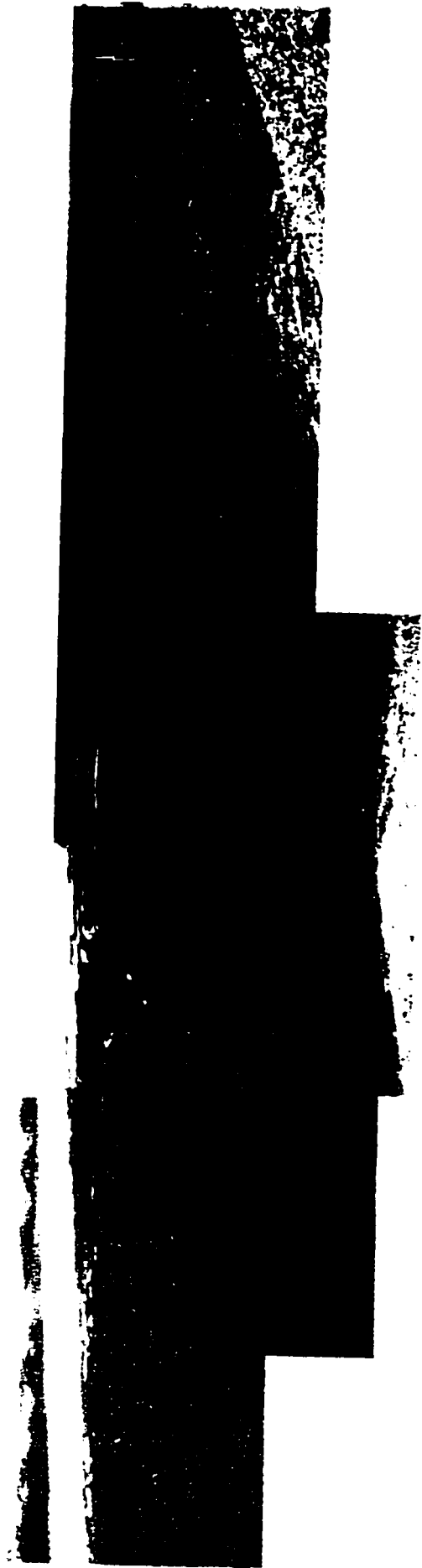


Figure 20: Le premier transect vu de côté. À gauche: la glace de nald. À droite: la limite des arbres. Pointé: une tourbière réticulée.

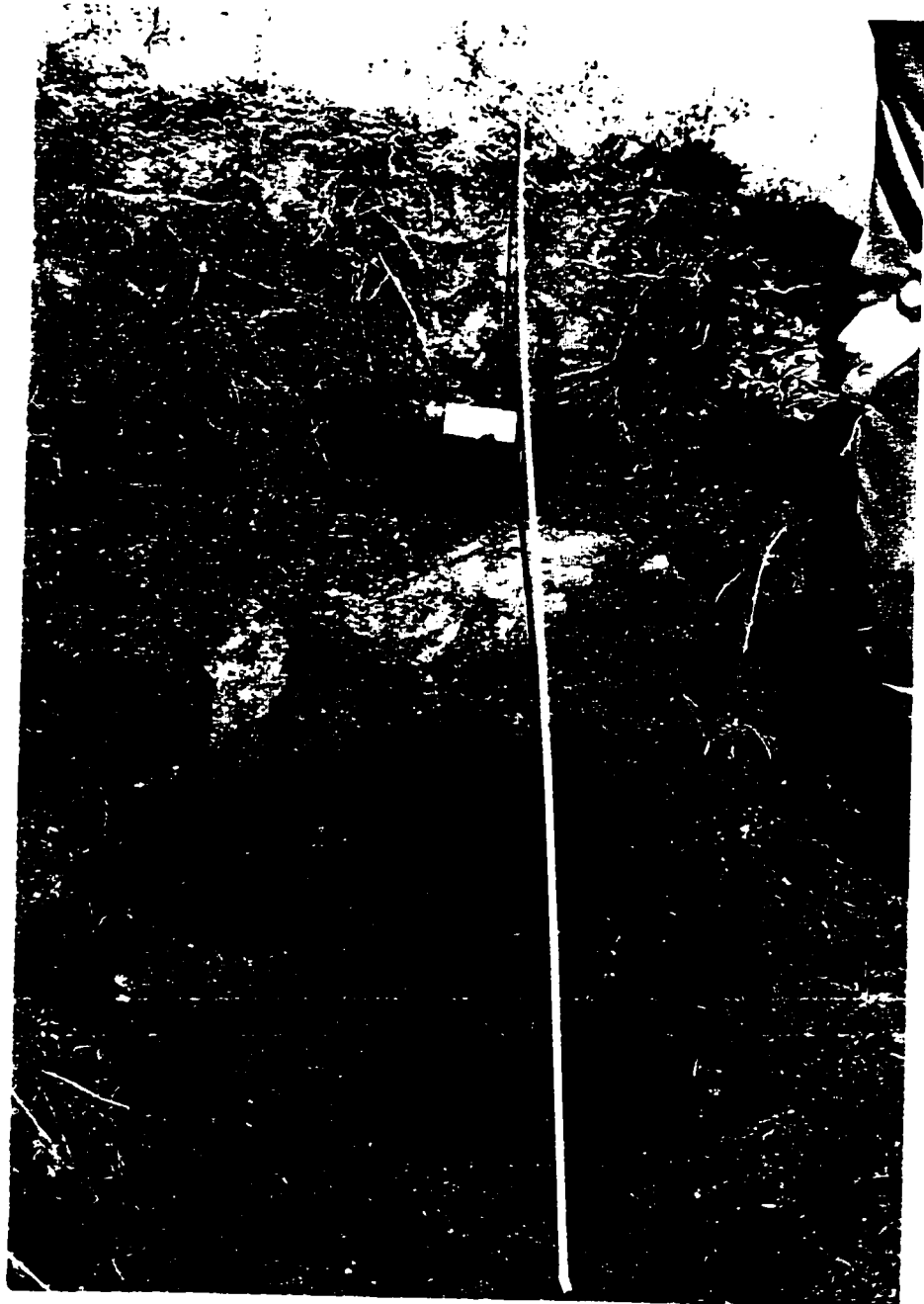


Figure 21: Processus de cryoturbation dans une coupe de sol du transect 1

Le transect se termine lorsque nous retrouvons la présence d'épinettes (1070 à 1200 m ). La distribution de la taille des particules de ces coupes de sol est semblable à la zone précédente et est dominée par les limons. À ces endroits, l'horizon le plus profond des coupes de sol (en particulier pour les deux derniers points d'échantillonnage) est beaucoup moins riche en sels que les coupes précédentes mais représentent quand même environ 15% du poids. La teneur en matière organique se situe environ au même niveau que la zone précédente, soit entre 15 et 20%. Le sol possède une couverture d'herbacées et est ponctué d'arbustes mais, dans ce dernier cas, nous notons aussi la présence d'arbres.

#### Deuxième transect: longitudinal

Le deuxième transect, qui a une longueur de 500 m et une pente général de 0,1°, nous a permis de cerner la composition des accumulations sur le lit de la rivière ainsi que la composition de la végétation le colonisant. Ici nous observons 3 zones distinctes (figure 22).

La première zone (0 à 310 m ) se situe aux endroits où les chenaux n'ont été que récemment asséchés. Nous retrouvons alors une grande quantité de matériel fluvial accumulé en petits monticules où la mousse et les arbustes commencent à prendre pied. Cette région ressemble beaucoup à la première zone du transect 1. La granulométrie est variable car certaines coupes ont une médiane qui se situe entre 2,5 et 3ø alors que pour d'autres coupes elle se situe autour de 5ø. La teneur en sels se situe entre 25 et 35% alors que le taux de matière organique est presque nul (~5%) (annexe 4). Il est à noter que le taux d'humidité tout au long du deuxième transect est à peu près stable et présente des valeurs qui se situent autour 30%.

La deuxième zone est caractéristique d'endroits où les chenaux sont asséchés depuis une longue période de temps (310 à 420 m ). La granulométrie du matériel est sableuse pour les deux premiers horizons (3 et -0,5ø) mais plus fine pour l'horizon C (4,5ø). La teneur en sels est encore très élevée et se situe entre 35 et 40%, alors que la matière organique se situe plutôt vers 5%. Cette zone est caractéristique d'une colonisation avancée par les arbustes (figure 23).

## DEUXIÈME TRANSECT DE LA RIVIÈRE FIRTH Longitudinal à l'amont

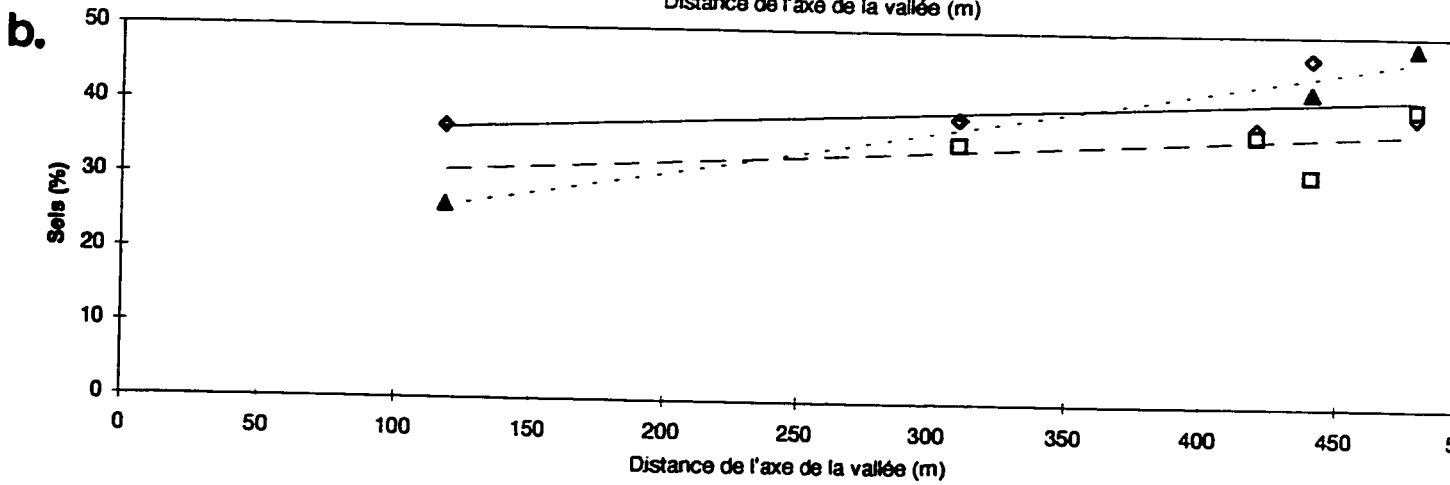
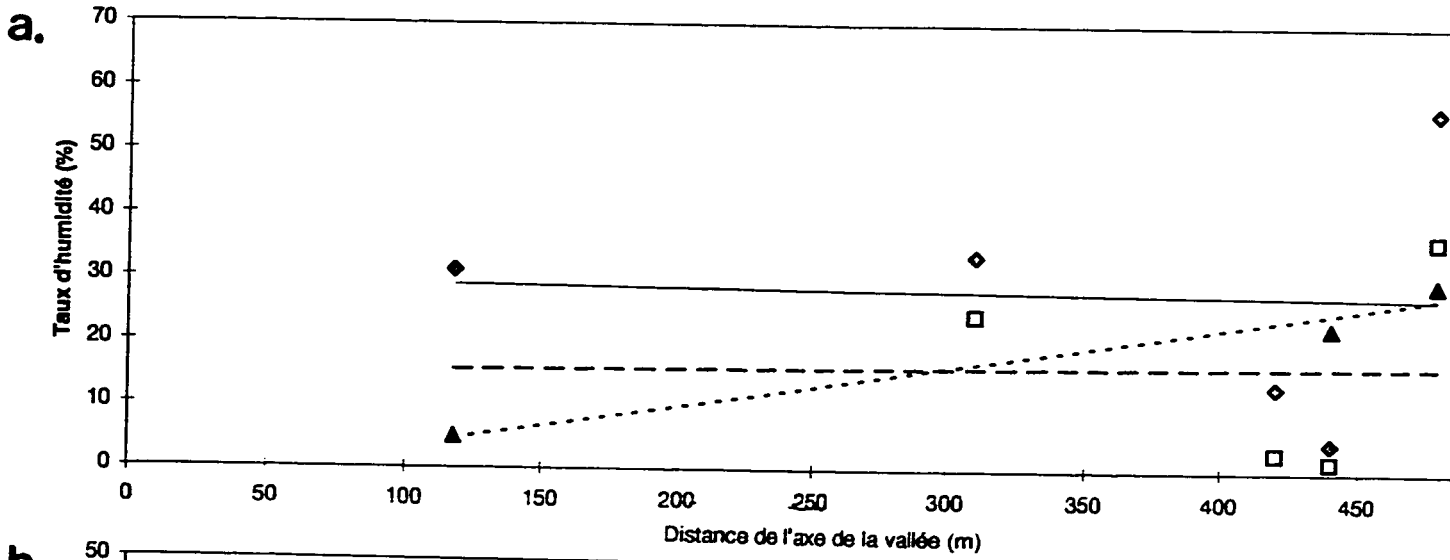
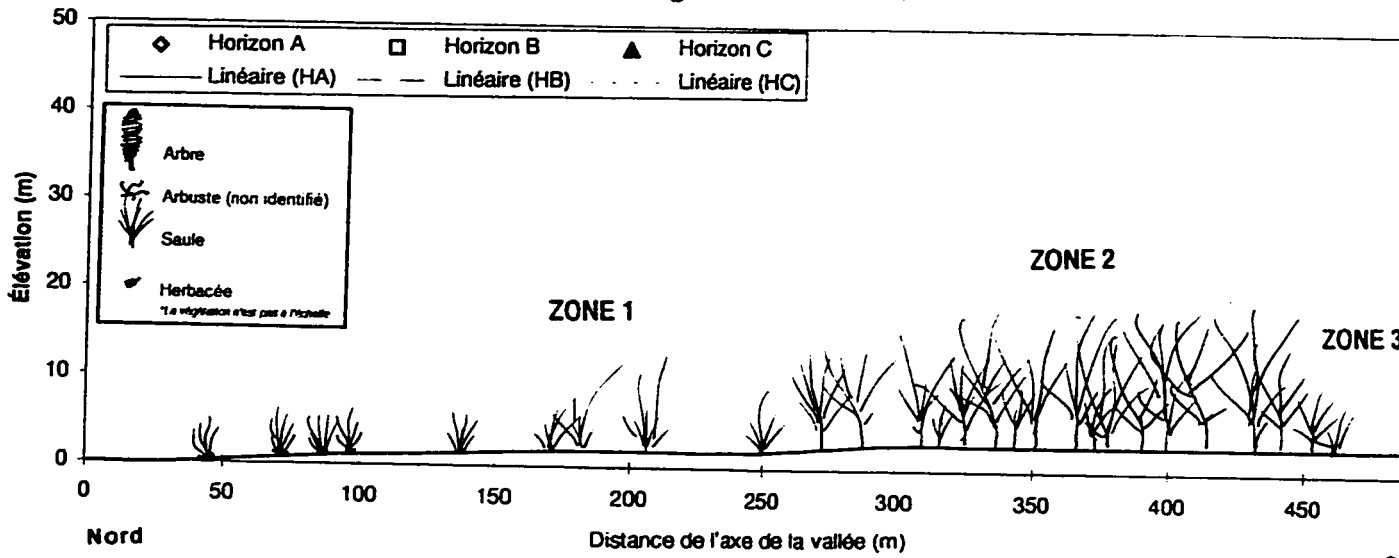


Figure 22: Coupe longitudinale du deuxième transect: a. Taux d'humidité par rapport à la distance de la glace; b. teneur en sels des échantillons par rapport à la distance de la glace .



Figure 23.      Vegetation le long du deuxième transect

Plus nous avançons vers l'amont plus cette végétation est dense. Le sol n'a aucune couverture herbacée sauf la mousse qui a réussi à s'accrocher au matériel le plus fin.

Finalement, la troisième zone se situe en marge de la terrasse alluviale (420 à 500 m ). La texture du matériel est limoneuse pour l'horizon A et B (7 $\theta$ ) et sableuse pour l'horizon C (4 $\theta$ ). Nous remarquons aussi la présence de coins de glace encaissés dans la berge. La teneur en sels se situe entre 35 et 45% et la matière organique est autour de 25%. La végétation est de type arbustive mais l'épinette colonise la zone jusqu'en marge de la terrasse.

