

1555

LOUIS-EDMOND HAMELIN ET FRANK A. COOK

LE PÉRIGLACIAIRE
PAR L'IMAGE

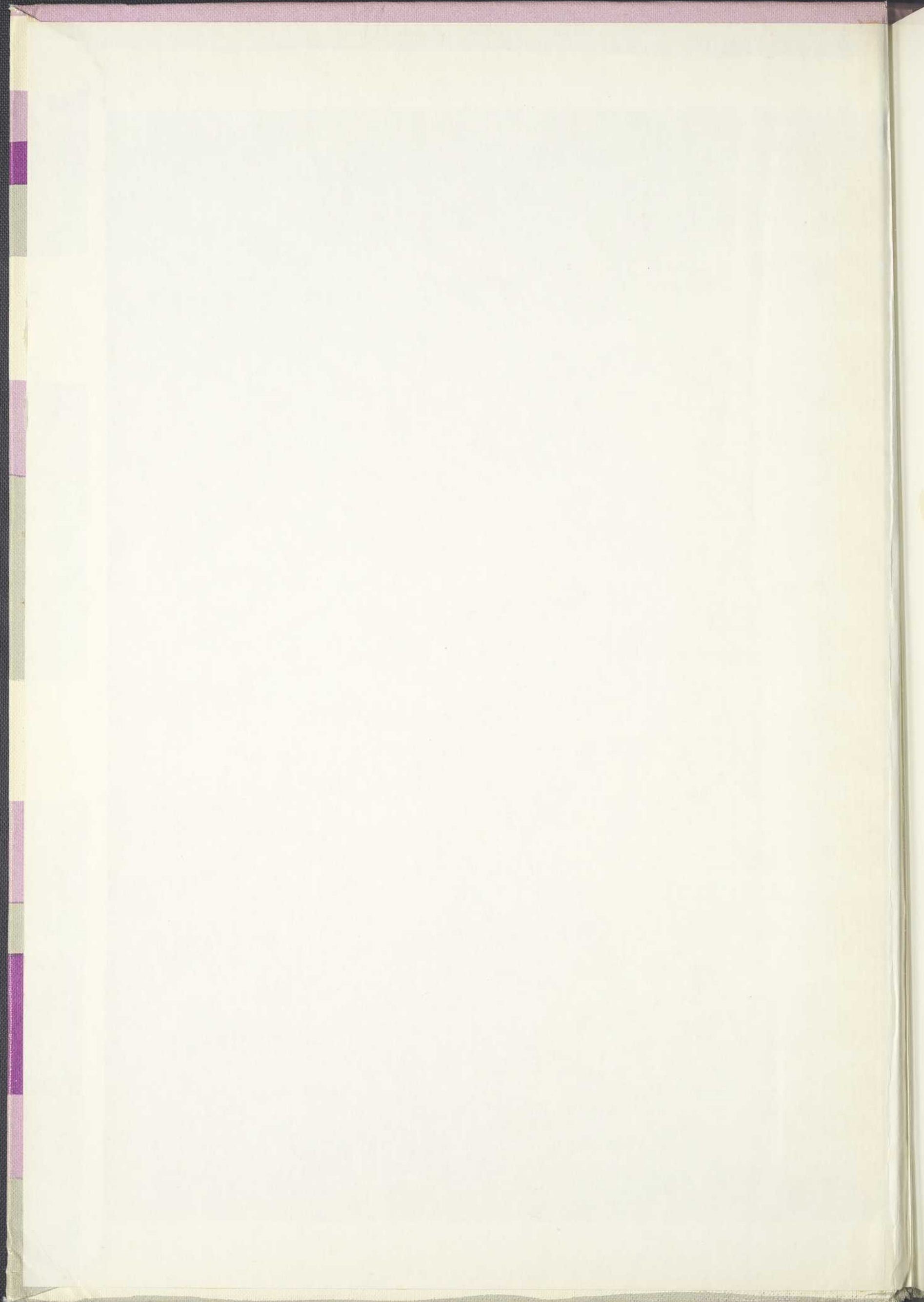
ILLUSTRATED GLOSSARY OF
PERIGLACIAL PHENOMENA