En résumé, la section amont présente une région active au centre de la vallée où l'érosion fluviale joue un rôle majeur. En s'éloignant de cette zone, nous retrouvons une zone de transition ou de colonisation. Enfin, sur la première terrasse, les sols et la végétation se développent dans des conditions humides et l'effet du pergélisol y est remarquable.

### 5.2.2 La section centrale

La section centrale de la vallée est restreinte par la présence d'escarpements au sud-est et par une terrasse alluviale abrupte au nord-ouest. Le naled peut atteindre 3km de large à ce niveau et la glace a plusieurs mètres d'épaisseur. Le lit de la rivière est sillonné de chenaux anastomosés qui entaillent la glace latéralement. Les chenaux courent aussi en surface de la glace et sous celle-ci contribuant ainsi à son ablation. À la surface de la glace, nous remarquons généralement des dépôts de calcite précipitée. Cette calcite se redéposera éventuellement à la surface du sol lorsque la glace sera complètement fondue. C'est dans sa partie centrale que nous remarquons aussi la présence de plus petits naleds se formant dans des vallées latérales, dont l'eau de fonte se déverse dans dans la rivière Firth (figure 24).

#### Un îlot au centre de la vallée

La section centrale du naled n'est pas caractérisée par la présence de végétation. Si elle existe, elle était sous la glace lorsque nous avons effectué l'échantillonnage. Par contre la présence d'îlots est retrouvé à quelques endroits sur le lit de la rivière (figure 25). Un de ces



Figure 24 Naled de la Petite Poule se formant dans un affluent du cote nord-ouest du grand naled de la Firth



Figure 25. Ilot situé au centre de la vallée. Ce cliché a été pris en 1993. Lors de l'échantillonnage, en 1994, cet ilot était sous la glace.

flots a été échantillonné (figure 26) et sa stratigraphie est décrite à la figure 27. La coupe a environ 58 cm de profondeur et nous remarquons trois strates distinctes. La granulométrie de ces échantillons est relativement similaire soit limon et loam limon (voir diagramme triangulaire de la figure 27). Pour ce qui est de leur teneur en sels, l'horizon supérieur est plus concentré (42%) alors que la concentration des deux autres horizons décroît progressivement. Nous avons également daté au radiocarbone un petit lit de matière organique peu décomposée à 40 cm de la surface. L'âge absolu de ce lit est de 16084 +/- 392 ans B.P.

### 5.2.3 La section aval

Après que le lit de la rivière ait atteint sa largeur maximale, il se rétrécit assez lentement pour atteindre 1.7 km. Il se transforme par la suite en un petit chenal de quelques centaines de mètres qui semble être libre de glace la plupart du temps car les terrasse alluviales ne sont pas entaillées sérieusement. L'aval se caractérise par la présence de grands flots qui canalisent les chenaux. Ces chenaux tendent alors à s'encaisser en entaillant le pédiment de chaque côté. Ce pédiment est recouvert d'une terrasse alluviale qui est entaillée à son tour perpendiculairement par des ruisseaux formés de l'écoulement venant des versants. Nous remarquons aussi des sols polygonaux indiquant la présence du pergélisol sur les flots (figure 11).

#### Troisième transect: transversal

Nous avons effectué un transect transversal de 440 m de longueur et ayant une pente générale d'environ 1° au niveau d'un des grands flots au centre de la vallée. Ce transect part du centre de la vallée, à quelques mètres de la glace, et se déplace vers le chenal principal qui coule du côté nord-ouest du lit (figure 28). Nous divisons ici le transect en trois zones.

La première zone située au sud-est du plateau est recouverte par une végétation herbacée qui semble avoir été touchée soit par l'eau, soit par la glace (1 à 60 m). En effet, la végétation ne semble pas être en bonne condition et est plutôt noire et sèche. Les sols ont une granulométrie

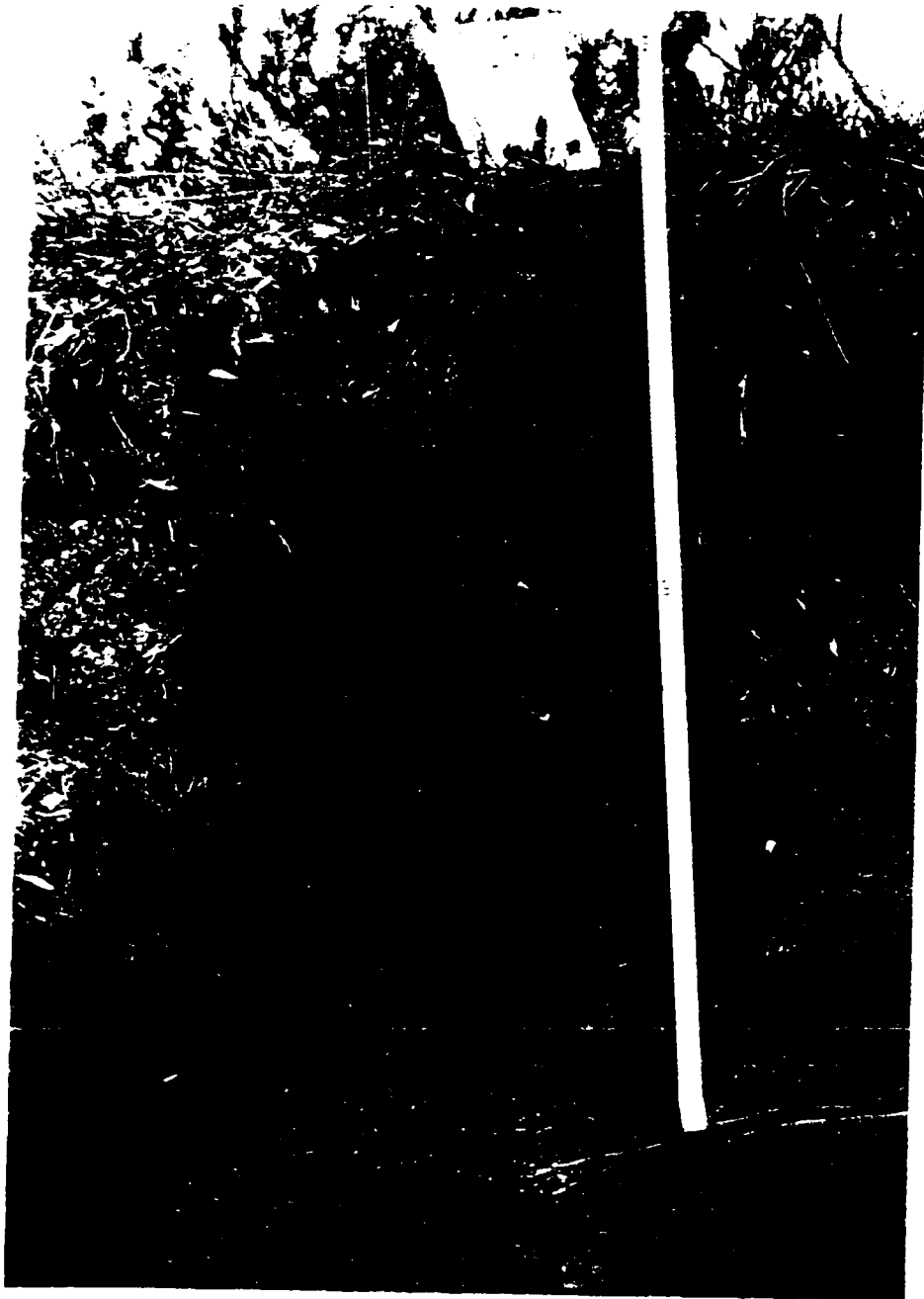


Figure 26: Coupe de sol dans un îlot au centre de la vallée.

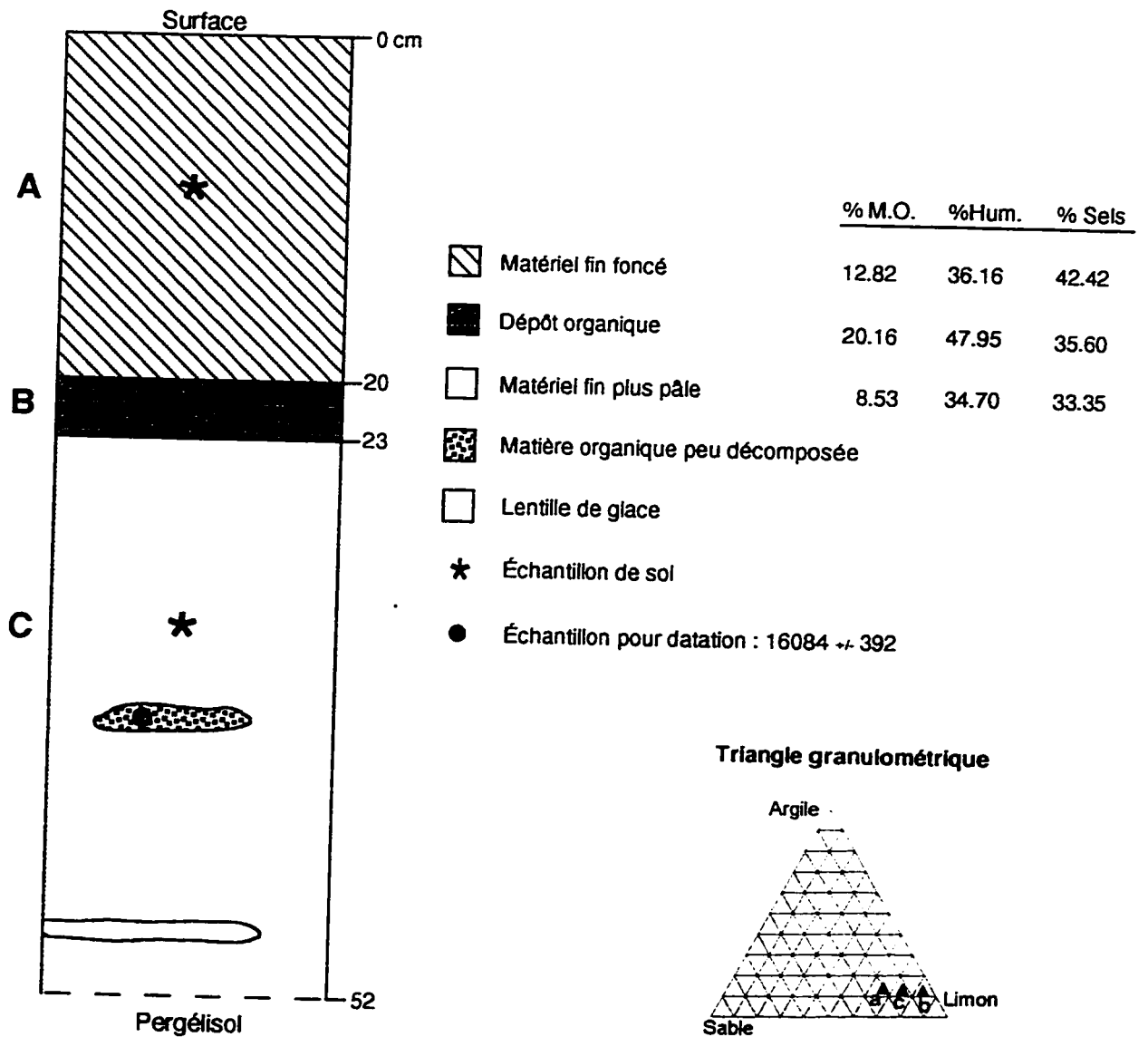


Figure 27: Stratigraphie de la coupe de sol de la figure 26 sur un îlot au centre de la vallée.

# TROISIÈME TRANSECT DE LA RIVIÈRE FIRTH

## Transversal à l'aval

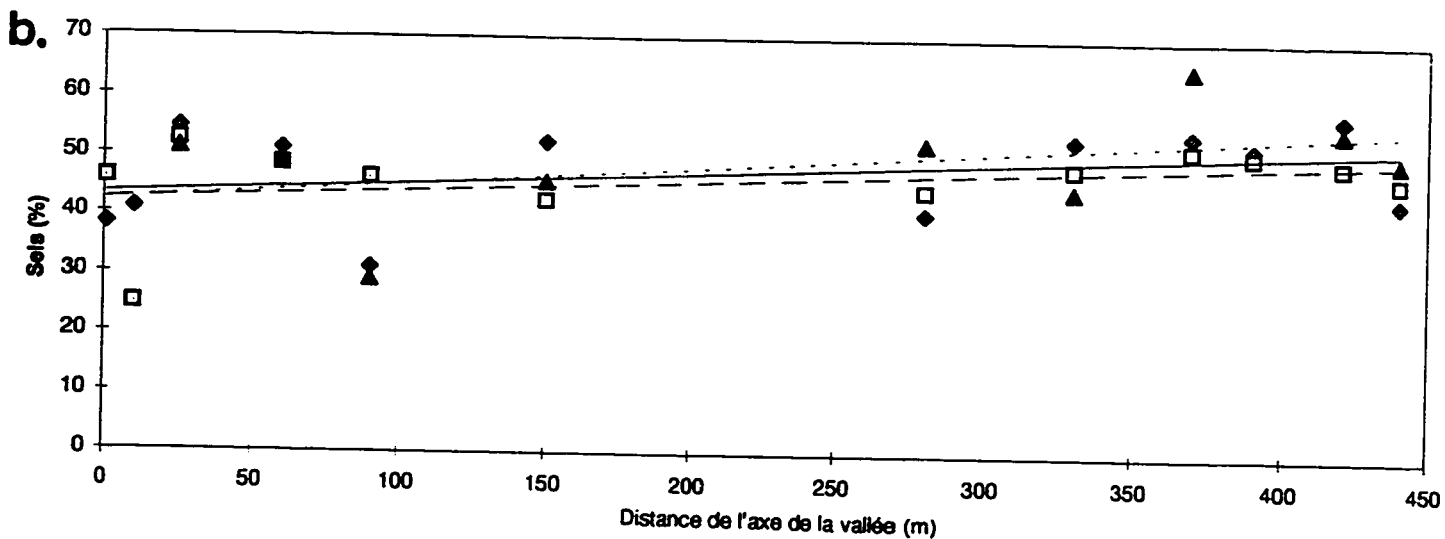
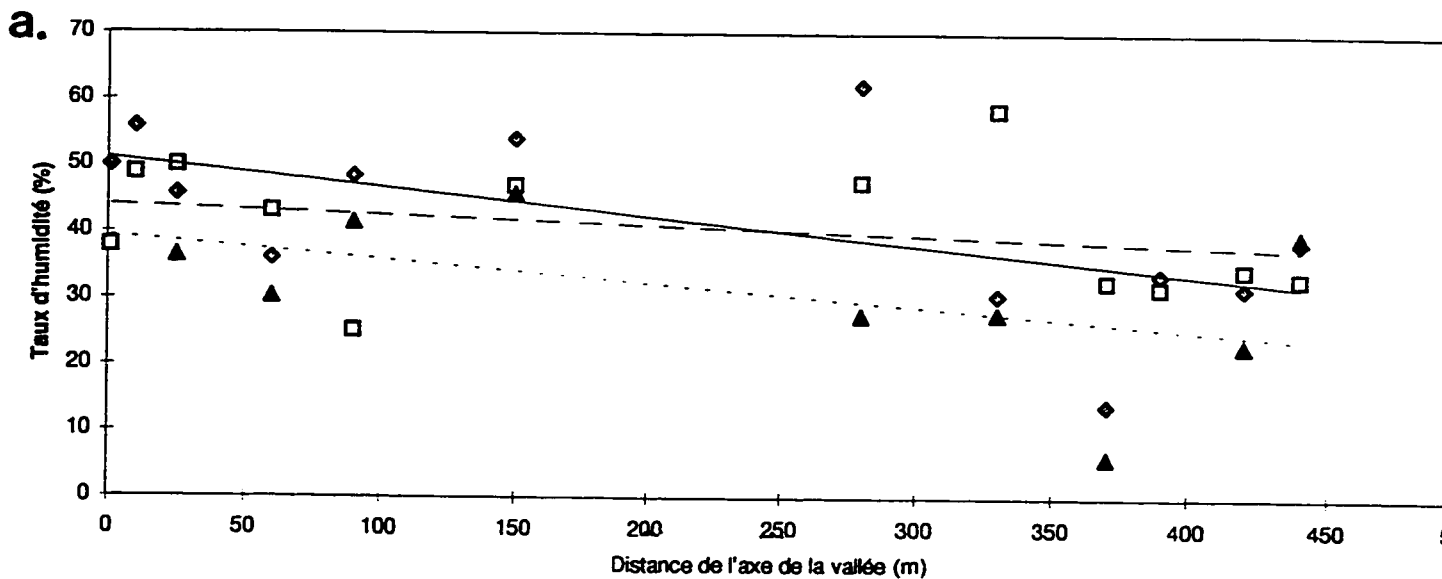
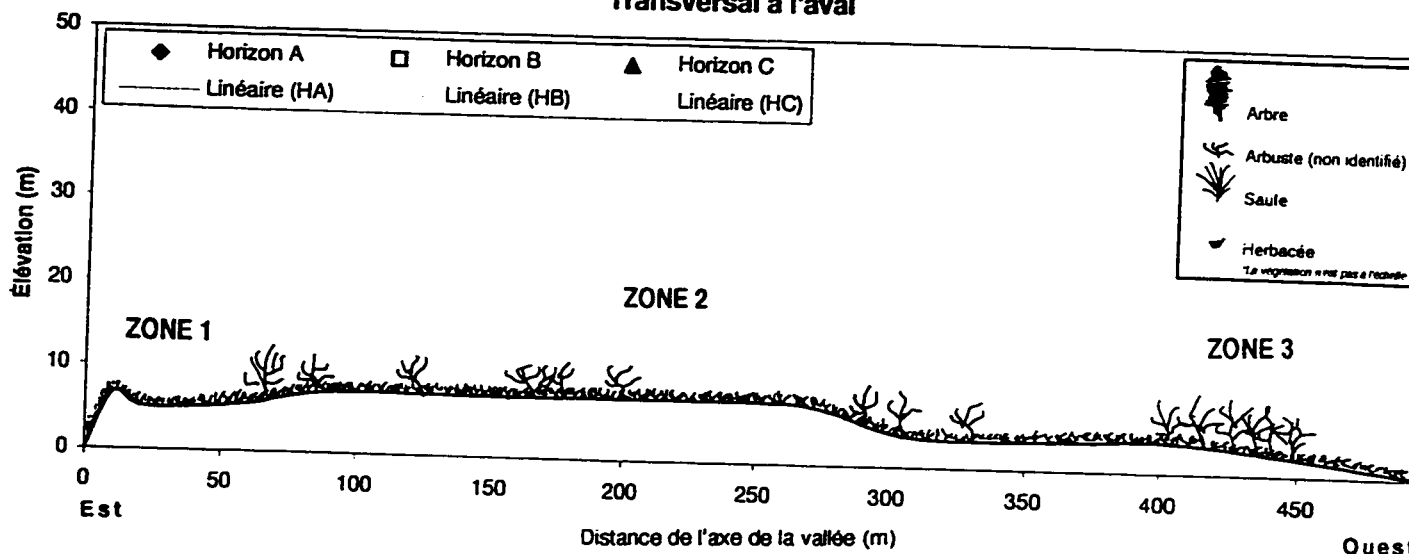


Figure 28: Coupe transversale du troisième transect d'échantillonnage: a. Taux d'humidité par rapport à la distance de la glace; b. teneur en sels des échantillons par rapport à la distance de la glace .

dont la médiane se situe entre (5 et 6 $\emptyset$ ) pour l'horizon A et B, alors que pour l'horizon C elle est plutôt entre 2 et 4 $\emptyset$ . Leur concentration en sels se situe entre 40 et 55% et leur teneur en matière organique varie entre 5 et 25%.

La deuxième zone se situe sur un plateau un peu plus élevé et est caractéristique de sols un peu mieux développés (60 à 370 m). La taille des particules ressemble beaucoup à celle de la zone précédente et la concentration en sels se situe aux environs de 40-50%. Ici, le taux de matière organique est plus élevé soit de 20 à 35%. À 370 m nous observons une concentration en sels solubles très élevée pour ce qui est des deux premiers horizons, soit respectivement 65 et 68%. Nous pouvons expliquer cette grande concentration par la présence de sédiments ayant été apportés récemment par l'eau ou la glace, soit des dépôts sur la surface de la végétation. Ces sédiments étaient probablement très riches en sels solubles et carbonates puisqu'ils ont été lessivés par l'eau coulant sur ou sous la glace de naled qui est elle très riche de ces ions. La végétation colonisant cette zone est principalement composée de plantes herbacées et de quelques arbustes (figure 29). Nous observons aussi la présence de hummocks et de fentes de gel.

La troisième zone (370 à 500 m ) se définit par une dénivellation importante qui se termine en marge du chenal principal de la rivière. Les sols sont ici composés de matériel ayant une médiane qui varie de 3 à 6 $\emptyset$ . La teneur en sels se situe entre 40 et 50% et le taux de matière organique entre 5 et 10%. Ici, la végétation est de type herbacé, avec la présence de quelques arbustes, et montre des marques d'inondations très récentes.

### 5.3 Sommaire

En bref nous remarquons des relations entre les variables, surtout au niveau de la distance de l'axe de la vallée. La granulométrie et la concentration en sels sont particulièrement mis en évidence.

Des transects étudiés ressortent aussi des indices de différenciation tant au niveau de la végétation que des sols. Le tableau 2 donne, horizon par horizon, transect par transect, la moyenne et l'écart-type pour les caractéristiques des sols: teneur en sels, humidité et teneur en



Figure 29: Végétation se développant sur l'îlot du transect 3. Remarquez la présence de hummocks.

matière organique. Nous remarquons que la teneur en sels est plus importante au niveau du troisième transect qu'à celui de deux premiers. Le taux d'humidité semble aussi plus élevé au niveau du troisième transect quoique la dispersion soit élevée (en moyenne 41,74 +/- 13,48%). Finalement, le taux de matière organique ne varie pas beaucoup au niveau des transects mais diminue avec la profondeur.

#### Teneur en sels

Horizon	Transect 1	Transect 2	Transect 3	
<b>A</b>	37,37	39,75	47,43	Moyenne
	7,74	4,14	8,21	Ecart-type
<b>B</b>	37,34	35,75	46,03	Moyenne
	7,76	3,77	7,28	Ecart-type
<b>C</b>	35,59	39,05	49,22	Moyenne
	2,21	11,56	9,64	Ecart-type

#### Teneur en eau

Horizon	Transect 1	Transect 2	Transect 3	
<b>A</b>	37,52	27,89	41,74	Moyenne
	14,04	20,19	13,48	Ecart-type
<b>B</b>	33,54	16,34	40,85	Moyenne
	8,83	16,95	9,79	Ecart-type
<b>C</b>	32,78	19,14	30,90	Moyenne
	3,33	12,72	11,90	Ecart-type

#### Teneur en matière organique

Horizon	Transect 1	Transect 2	Transect 3	
<b>A</b>	11,68	10,65	15,17	Moyenne
	6,09	7,68	10,39	Ecart-type
<b>B</b>	9,41	3,98	12,59	Moyenne
	6,64	4,84	5,88	Ecart-type
<b>C</b>	7,42	2,69	6,13	Moyenne
	1,45	1,80	4,36	Ecart-type

Tableau 2: Statistiques descriptives de trois propriétés de sol, horizon par horizon, coupe par coupe.

## CHAPITRE 6

### DISCUSSION

Au chapitre précédent nous avons présenté les résultats globaux ainsi que les caractéristiques de chacun des transects. Comment ces résultats répondent-ils à notre problématique? La glace de naled de la rivière Firth a-t-elle un impact sur les sols et la végétation de la vallée? Nous avons mentionné au premier chapitre trois voies de recherche nous aidant à vérifier notre hypothèse de travail: les îlots au centre de la vallée, les sols et la végétation qui environnent le naled. C'est dans ce cadre que nous discuterons des résultats obtenus. Nous mentionnerons d'abord les îlots au centre de la vallée et ce qu'ils représentent pour l'évolution de l'environnement du naled. Ensuite nous mettrons en évidence les propriétés des sols pouvant être des indicateurs de la glace. Puis, nous discuterons de la végétation se développant le long des transects et tenterons de voir si la glace a un impact sur celle-ci.

#### 6.1 Quand la rivière s'est-elle entaillée?

La genèse des îlots qui se trouvent au centre de la vallée est méconnue. Ils ne sont pas mentionnés dans la littérature sur les naleds mais semblent être des éléments pouvant permettre de cerner l'évolution de la vallée, surtout au niveau de son encaissement. Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, les dépôts des îlots sont semblables à ceux du pédiment au niveau du taux d'humidité, de la teneur en matière organique, de la teneur en sels et de la taille des particules des horizons qui sont limoneux. Nous remarquons, en amont ainsi qu'en aval, que des sols polygonaux se sont développés. C'est aussi le cas à de nombreux endroits sur le pédiment, par exemple sur la berge sud-est en aval, indiquant que le pergélisol y est présent. L'âge radio-carbone de 16084 +/- 392 B.P., obtenu à partir d'un petit lit de matière organique à 40cm de profondeur, nous permet d'arguer que la rivière a entaillé cet îlot postérieurement à cette date.

En d'autres mots, à 16 084 +/- 392 B.P. la rivière Firth ne coulait pas au niveau où nous la connaissons maintenant. Elle faisait peut-être son lit à un autre endroit mais il est difficile

d'avancer quoi que ce soit à ce sujet. Par contre, nous savons que les conditions climatiques à cette époque, soit le pléniglaciaire (Clague, 1989), étaient probablement trop froides pour permettre un écoulement souterrain assez important pour alimenter les résurgences. Il est cependant possible que la rivière Firth ait coulé de façon intermittente, l'eau venant probablement de l'écoulement de surface. Étant donné les conditions climatiques plus froides qui auraient éventuellement pu provoquer une aggradation du plafond et de la base du pergélisol, il est peu probable qu'un naled formé des eaux subpergélisolés aurait pu se mettre en place.

Cet îlot au centre de la vallée donne donc une échelle de temps concernant le développement de la rivière Firth en établissant la condition qui prévalaient à 16 084 +/- 392 B.P. À une échelle de temps plus courte, ce sont les sols et la végétation qui serviront d'indicateurs à l'extension du naled. Nous pouvons donc affirmer que le naled, tel que nous le connaissons, s'est formé postérieurement à cette date et que son effet sur les sols et la végétation aurait débuté à l'époque de sa formation.

## **6.2 Les sols en tant qu'indicateurs de la présence de la glace**

Nous avons étudié les sols pour évaluer l'impact de la glace sur leur constitution. En d'autres mots, nous essayons de reconnaître une signature qui permettrait d'identifier des sols pouvant montrer l'effet récent ou ancien de la glace de naled. L'analyse globale des résultats montre des relations entre les variables comme le pH et la matière organique, ou la matière organique et l'humidité. Ces relations ne donnent pas beaucoup d'indices pour répondre à notre question de recherche. Dans notre cas, ce sont les relations entre les propriétés des sols et la distance de l'axe de la vallée qui nous intéressent le plus puisqu'elles contribuent à définir une évolution différentielle le long des transects. Deux propriétés ressortent de nos résultats: la granulométrie et la teneur en sels.

### 6.2.1 La granulométrie

Les différences dans la taille des particules sont le reflet des conditions de dépôt (Tricart, 1965). Elles sont pour nous des indicateurs de la dynamique de l'eau ou de la glace sur l'environnement du naled. La granulométrie des échantillons permet donc de caractériser celle-ci. Les trois transects montrent des différences entre la taille des particules le long des transects. Nous pouvons attribuer ces différences au type de transport des sédiments.

La variété dans la distribution granulométrique est surtout remarquable au niveau du premier horizon (A) des deux transects situés à l'amont. Dans la partie proximale de la glace, nous observons une variété de distributions dans la taille des particules (annexe 3). En effet nous remarquons des courbes de type sigmoïdal caractéristiques d'une accumulation libre, des courbes de type logarithmique qui représentent des dépôts fait en vrac (sans processus de triage) et, finalement, des courbes à tendance parabolique caractéristiques d'une accumulation forcée, c'est-à-dire où une entrave a bloqué brusquement le transport du matériel et qui sont caractéristiques de l'écoulement fluvial (Tricart, 1965).

Cette variabilité granulométrique, notée aux sites les plus près de la glace, peut donc être expliquée par la présence de plusieurs types de dépôts. Les courbes logarithmiques pourraient être le reflet de dépositions laissées par la glace lors de son ablation tel que mentionné par Åkerman (1980) dans ces travaux. Elle laisserait alors des buttes dont le matériel, qui aurait été transporté par l'eau et possiblement par le vent, se serait accumulé dans des excavations de la glace lors de la formation du naled. Quant aux courbes sigmoïdales, elles enregistrent un type de transport sélectif assez fort pour entraîner les particules les plus fines mais trop faible pour déplacer les plus grosses. En s'éloignant de la glace les courbes se regroupent et montrent une distribution parabolique. Nous pouvons attribuer un mode de transport fluvial à ce regroupement. Cette hypothèse est tout à fait plausible puisque la pente du pédiment est peu accentuée. Donc, au niveau de l'incision de la rivière et en direction des versants encaissants, l'eau aurait probablement été le mode de transport du matériel.

Au niveau de l'horizon B et C, le transect 1 montre la même évolution différentielle en s'éloignant de la glace mais de façon un peu moins évidente. En effet, pour les derniers sites, nous remarquons un groupement de forme parabolique serré pour l'horizon A et les horizons B et C tendent vers la courbe logarithmique. Cette dernière indique peut-être un mode de transport en vrac qui n'est pas nécessairement associé au naled, puisque, comme discuté à la section précédente, le matériel était possiblement déjà en place avant la formation du naled.

À l'aval, le transect 3 montre une distribution inverse au niveau de la granulométrie. Les courbes les plus près de la glace sont de type parabolique alors que celles situées plus près de la terrasse varient entre le type logarithmique et sigmoïdal. Une explication à ce renversement serait l'impact de l'eau circulant dans le chenal principal situé près de la berge nord-ouest sur les sites qui lui sont adjacents. Une autre explication est la présence possible de la glace qui se serait étendue jusqu'à l'endroit où le chenal principal coule maintenant, protégeant ainsi l'îlot et faisant fluctuer l'intensité du flot en l'entravant périodiquement. Ces fluctuations pourraient être enregistrées au niveau des courbes de distribution sigmoïdale en marge de la berge. (Tricart, 1965).

En résumé, la granulométrie des sols environnants la glace de naled montre des variations qui peuvent être en partie expliquées par le mode de déposition des sédiments qui les constituent. Il est possible que la glace ait joué un rôle en protégeant certaines zones et en concentrant l'érosion et le transport dans d'autres zones.

#### **6.2.2 Les sels solubles sont-ils une signature de la glace?**

Des autres propriétés qui ont été étudiées, la concentration en sels est probablement la plus significative dans le cadre de notre étude. Les résultats montrent en effet une relation directe avec la distance du centre de la vallée dans le cas du transect 1. Cette haute concentration en sel pourrait être le résultat de la précipitation de calcite que nous retrouvons sur la glace du naled et qui est déposée sur le sol lors de sa fonte. Par un processus d'illuviation, ces précipitations sont ensuite concentrées dans les horizons inférieurs des sols. Pour cette raison,

nous retrouvons parfois une concentration plus élevée de sels dans l'horizon B que dans l'horizon A pour certains de nos échantillons, surtout dans le cas du transect 1 au niveau de la vallée.

Au niveau du transect 2, la concentration en sels contenue dans les échantillons paraît augmenter lorsque nous allons vers l'amont. Cette augmentation s'explique par la présence de petits nalds à l'amont. La concentration en sels de leur glace peut affecter les dépôts de surface situés un peu plus bas.

Confirmant cette hypothèse, le transect 3 possède une concentration moyenne de sels plus élevée que les deux autres transects (tableau 3). Nous pourrions expliquer cette augmentation par l'effet de sursaturation de l'eau. En effet, la majeure partie de la nappe de glace étant située à l'amont du transect 3, il est possible que l'eau coulant sur la glace transporte une grande quantité de sels qui s'accumulent par la suite à l'aval. Les sels peuvent alors être déposés à la surface du sol et contribuer à une augmentation de la concentration. Cette dernière est par contre plutôt stable le long du transect, ce qui peut s'expliquer en grande partie par la courte distance de celui-ci.

La concentration en sels solubles est une variable qui indique la présence récente ou ancienne de la glace de nald. Elle est très élevée au niveau de trois horizons et transects. Il va sans dire que la roche mère étant calcaire, il est possible qu'une portion de cette teneur en sel soit attribuable au type de minéraux qui composent les sols. Par contre, la matrice de corrélation montre une relation significative, négative, entre la teneur en sels et la distance de la glace. De plus, cette relation avec la distance de la glace est exclusive, c'est-à-dire que la teneur en sels ne montre aucune autre relation significative (sauf avec le pH comme nous l'avons expliqué au chapitre 5) avec les autres variables étudiées. Cette exclusivité semble exprimer que la haute concentration en sel et son augmentation vers l'axe de la vallée ne peuvent qu'être la conséquence d'un agent extérieur comme l'eau ou la glace de nald. La concentration importante en sels et sa relation négative avec la distance de l'axe de la vallée pourraient donc être une signature de la présence de la glace.

### 6.3 La végétation: l'effet de la glace sur son développement

La végétation environnant le naled montre des zones de développement distinctes qui peuvent être attribuable à l'action séparée ou combinée du pergélisol, de l'eau et de la glace du naled. Dans son article sur le pergélisol et la végétation, Tyrtikov (1978) mentionne plusieurs facteurs directement reliés au pergélisol et qui affectent le développement de la végétation. Ces facteurs sont: la dessiccation du sol par le froid, le thermokarst, les glissements de terrain, la solifluction, les soulèvements du sol par le gel et l'action de naleds. En ce qui concerne l'action des naleds sur la végétation, l'auteur indique que c'est un habitat de végétation supportant une saison de croissance beaucoup plus courte, une température plus basse et un plus haut taux d'humidité qui se développerait autour de la glace.

Dans notre cas, l'étude de la végétation le long des transects d'échantillonnage permet de mettre en évidence trois secteurs de végétation dans la vallée du naled: la végétation de la plaine alluviale, celle des îlots au centre de la vallée et celle des pédiments. Cette végétation peut être ou non le reflet de la présence ou de l'absence de la glace de naled. C'est surtout le niveau de développement des plantes, des arbustes et des arbres qui sera un indicateur.

#### Végétation de la plaine alluviale

Sur le lit de la rivière, près de la glace, nous retrouvons une végétation typique de plaine alluviale (Wiken *et al.*, 1981) largement dominée par les saules (voir les zones 1 des transects 1 et 2). Ceux-ci requièrent un taux d'humidité important (Hosie, 1990) mais ne se développent pas aux endroits où l'eau circule couramment. Nous les retrouvons plutôt sur des buttes dont le matériel est accumulé par le transport de l'eau au centre des chenaux asséchés. Nous remarquons aussi une différence entre le développement des saules en nous dirigeant vers l'amont, le long du transect longitudinal. Ceux-ci ont un meilleur développement puisqu'ils atteignent jusqu'à 4m de hauteur. Ce développement permet de constater l'absence de l'impact de la glace, au moins depuis quelques années, puisque les arbustes n'ont pas subi son effet destructeur.

En marge du lit de la rivière, nous trouvons une zone de transition (voir zone 2 du transect 1) où la végétation est dominée par les herbacées et par les arbustes qui prennent pied juste au dessous de la première terrasse. En marge de cette zone, des dépôts frais de calcite sur le sol et sur la végétation nous permettent de conclure à la présence récente de la glace, puisque les dépôts n'ont pas encore eu le temps de s'infiltrer dans le sol. La partie de la zone juste en dessous de la terrasse alluviale (800m du centre de la vallée) montre par contre une végétation ayant un développement plus avancé, où les saules de 1,5 à 2m de hauteur et les plantes herbacées sont dominantes. Étant donné le développement plutôt avancé des arbustes, il semblerait que cette portion de la zone n'a pas été touchée par la glace pendant au moins quelques années.

#### La végétation des îlots

La végétation sur les îlots au centre de la vallée est caractéristique d'un environnement annuellement affecté par la glace. La végétation est de type herbacé et le *Dryas* domine, mais nous retrouvons aussi la présence d'arbustes peu développés qui ponctuent les îlots (voir le transect 3). À l'aval, des précipitations de calcite ont été déposées à la surface de l'îlot dans une section du transect située à quelques mètres de la nappe de glace. Pour ces deux raisons, il est possible que la glace ait été présente sur le plateau plus tôt dans la saison. Nous avons aussi remarqué que des portions de la végétation colonisant cet îlot étaient en mauvais état, soit desséchée et noire. Ces caractéristiques, en particulier les dépôts de calcite, ont aussi été notées sur des îlots en amont. De plus, la variété dans le type de végétation, soit plusieurs espèces d'herbacés et des arbustes, permet de croire que beaucoup d'espèces survivent au recouvrement par la glace et reprennent vie lorsque celle-ci fond.

#### La végétation des pédiments

L'effet du pergélisol, dont nous avons discuté un peu plus tôt, est prédominant sur la végétation qui croît sur les pédiments. Nous remarquons à certains endroits des indices de la

dégradation du pergélisol où nous notons la présence d'eau en surface. À certains endroits, nous remarquons la présence de tourbières qui sont colonisées par une végétation dominée surtout par les herbacées et la mousse, avec la présence de quelques arbustes (voir la zone 3 du transect 1). Nous ne pouvons dire si ces endroits ont été touchés par la glace.

Dans les zones plus sèches, en direction des versants, la présence d'épinettes sur couverture d'herbacées ponctuée d'arbustes élimine définitivement la possibilité de la présence de la glace pendant la durée de vie de ces arbres. En effet, s'ils avaient survécu à une extension de la glace, les arbres montreraient sûrement des cicatrices au niveau de leur troncs. Dans notre cas, c'est la présence d'arbres en vie et l'absence de cicatrices qui nous permet de conclure à l'absence de la glace. La végétation semble donc montrer des zones de développement qui sont des indicateurs de la présence de la glace. Par contre, mis à part les marques de destruction, il est difficile de l'utiliser en tant qu'indicateur. Si nous pouvions identifier les espèces qui sont tout à fait résistantes au recouvrement par la glace, il serait peut-être possible de cibler les endroits où la glace a eu un impact à court terme, puisque nous retrouverions ces espèces en dominance.

En bref, nous pouvons dire que la glace du naled de la rivière Firth a un impact sur les sols et la végétation de la vallée. En effet, sa présence est notée surtout au niveau de la teneur en sels des sols qui semble être l'indicateur le plus fiable alors que la granulométrie donne plutôt une idée de la dynamique de déposition. Le développement de la végétation aide aussi à déterminer la présence-absence de la glace même s'il est difficile de mettre en valeur une évolution différentielle de la végétation le long des transects.

## CHAPITRE 7

# CONCLUSIONS

Avec cette étude nous cherchons à savoir si la glace du naled de la rivière Firth a un impact sur les sols et la végétation de la vallée. Pour cibler cet effet, nous avons posé l'hypothèse que l'environnement proximal du naled montre une évolution différentielle des variables étudiées en partant de l'axe de la vallée et en se dirigeant vers les versants qui la limitent. Cette hypothèse a été mise à l'épreuve par l'étude de la constitution d'îlots au centre de la vallée, des caractéristiques des sols et du développement de la végétation le long de trois transects s'éloignant de l'axe de la vallée.

Les résultats indiquent que la constitution des sols des îlots au centre de la vallée est similaire à celle des sols du pédiment. Une datation radiocarbone d'un lit de matière organique a permis de déterminer l'encaissement de la rivière postérieur à 16084  $\pm$  340 B.P. Le naled serait donc mis en place après cette époque qui était trop froide pour permettre à l'eau sous le pergélisol de circuler et de résurgir.

Pour ce qui est des propriétés des sols, deux variables indiquent une évolution différentielle le long des transects: la granulométrie et la teneur en sels. D'abord la granulométrie met en évidence plusieurs modes de déposition le long des transects. Il en ressort que la déposition est surtout de type fluvial sur les pédiments, alors que sur la plaine alluviale nous pouvons observer des modes de déposition où la glace aurait pu jouer un rôle obstruteur ou d'accumulation. Enfin, la teneur en sels des sols montre une relation inverse avec la distance de la glace: elle diminue en direction des versants. Parce que nous retrouvons des précipitations de calcite laissées par la glace sur la plaine alluviale, la haute concentration de sels dans les sols ne s'explique que par la présence à une époque donnée de la glace.

Les variations au niveau du développement de la végétation qui croît le long des transects sont mises en évidence sur trois secteurs: la plaine alluviale, les îlots au centre de la vallée et le pédiment. La plaine alluviale est dominée par des saules dont le stade de développement est plus avancé vers l'amont. Nous observons aussi une zone de transition entre la plaine alluviale et le pédiment. Cette zone est dominée par les herbacées. La végétation sur le pédiment montre une évolution qui passe d'herbacée à arborescente et qui est affectée par le pergélisol. Sur les îlots au centre de la vallée les espèces herbacées, surtout le *Dryas*, dominant. Ces espèces semblent résistantes au recouvrement par la glace et reprennent vie après sa fonte. L'évolution de la végétation le long des transects donne des indications sur la présence ou sur l'absence de la glace. À cause de l'impact destructif de celle-ci nous pouvons estimer, à court terme, la présence de la glace à certains endroits le long des transects.

La diminution générale de la teneur en sels, l'évolution dans la distribution de la taille des particules et le développement de la végétation le long des trois transects d'échantillonnage, permettent de vérifier notre hypothèse de travail. Pour répondre à notre question de recherche, soit si la glace du naled de la rivière Firth a un impact sur les sols et la végétation de la vallée, nous devons admettre que seul la teneur en sels et la végétation sont des indicateurs directs de sa présence. La distribution granulométrique est sans aucun doute indirectement reliée à la glace mais n'indique pas d'une façon aussi claire sa présence.

Pour conclure, notre thèse est une première ébauche, à notre connaissance, de l'étude des sols et de la végétation en tant qu'indicateurs de la présence de naled. Par contre, nous ne prétendons pas que les caractéristiques relevées ne s'appliquent qu'à ce type d'environnement. Au cours de cette étude, quelques problèmes ont été soulevés. Notamment, nous n'avons pas de point de comparaison entre la constitution des sols de la vallée de la rivière Firth et d'une vallée de la même région où il n'y aurait pas eu présence de naled. Nous ne pouvons donc pas savoir si la concentration en sels des sols serait moins élevée que dans notre cas. Ensuite, nous détenons

très peu d'information sur le débit et le climat au niveau du millénaire. Il est donc difficile de savoir à quelle époque le naled s'est formé et, par conséquent, d'estimer l'amplitude de son effet sur les sols. Enfin, il serait intéressant de cibler, du point de vue de leur granulométrie, les dépôts de surface qui se sont mis en place lors de l'ablation de la glace et qui sont donc des indicateurs tangibles de sa présence. Retrouver ces dépôts sur le pédiment pourrait nous donner une perspective précise de l'extension des naleds.

## BIBLIOGRAPHIE

- ÅKERMAN, J., 1980. *Studies on periglacial geomorphology in west spitsbergen*. Thèse Ph.D. The Royal University of Lund, Sweden, Department of Geography.
- ÅKERMAN, J., 1982. Studies on naledi (icings) in West Spitsbergen. *4th Canadian Permafrost Conference*, pp.189-202.
- ALEKSEYEV, V.R., 1973. Condition involved in formation and distribution of naleds in southern Yakutia. *Siberian Naleds*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 399, pp. 31-41.
- ALEKSEYEV, V.R. et TOLSTIKHIN, O.N., 1973. Question of terminology in study of naleds. *Siberian Naleds*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 399, pp. 6-14.
- ARE, F.E., 1973. Mechanism of development and degradation of naleds in Ulakhan-Taryn springs. *Siberian Naleds*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 399, pp. 158-171.
- A.C.G.R. (Associate Committee on Geotechnical Research), 1988. *Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms*. National Research Council Canada, Ottawa, Technical Memorandum No. 142.
- ATKINSON, H.J., GILES, G.R., MacLEAN, A.J. et WRIGHT, J.R., 1958. *Chemical methods of soil analysis*. Contribution No. 169 (Revised), Chem. Div., Sci. Serv., CDA, Ottawa.
- BRIGGS, David, 1977. *Sources and Methods in Geography: Sediments*. éditions Butterworths, Toronto, 190 p.
- C.E.P.P. (Comité d'experts sur la prospection pédologique), 1992. *Le système canadien de classification des sols*. Seconde édition, Agriculture Canada, publication 1646, 170 p.
- CHISTOTINOVA, L. T. et TOLSTIKHIN, O. N., 1973. Certain questions in formation of chemical composition of naled ice (an example of naled in Ulakhan-Taryn and central Yakutia). *Siberian Naleds*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 399, pp. 172-183.
- CLARK, I.D. et LAURIOL, B., 1997. Auefs of the Firth River basin, Northern Yukon: insights to permafrost hydrogeology and karst. *Arctic and Alpine Research*. Sous presse.
- CLAGUE, J.J., 1989. Inlandsis de la Cordillère. Dans : *Le Quaternaire du Canada et du Groenland*, chap. 1, sous la direction de R.J. Fulton, Commission géologique du Canada, Géologie du Canada, Vol. 1, pp.41.
- CORBIN, B.W. et BENSON, C.S., 1983. Thermal regime of a small Alaskan stream in permafrost terrain. *4th International Conference on Permafrost*, pp. 186-191.
- DAHL, V., 1881. *A Dictionary of the Russian Language*. Comprising interpretations and comments. Moscow.

- DEAN, Walter E., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 44, No.1, p. 242-248.
- D.G.E.I. (Direction générale des eaux intérieures), 1989. *Sommaire chronologique de l'écoulement: Yukon et Territoires du Nord-Ouest (jusqu'à 1988)*. Direction des ressources en eau, Division des relevés hydrologiques du Canada, Ottawa, 155 p.
- DUCHAUFOUR, Philippe, 1965. *Précis de pédologie*. édition Masson et Cie, Paris, 481p.
- DYKE, 1987. *Paléogéographie de l'Amérique du Nord*. Commission géologique du Canada, Carte 1703A, Échelle 1:12500000.
- FROEHLICH, W. et SLUPIK, J., 1982. River icings and fluvial activity in extreme continental climate: Khangai Mountains, Mongolia. *4th Canadian Permafrost Conference*, pp. 203-211.
- GIYENKO, A.Y., 1991. Remote sensing investigations of icing processes on the Putorana Plateau. *Polar Geography and Geology*, Vol. 15, 1: 63-69.
- GRISELIN, M., MARLIN, C., DEVER, L., MOREAU, L., 1994. Hydrologie et géochimie du glacier Loven Est (Spitsberg). *3ème symposium international : Cavités glaciaires et cryokarst en régions polaires et de haute montagne*, Chamonix - France, pp. 61-76.
- HALL, D. K., 1980a. *Analysis of the Origin of Water which Forms Large Aufeis Fields on the Arctic Slope of Alaska Using Ground and Landsat Data*. Thèse Ph.D. University of Maryland, pp. 120.
- HALL, D. K., 1980b. Mineral precipitation in North Slope River icings. *Arctic*, Vol. 33, 2: 343-348.
- HARDEN, D., Barnes, P. et Reimnitz, E., 1977. Distribution and character of naleds in Northeastern Alaska. *Arctic*, 30: 28-40.
- HOLMGREN, B., BENSON, C. S. et WELLER, G., 1974. *Aufeis as observed by ERTS*. Contract report to National Aeronautics and Space Administration, University of Alaska Geophysical Institute, pp. 69-82.
- HOSIE, R.C., 1990. *Native trees of Canada*. Edition Fitzhenry & Whiteside, Markham, Ontario, 380 p.
- HUGHES, O.L. *et al.* , 1981. Upper Pleistocene stratigraphy, paleoecology, and archaeology of the northern Yukon interior, Eastern Beringia 1. Bonnet Plume Basin. *Arctic*, Vol. 34, pp. 329-365.
- KLIMOVSKIY, I. V., 1983. The process of naled (icing) formation in the troughs of the pacific mountain belt. *4th International Conference on Permafrost* , pp. 623-627.
- LAURIOL, B., CINQ MARS, J., CLARK, I. D., 1991. Localisation, Genèse et Fonte de Quelques Naleds du Nord du Yukon (Canada). *Permafrost and Periglacial Processes*, Vol. 2, pp. 225-236.
- LEWIS, C.R., 1962. Icing mound Sadlerochit River, Alaska. *Arctic*, Vol. 15, 2: 145-150.

- MacARTHUR, J.J., 1934. *Joint report upon the survey and demarcation of the international boundary between the United States and Canada along the 141st meridian from the arctic ocean to mount St.Elias*. International Boundary Commission.
- McKEAGUE, J.A., 1981. *Manual on Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canada Soil Survey Committee, Canadian Society of Soil Science, 212 p.
- NEKRASOV, I. A., 1973. Naleds in eastern part of Stanovoye upland. *Siberian Naleds*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 399, pp. 16-30.
- NIKITINA, N.M. et TOLSTIKHIN, O.N., 1973. On vertical distribution of naleds in mountains of eastern Yakutia. *Siberian Naleds*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 399, pp. 59-65.
- NORRIS, D.K., 1984. *Geology of the Northern Yukon and Northwestern District of Mackenzie*. Commission Géologique du Canada, Carte 1581A, échelle: 1:500,000.
- POLLARD, W., 1983. *A Study of Seasonal Frost Mounds North Fork Pass, Northern Interior Yukon Territory*. Thèse Ph.D. Département de géographie, Université d'Ottawa, 236 p.
- POLLARD, W.H. et FRENCH, H.M., 1983. Seasonal frost mound occurrence, North Fork Pass, Ogilvie Mountains, Northern Yukon. *Proceedings of the Fourth International Conference on Permafrost*, pp. 1000-1004.
- P.C.C. (Programme de climatologie canadien), 1982a. *Normales climatiques au Canada: Température 1951-1980*. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Vol. 2.
- P.C.C. (Programme de climatologie canadien), 1982b. *Normales climatiques au Canada: Précipitation 1951-1980*. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Vol. 3.
- ROMANOVSKIY, N.N., 1978. Long term dynamics of ground-water icings. *International Conference on Permafrost*, Alberta, pp. 212-218.
- RUDAVIN, V.V. et FEDEROV, A.M., 1973. Concerning naleds in eastern part of siberian platform. *Siberian Naleds*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 399, pp. 79-87.
- SLAUGHTER, C.W., 1982. Occurrence and recurrence of aufeis in an upland taiga catchment. *4th Canadian Permafrost Conference*, pp. 182-188.
- SOKOLOV, B. L., 1975. Regime of naleds. *2nd International Conference on Permafrost*, Contribution de l'U.R.S.S., pp. 408-411.
- TARNOCAI, C., SMITH, C.A.S., et FOX, C.A., 1993. *International tour of permafrost affected soils: the Yukon and Northwest Territories of Canada*. Centre for Land and Biological Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, 197 p.
- TYRTIKOV, A.P., 1978. Permafrost and vegetation. *2nd International Conference on Permafrost*, Contribution de l'U.R.S.S., pp.100-104.

- TOLSTIKHIN, O.N., 1973. Importance and consideration of naled processes in natural water budget in perennially frozen soil zone. *Siberian Naleds*, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Draft Translation 399, pp.134-140.
- TOLSTIKHIN, N.I. et TOLSTIKHIN, O.N., 1976. *Groundwater and Surface Water in the Permafrost Region*. Inland Water Directorate, Water Resources Branch, Ottawa, Ontario, Technical Bulletin No. 97 (Traduction), 25 p.
- TRICART, J., 1965. *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Édition Masson et Cie, Paris, 496 p.
- van EVERDINGEN, R.O., 1988. Perennial discharge of subpermafrost groundwater in two small drainage basins, Yukon, Canada. *5th International Conference on Permafrost*, Norway, pp. 639-643.
- van EVERDINGEN, R.O., BANNER, J.A. et FREDERKING, R.M.W., 1980. Rupture of an ice mound near Cape Dorset, N.W.T. *Canadian Geotechnical J.*, Vol. 17, 2: 326-328.
- VEILLETTE, J.J. et THOMAS, R.D., 1979. Icings and seepage in frozen glaciofluvial deposits, District of Keewatin, N.W.T. *Canadian Geotechnical J.*, Vol. 16, 4: 789-798.
- WAHL, H.E, FRASER, D.B., HARVEY, R.C. et MAXWELL, J.B., 1987. *Climate of Yukon*. Environnement Canada, Ottawa, Étude Climatologique No. 40, 323 p.
- WENTWORTH, C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.
- WIKEN, E.B., WELCH, D.M., IRONSIDE, G.R. et TAYLOR, D.G., 1981. *The Northern Yukon: An Ecological Land Survey*. Land Directorate, Environment Canada, Ottawa, Ecological Land Classification Series No. 6, 197 p.
- WILLIAM, J. R. et van EVERDINGEN, R.O., 1975. Groundwater investigation in permafrost regions of North America: a review. *2nd International Conference on Permafrost*, North American Contribution, pp.435-446.

**Toutes les données étudiées sur les sols de la rivière Firth  
(sauf les données de granulométrie)**

Echant.	% Mat. org.	% Sels	pH	% eau	Couleur	Pr. coup.	Pr. hor.	distance
ft 1.01 a	23,604	16,992	6,86	65,34	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	18	5	1200
ft 1.01 b	14,327	40,920	7,69	29,80	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	18	15	1200
ft 1.02 b	24,593	15,552	7,07	47,50	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	25	18	1130
ft 1.04 a	17,263	34,083	7,40	46,61	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	30	15	980
ft 1.05 a	14,108	35,909	7,65	33,71	10YR 3/2(s) - 2/1(h)	140	9	1080
ft 1.05 b	6,259	34,707	7,69	24,71	2.5Y 3/2(s) - 2.5/1(h)	140	21	1080
ft 1.05 c	8,750	36,243	7,85	32,18	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	140	49	1080
ft 1.05 d	42,791	37,984	7,50	61,05	10YR 2/2(s) - 2/1(h)	140	54	1080
ft 1.06 a	16,789	43,527	7,33	45,83	2.5Y 4/2(s) - 3/2(h)	30	5	1070
ft 1.06 b	12,113	41,523	7,59	37,38	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	30	16	1070
ft 1.07 a	16,261	41,363	7,47	46,05	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	30	8	1037
ft 1.07 b	13,034	50,564	7,34	47,01	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	30	20	1037
ft 1.08 a	9,526	37,133	7,83	38,34	10YR 4/1(s) - 2/1(h)	50	8	1030
ft 1.08 b	4,632	36,295	7,73	31,26	2.5Y 4/2(s) - 3/2(h)	50	30	1030
ft 1.10	8,000	35,451	7,61	34,79	2.5Y 10/2(s) - 2.5/1(h)	13	7	780
ft 1.11 a	12,097	38,396	7,63	27,68	2.5Y 4/2(s) - 2.5/1(h)	60	5	735
ft 1.11 b	5,385	37,401	7,89	25,47	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	60	30	735
ft 1.11 c	5,190	33,549	7,75	29,92	10YR 5/2(s) - 3/1(h)	60	50	735
ft 1.12 a	17,442	41,924	7,31	49,91	2.5Y 4/2(s) - 3/2(h)	40	10	635
ft 1.12 b	6,599	38,366	7,67	32,21	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	40	20	635
ft 1.13 a	3,796	25,781	7,50	26,82	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	30	8	485
ft 1.13 b	4,689	40,293	7,82	25,78	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	30	22	485
ft 1.14 a	10,061	41,027	7,64	38,09	7.5YR 4/2(s) - 2/2(h)	30	10	455
ft 1.14 b	8,787	38,132	7,53	35,42	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	30	22	455
ft 1.14 c	6,064	35,101	7,88	28,09	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	30	28	455
ft 1.15 b	2,246	41,128	7,78	20,77	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	15	2	275
ft 1.16 a	12,817	42,415	7,53	39,16	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	55	10	200
ft 1.16 b	20,161	35,600	7,68	47,95	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	55	22	200
ft 1.16 c	8,532	33,346	7,65	34,70	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	55	35	200
ft 1.17 a	0,920	34,666	7,82	0,97	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	48	7	180
ft 1.17 b	3,457	30,391	7,52	35,37	2.5Y 3/1(s) - 2.5/1(h)	48	17	180
ft 1.17 c	8,047	39,398	7,61	34,97	2.5Y 4/2(s) - 2.5/1(h)	48	22	180
ft 1.17 d	5,202	36,996	7,56	26,40	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	48	36	180
ft 1.20 a	5,859	44,433	7,73	31,54	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	12	3	40
ft 1.21 a	6,636	47,502	7,54	38,03	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	55	5	1
ft 1.21 b	5,392	41,877	7,81	28,99	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	55	12	1
ft 1.21 c	7,933	35,929	7,85	36,85	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	55	20	1
ft 1.21 d	2,082	43,165	7,75	19,33	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	55	28	1
ft 1.21 e	5,686	45,559	7,83	29,46	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	55	42	1
ft 2.01 a	3,504	36,729	7,55	31,22	2.5Y 5/1(s) - 3/1(h)	30	5	118
ft 2.01 c	0,701	26,157	7,83	5,02	2.5Y 4/1(s) - 3/1(h)	30	20	118
ft 2.02 a	7,320	38,339	7,61	33,64	2.5Y 4/2(s) - 3/2(h)	25	5	310
ft 2.02 b	4,566	34,965	7,68	24,29	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	25	20	310
ft 2.04 a	4,965	37,467	7,42	13,34	2.5Y 3/2(s) - 2.5/1(h)	30	15	420
ft 2.04 b	0,507	36,499	7,89	2,96	2.5Y 4/1(s) - 3/1(h)	30	25	420
ft 2.05 a	16,430	46,967	6,76	4,56	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	100	1	440
ft 2.05 b	0,251	31,221	7,95	1,67	2.5Y 5/1(s) - 3/1(h)	100	26	440
ft 2.05 c	3,183	42,486	7,65	22,70	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	100	51	440
ft 2.05 d	0,515	38,126	7,82	6,13	2.5Y 4/1(s) - 3/1(h)	100	76	440
ft 2.05 e	6,577	44,103	7,65	39,21	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	100	83	440
ft 2.06 a	21,054	39,233	7,32	56,70	2.5Y 4/2(s) - 2.5/1(h)	30	3	480
ft 2.06 b	10,607	40,325	7,62	36,45	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	30	10	480
ft 2.06 c	4,208	48,500	7,67	29,69	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	30	18	480
ft 2.06 d	9,222	41,411	7,56	37,99	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	30	25	480

Echant.	% Mat. org.	% Sels	pH	% eau	Couleur	Pr. coup.	Pr. hor.	distance
ft 3.01 a	25,455	40,874	7,46	55,84	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	40	10	10
ft 3.01 b	18,252	24,851	7,50	48,87	10YR 3/1(s) - 2/2(h)	40	25	10
ft 3.02 a	22,865	38,221	7,55	50,05	10YR 3/2(s) - 2/2(h)	15	5	1
ft 3.02 b	10,277	46,002	7,65	37,87	10YR 4/2(s) - 3/1(h)	15	12	1
ft 3.03 a	12,188	54,507	7,50	45,71	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	25	5	25
ft 3.03 b	13,787	52,449	7,41	50,00	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	25	15	25
ft 3.03 c	4,060	51,130	7,55	36,48	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	25	22	25
ft 3.04 a	8,205	51,035	7,73	36,06	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	17	3	60
ft 3.04 b	10,834	48,529	7,52	43,19	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	17	7	60
ft 3.04 c	2,599	49,164	7,59	30,34	10YR 4/1(s) - 3/1(h)	17	12	60
ft 3.04 d	6,819	43,789	7,57	34,24	10YR 5/2(s) - 3/2(h)	17	16	60
ft 3.05 a	21,743	31,152	7,57	48,41	10YR 3/2(s) - 3/1(h)	56	9	90
ft 3.05 b	5,258	46,333	7,81	25,11	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	56	29	90
ft 3.05 c	16,517	29,184	7,67	41,45	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	56	43	90
ft 3.05 d	4,553	37,481	7,79	21,50	7.5YR 4/1(s) - 3/1(h)	56	48	90
ft 3.05 e	5,428	48,070	7,85	26,79	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	56	53	90
ft 3.06 a	35,275	52,408	7,54	54,02	10YR 3/1(s) - 2/2(h)	20	3	150
ft 3.06 b	19,989	42,537	7,47	46,98	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	20	8	150
ft 3.06 c	13,131	45,670	7,61	45,71	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	20	15	150
ft 3.07 a	23,455	40,656	7,68	62,19	10YR 4/2(s) - 2/1(h)	34	5	280
ft 3.07 b	22,122	44,498	7,56	47,59	10YR 5/2(s) - 2/2(h)	34	13	280
ft 3.07 c	4,174	52,471	7,85	27,57	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	34	20	280
ft 3.07 d	3,715	47,620	7,81	23,82	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	34	30	280
ft 3.08 a	4,504	53,263	7,80	30,58	2.5Y 5/1(s) - 3/2(h)	27	3	330
ft 3.08 b	15,388	48,387	7,67	58,52	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	27	8	330
ft 3.08 c	7,612	44,756	7,78	27,78	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	27	19	330
ft 3.09 a	4,218	54,294	7,72	14,00	2.5Y 4/2(s) - 2.5/1(h)	50	2	370
ft 3.09 b	15,709	51,843	7,60	32,66	10YR 3/2(s) - 2/1(h)	50	3	370
ft 3.09 c	1,278	65,365	7,79	6,14	2.5Y 4/1(s) - 2.5/1(h)	50	6	370
ft 3.09 d	1,355	69,379	7,98	3,63	2.5Y 4/1(s) - 2.5/1(h)	50	13	370
ft 3.09 e	10,565	52,781	7,72	36,66	10YR 4/2(s) - 2/2(h)	50	19	370
ft 3.09 f	5,392	47,361	7,88	28,23	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	50	26	370
ft 3.10 a	5,523	52,174	7,71	33,71	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	32	10	390
ft 3.10 b	4,353	50,799	7,72	31,78	2.5Y 5/2(s) - 3/2(h)	32	21	390
ft 3.11 a	4,156	57,217	7,79	31,70	10YR 5/2(s) - 2/2(h)	30	1	420
ft 3.11 b	6,222	49,357	7,84	34,42	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	30	3	420
ft 3.11 c	2,154	55,057	7,93	23,06	2.5Y 4/1(s) - 2.5/1(h)	30	20	420
ft 3.12 a	14,565	43,399	7,54	38,63	10YR 3/2(s) - 2/1(h)	60	5	440
ft 3.12 b	8,920	46,745	7,87	33,16	2.5Y 4/2(s) - 3/1(h)	60	15	440
ft 3.12 c	11,225	50,206	7,60	39,55	10YR 3/2(s) - 2/1(h)	60	22	440
ft 3.12 d	3,640	47,613	7,77	26,65	2.5Y 5/2(s) - 3/1(h)	60	30	440

**Données granulométriques pour la rivière Firth.**

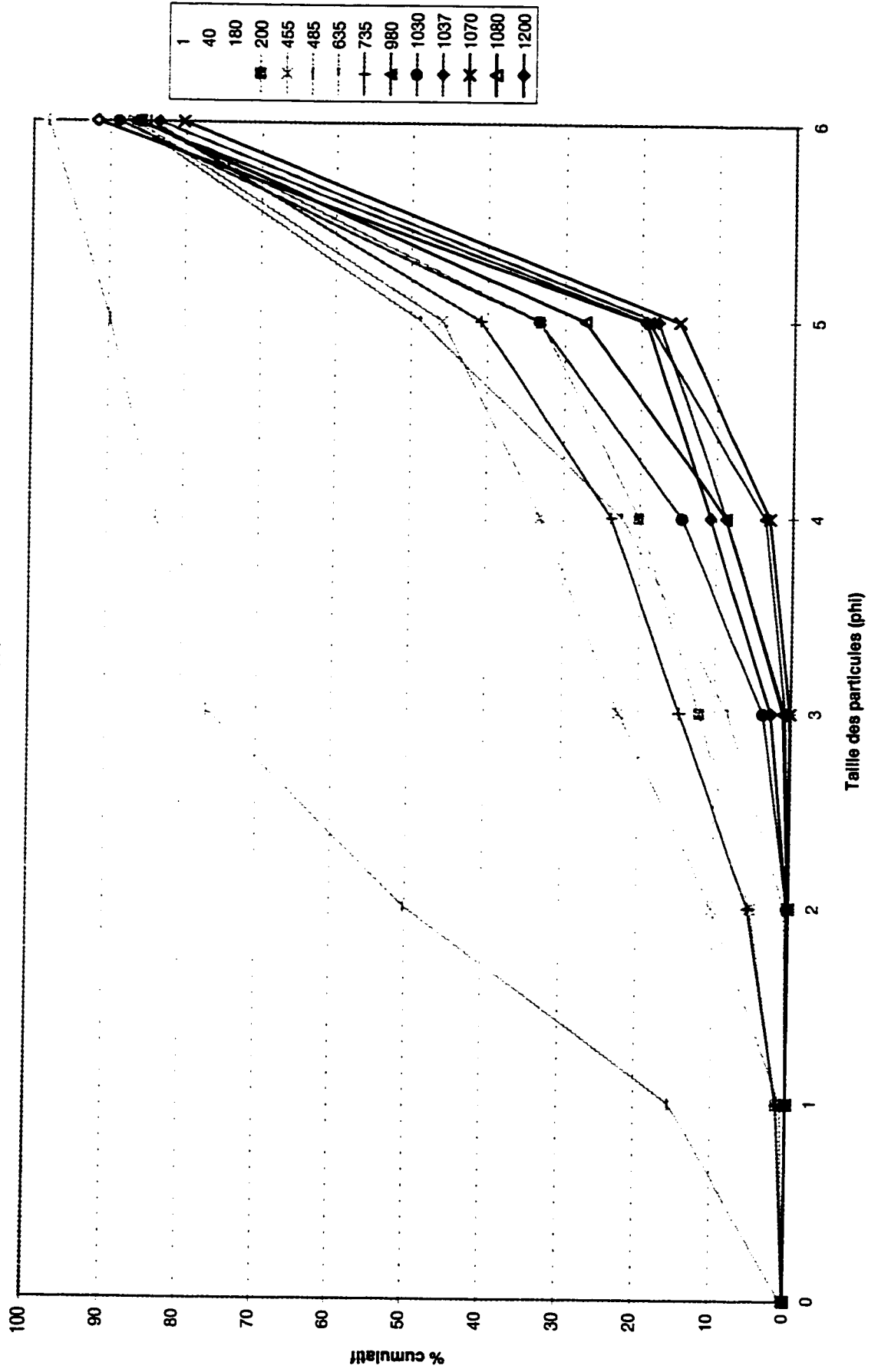


Echent.	% [2000-1000]	% [1000-500]	% [500-250]	% [250-125]	% [125-63]	% [63-32]	% [32-2]	% [-2]	% tot <63	Tot. dec.	% Err. dec.	% Total	% Total corr.
ft 2.01 c	1,182	16,145	56,650	18,630	1,714	0,491	3,144	2,063	5,698	40,713	44,484	95,882	100,000
ft 2.02 a	0,029	0,411	6,059	16,704	14,628	15,484	38,240	8,446	62,170	17,050	-3,475	100,807	100,000
ft 2.02 b	0,225	9,207	31,624	18,064	9,851	8,374	16,212	6,442	31,029	18,628	9,205	97,896	100,000
ft 2.04 a	0,273	1,483	20,456	30,177	13,388	11,259	16,721	6,243	34,223	17,941	2,863	99,343	100,000
ft 2.04 b	20,525	26,274	34,985	10,597	1,884	1,114	3,589	1,052	5,755	32,321	31,441	97,577	100,000
ft 2.05 a	5,462	6,120	3,088	5,662	7,607	7,435	54,332	10,295	72,062	3,497	4,654	99,051	100,000
ft 2.05 b	60,484	29,169	5,786	0,808	0,408	0,397	2,098	0,850	3,345	35,277	65,037	94,338	100,000
ft 2.05 c	13,876	15,993	6,288	19,735	12,667	7,497	16,567	7,377	31,441	16,539	4,535	98,991	100,000
ft 2.05 d	9,049	25,668	38,648	17,610	2,168	1,316	3,879	1,662	6,857	28,876	34,524	96,750	100,000
ft 2.05 e	0,265	1,190	5,071	18,464	21,713	11,693	40,245	1,360	53,297	14,710	10,990	97,116	100,000
ft 2.06 a	0,000	0,209	1,092	2,300	6,250	0,929	68,773	20,446	90,149	8,608	4,832	99,569	100,000
ft 2.06 b	0,000	0,251	4,975	0,619	3,199	20,491	54,986	15,479	90,956	13,567	-6,187	100,506	100,000
ft 2.06 c	0,000	0,047	1,079	24,883	22,207	11,890	21,433	18,461	51,783	12,784	0,301	99,925	100,000
ft 2.06 d	0,000	0,081	0,185	0,169	2,279	19,650	42,039	35,596	97,286	12,417	-1,046	100,028	100,000
ft 3.01 a	0,000	0,000	0,134	1,203	7,799	16,521	65,112	9,232	90,865	8,232	9,091	99,239	100,000
ft 3.01 b	0,000	0,036	0,341	13,434	11,982	13,085	48,575	12,547	74,207	11,158	4,937	99,043	100,000
ft 3.02 a	0,000	0,145	0,358	3,502	8,055	19,467	55,046	13,426	87,939	8,938	-2,611	100,276	100,000
ft 3.02 b	0,000	0,179	2,504	14,033	18,845	16,409	36,236	11,794	64,439	11,701	5,193	98,788	100,000
ft 3.03 a	0,000	0,000	0,118	2,218	13,389	19,428	49,094	15,752	84,274	7,618	2,786	99,629	100,000
ft 3.03 b	0,000	0,094	3,267	20,402	17,711	16,453	33,376	8,697	58,526	8,509	2,563	99,371	100,000
ft 3.03 c	0,000	0,000	2,573	29,014	27,062	14,703	20,875	5,973	41,351	8,706	7,455	98,109	100,000
ft 3.04 a	0,000	0,203	1,970	11,454	18,948	19,699	37,165	10,561	67,425	9,848	2,668	98,409	100,000
ft 3.04 b	0,209	0,950	9,094	27,692	16,060	13,874	24,138	7,983	45,994	10,623	0,840	99,790	100,000
ft 3.04 c	0,126	0,374	15,981	45,280	13,751	6,219	13,605	4,664	24,489	20,581	5,281	98,983	100,000
ft 3.04 d	0,075	0,238	2,063	8,034	13,059	19,473	44,302	12,256	76,530	14,687	1,757	99,683	100,000
ft 3.05 a	0,000	0,050	0,221	2,418	9,211	17,459	56,191	14,449	88,100	9,966	1,059	99,889	100,000
ft 3.05 b	0,000	0,071	1,445	4,472	9,350	24,779	44,654	15,229	84,662	15,497	0,884	99,885	100,000
ft 3.05 c	0,000	0,027	0,082	0,564	6,617	22,541	52,718	17,451	92,710	11,002	3,042	99,794	100,000
ft 3.05 d	0,227	0,607	2,396	2,672	14,435	19,106	55,052	5,505	79,663	12,352	7,623	98,746	100,000
ft 3.05 e	0,300	1,745	6,451	8,642	9,511	14,147	52,591	6,612	73,351	13,006	1,589	99,688	100,000
ft 3.06 a	0,000	0,000	0,077	0,269	2,112	3,840	72,581	21,121	97,542	5,208	4,295	99,897	100,000
ft 3.06 b	0,000	0,000	0,076	0,785	4,088	9,810	63,440	21,801	95,051	9,174	2,373	99,888	100,000
ft 3.06 c	0,085	0,192	0,351	1,065	5,006	10,651	65,609	17,041	93,301	9,389	0,103	99,994	100,000
ft 3.07 a	0,386	0,525	0,895	1,404	4,844	18,718	58,452	14,777	91,946	12,181	-0,566	100,042	100,000
ft 3.07 b	4,230	6,629	8,133	9,761	11,891	11,563	38,929	8,865	59,356	10,378	9,518	97,611	100,000
ft 3.07 c	0,094	0,749	1,864	9,203	17,257	15,665	49,379	5,789	70,833	11,746	-1,340	100,276	100,000
ft 3.07 d	0,000	0,170	1,402	12,290	17,776	14,090	45,401	8,871	68,363	15,330	0,945	99,795	100,000
ft 3.08 a	0,081	0,117	0,161	13,515	26,797	13,264	40,509	5,557	59,330	11,158	4,721	98,839	100,000
ft 3.08 b	0,000	0,136	0,609	6,739	19,452	25,194	40,731	7,138	73,063	9,526	-0,753	100,148	100,000
ft 3.08 c	0,051	0,233	0,981	4,172	7,341	12,256	20,040	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017

Echant.	% [2000-1000]	% [1000-500]	% [500-250]	% [250-125]	% [125-63]	% [63-32]	% [32-2]	% [<2]	% tot <63	Tot. dec.	% Err. dec.	% Total	% Total corr.
ft 3.09 a	5,121	9,458	30,893	19,485	7,427	6,435	16,355	4,828	27,616	14,919	16,684	96,207	100,000
ft 3.09 b	1,560	4,042	11,445	14,669	18,056	14,479	32,061	5,888	52,228	11,603	14,346	96,157	100,000
ft 3.09 c	7,882	18,157	28,810	19,274	7,855	1,614	16,409	0,000	18,023	14,870	21,362	96,174	100,000
ft 3.09 d	18,526	21,099	21,640	12,125	5,992	4,153	14,091	2,373	20,617	13,484	12,247	97,780	100,000
ft 3.09 e	0,881	5,950	10,875	8,407	11,305	18,070	35,258	9,255	62,583	9,076	4,441	98,942	100,000
ft 3.09 f	0,316	1,123	4,185	12,721	15,521	16,138	41,452	8,544	66,134	12,641	7,980	98,163	100,000
ft 3.10 a	0,072	0,389	6,050	18,974	17,536	16,822	31,835	8,321	58,977	11,057	6,625	98,328	100,000
ft 3.10 b	0,178	1,374	7,962	23,219	20,219	17,973	22,995	6,079	47,046	15,134	-1,453	100,359	100,000
ft 3.11 a	5,770	10,858	15,917	19,591	13,757	21,602	6,253	6,253	34,108	14,073	6,995	98,352	100,000
ft 3.11 b	0,406	1,826	9,813	20,886	19,060	12,848	29,414	5,748	48,009	11,831	17,860	95,086	100,000
ft 3.11 c	0,761	1,991	14,114	28,761	16,546	10,381	21,473	5,973	37,827	14,064	0,581	99,868	100,000
ft 3.12 a	0,035	0,166	0,699	3,117	11,464	22,003	51,515	11,001	84,519	11,453	4,508	99,406	100,000
ft 3.12 b	0,043	0,069	0,674	4,189	14,693	22,286	44,744	13,302	80,332	11,577	-0,638	100,101	100,000
ft 3.12 c	0,000	0,983	3,581	10,334	20,538	15,955	35,250	13,358	64,564	10,780	1,333	99,694	100,000
ft 3.12 d	0,089	0,110	2,029	15,116	24,338	17,330	30,809	10,178	58,318	14,541	1,613	99,605	100,000

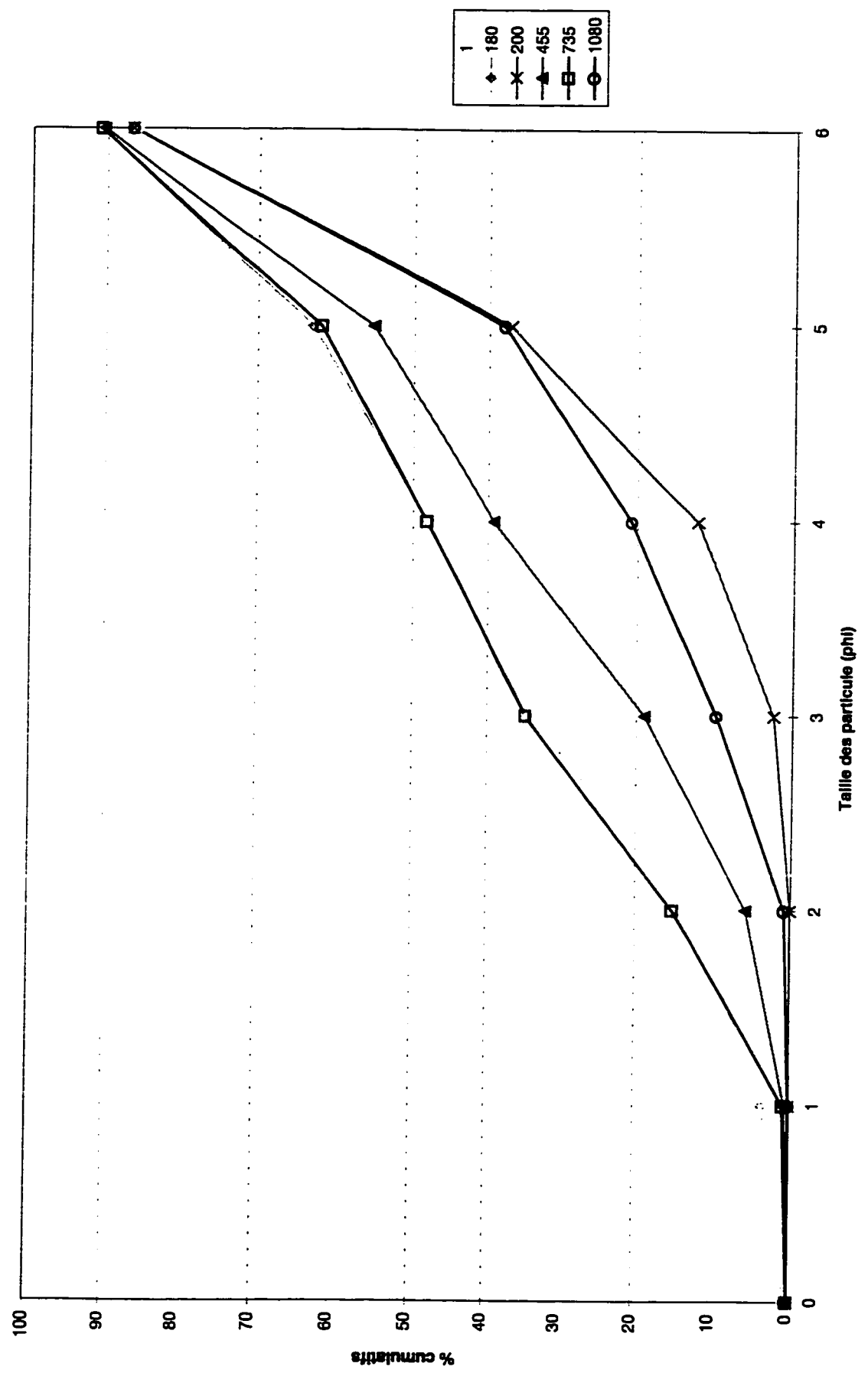
**Courbes granulométriques pour la rivière Firth.**

**Granulométrie Transect 1  
Horizon A**

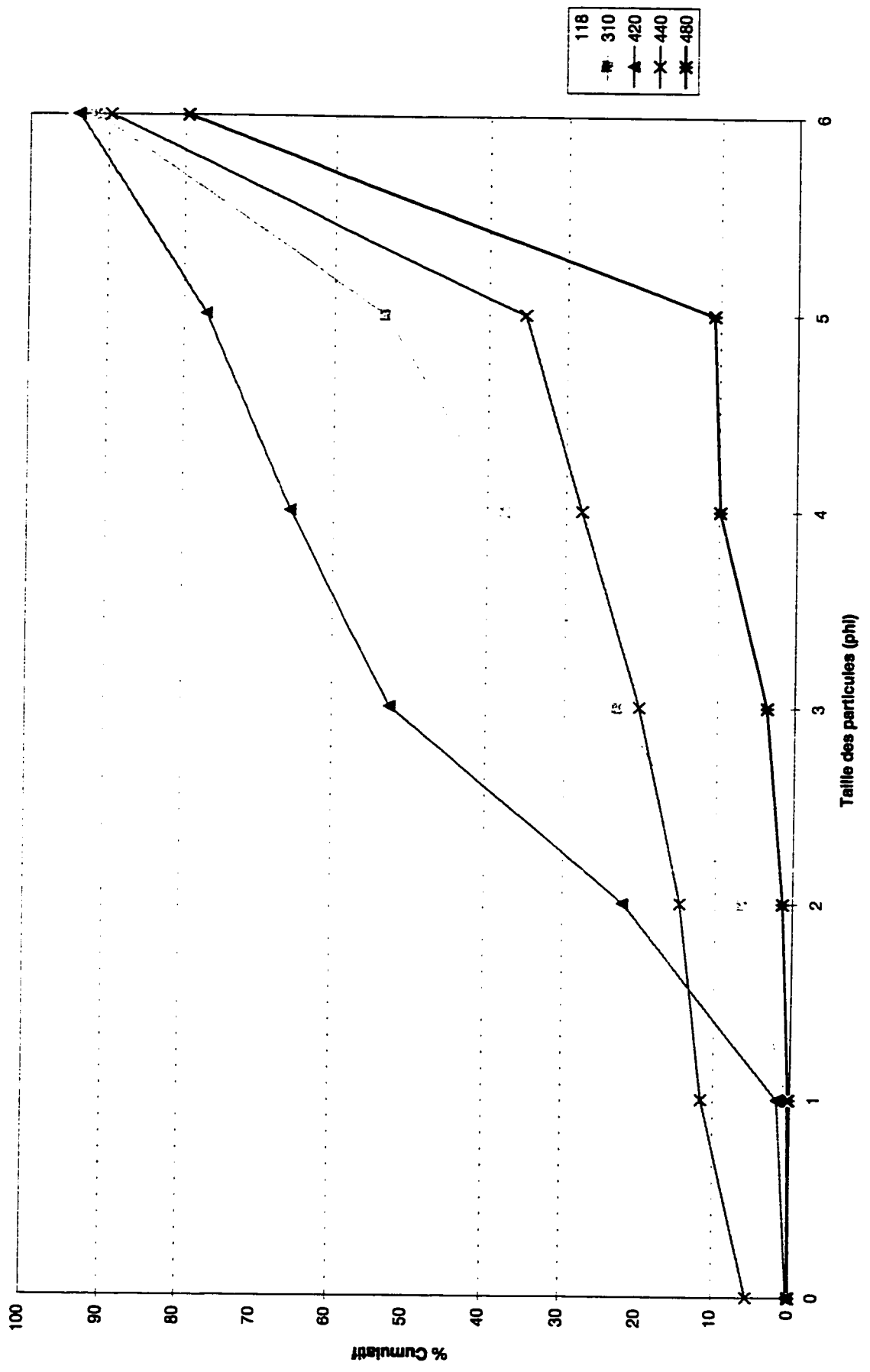




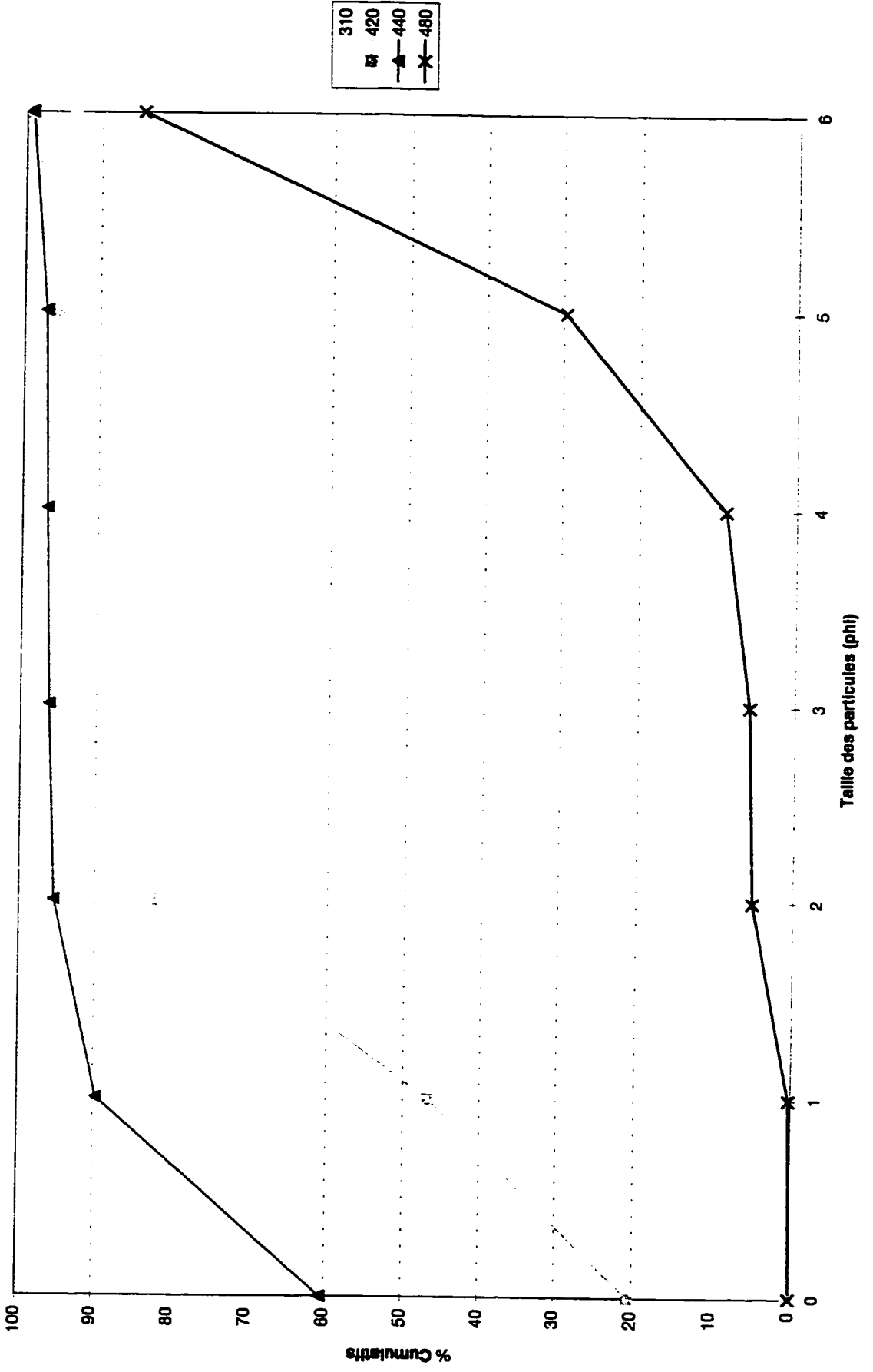
Granulométrie Transect 1  
Horizon C



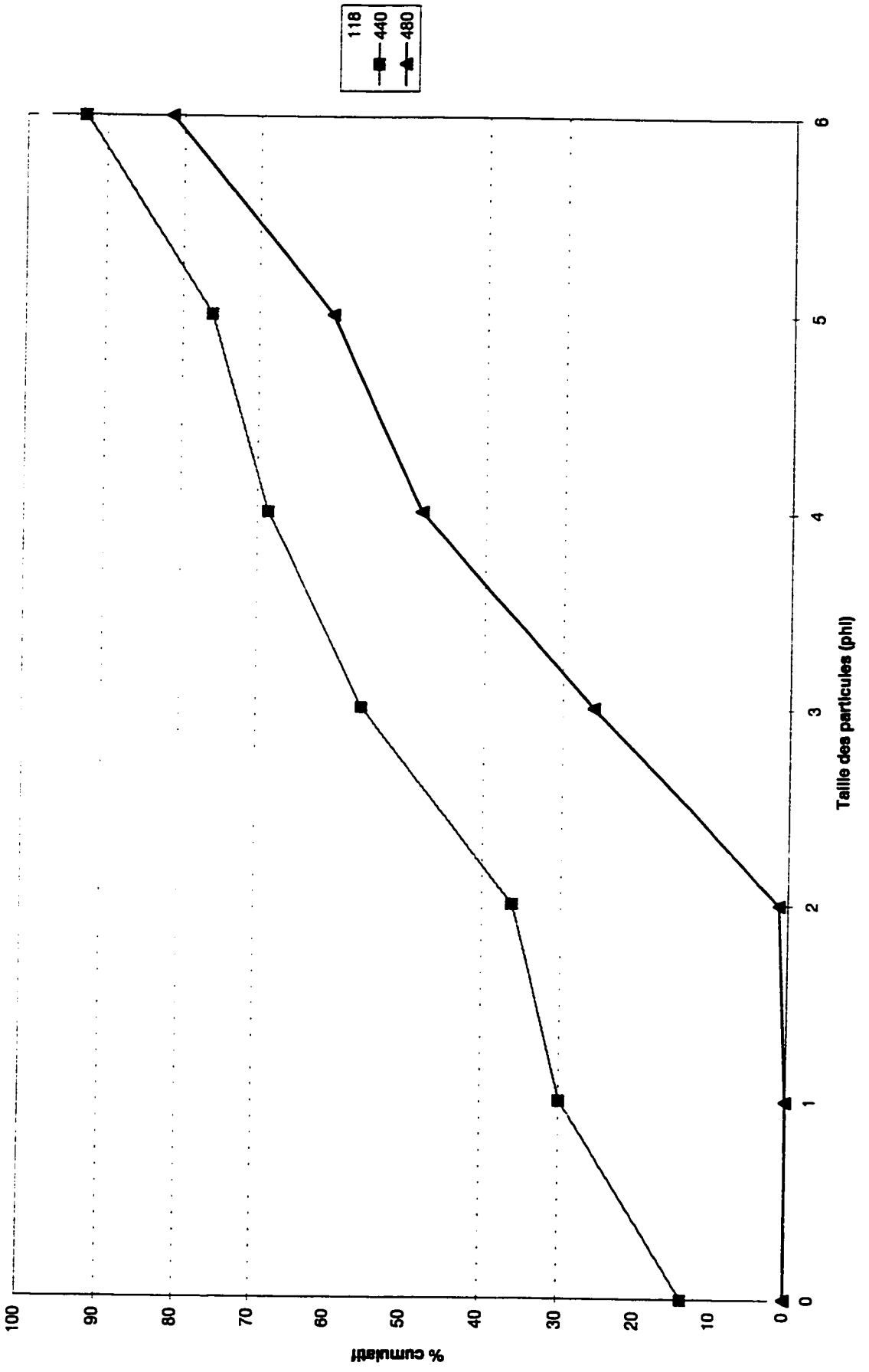
**Granulométrie Transect 2  
Horizon A**



**Granulométrie Transect 2  
Horizon B**

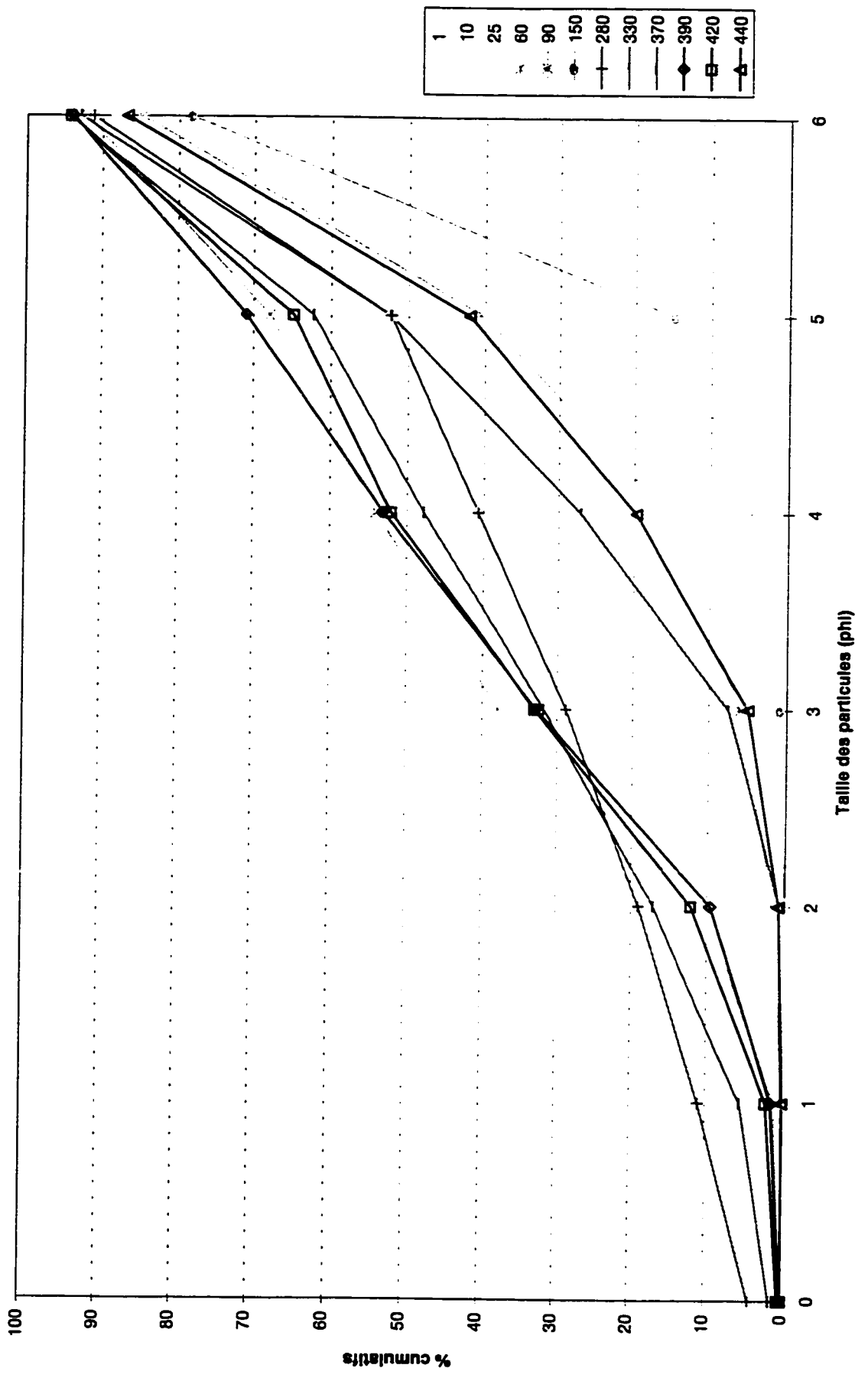


Granulométrie Transect 2  
Horizon C

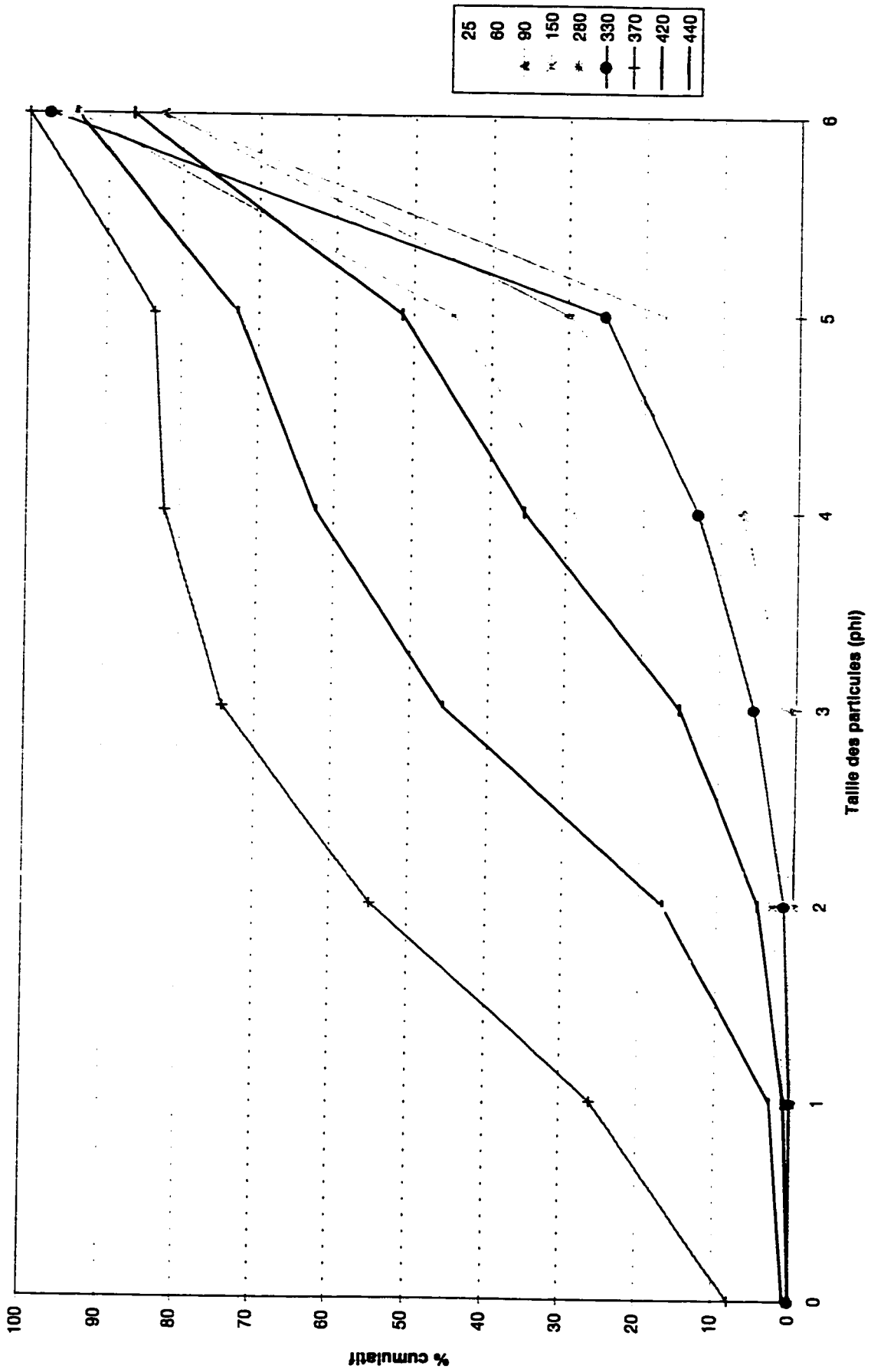




**Granulométrie Transect 3  
Horizon B**



**Granulométrie Transect 3  
Horizon C**

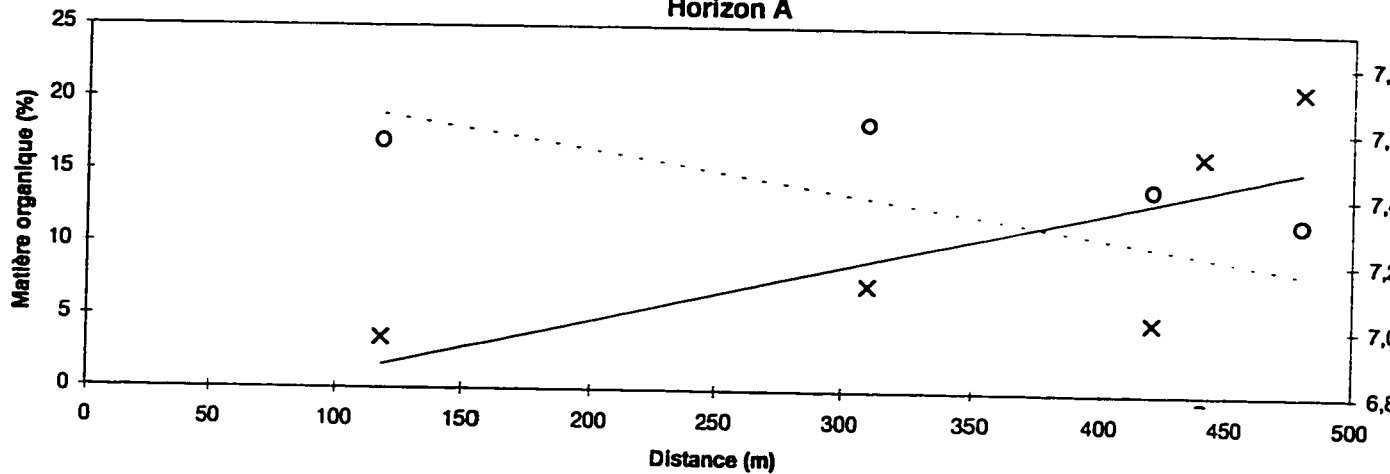


**Graphiques des teneurs en matière organique et de pH des sols,  
pour chacun des trois transects.**

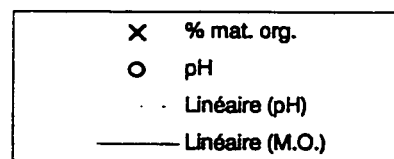
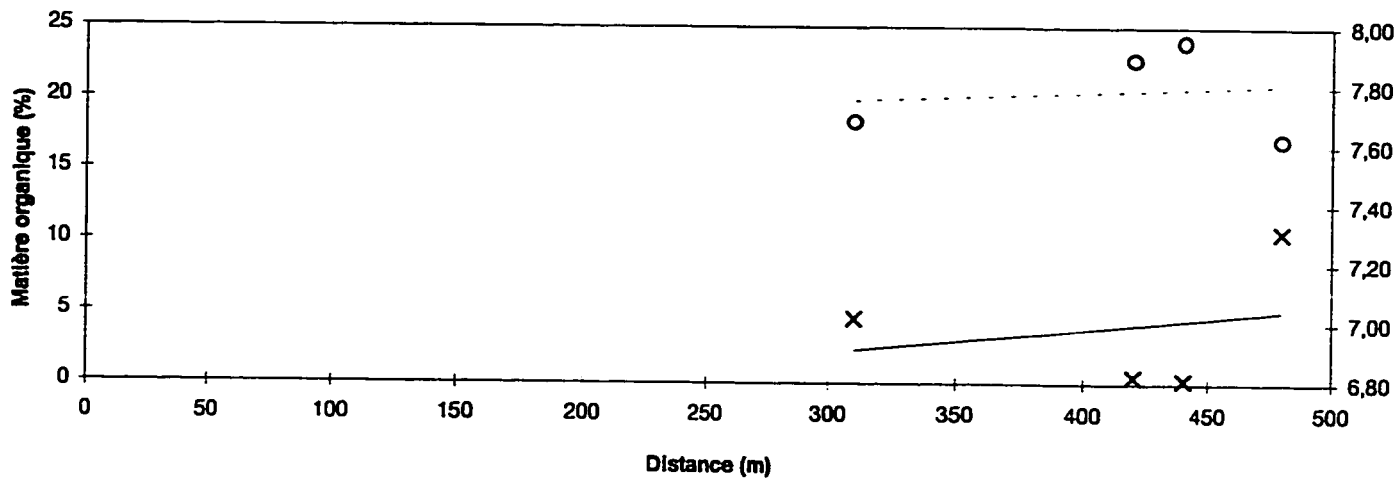


### pH ET MATIÈRE ORGANIQUE - TRANSECT 2

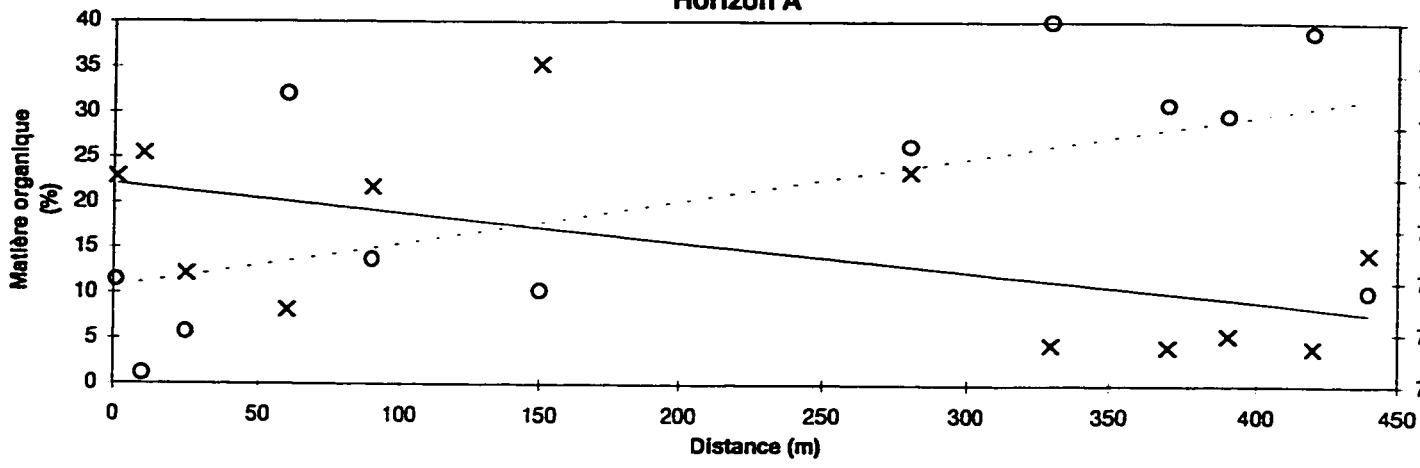
#### Horizon A



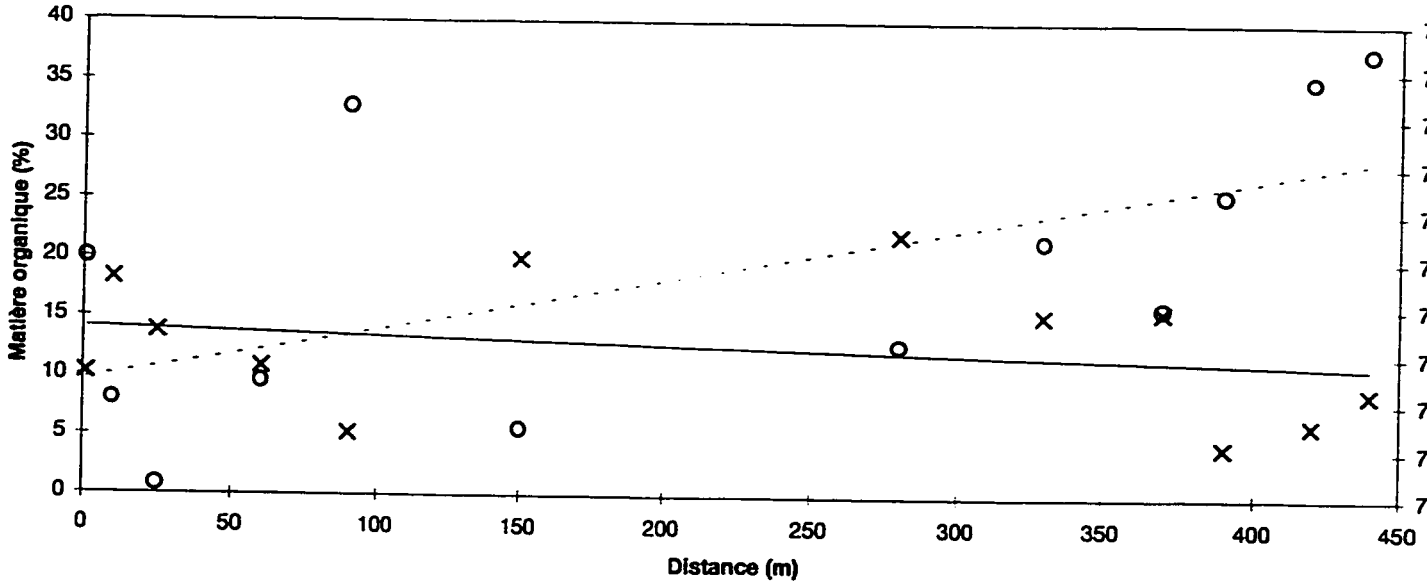
#### Horizon B



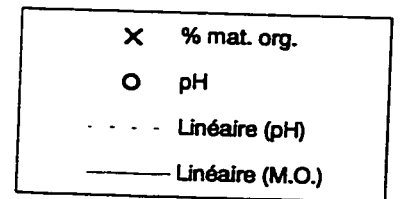
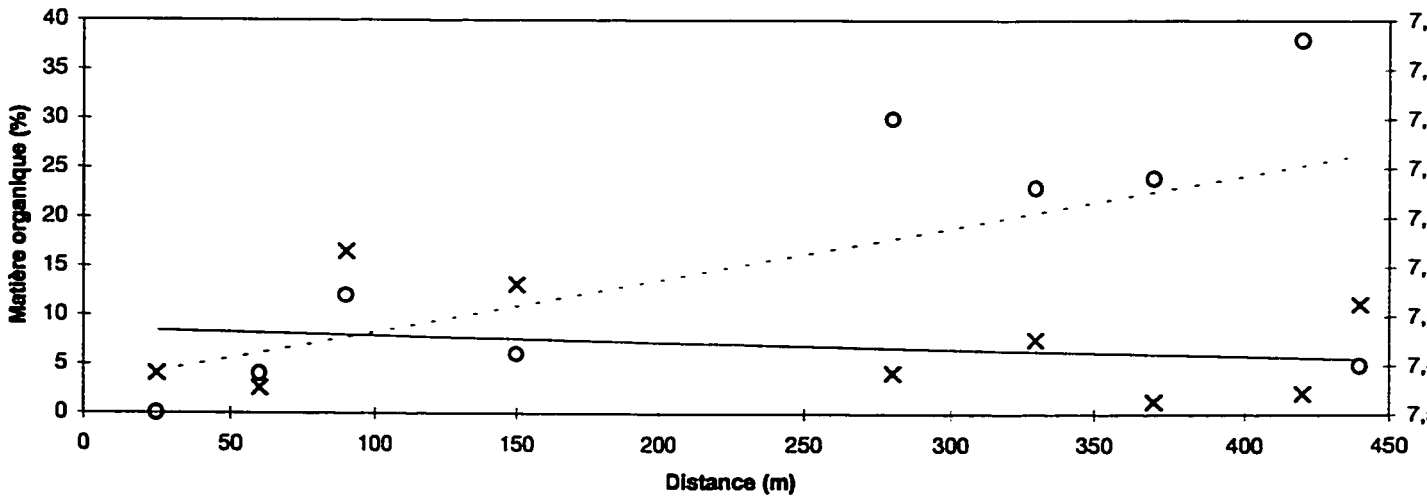
Horizon A



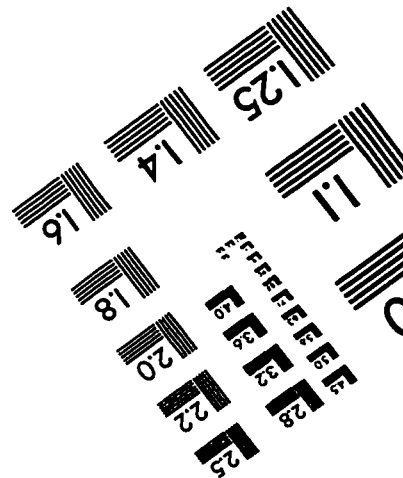
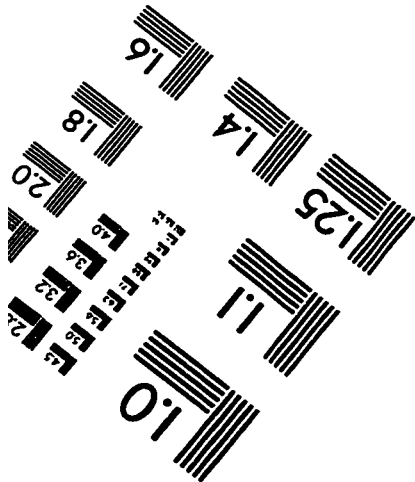
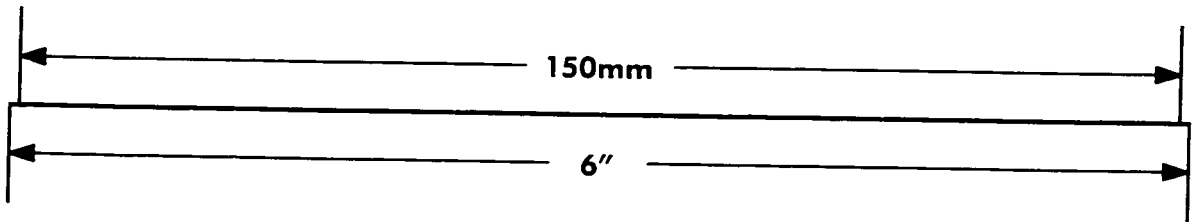
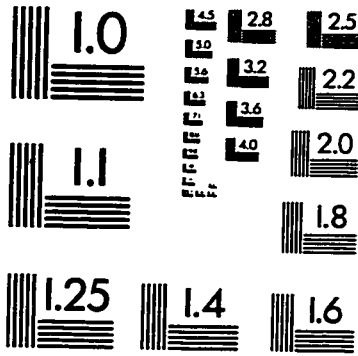
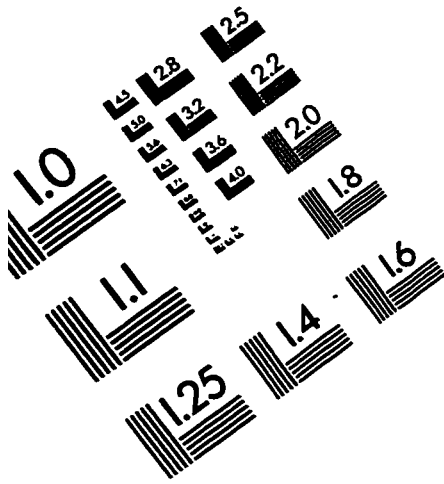
Horizon B



Horizon C



# IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



**APPLIED IMAGE, Inc**  
1653 East Main Street  
Rochester, NY 14609 USA  
Phone: 716/482-0300  
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved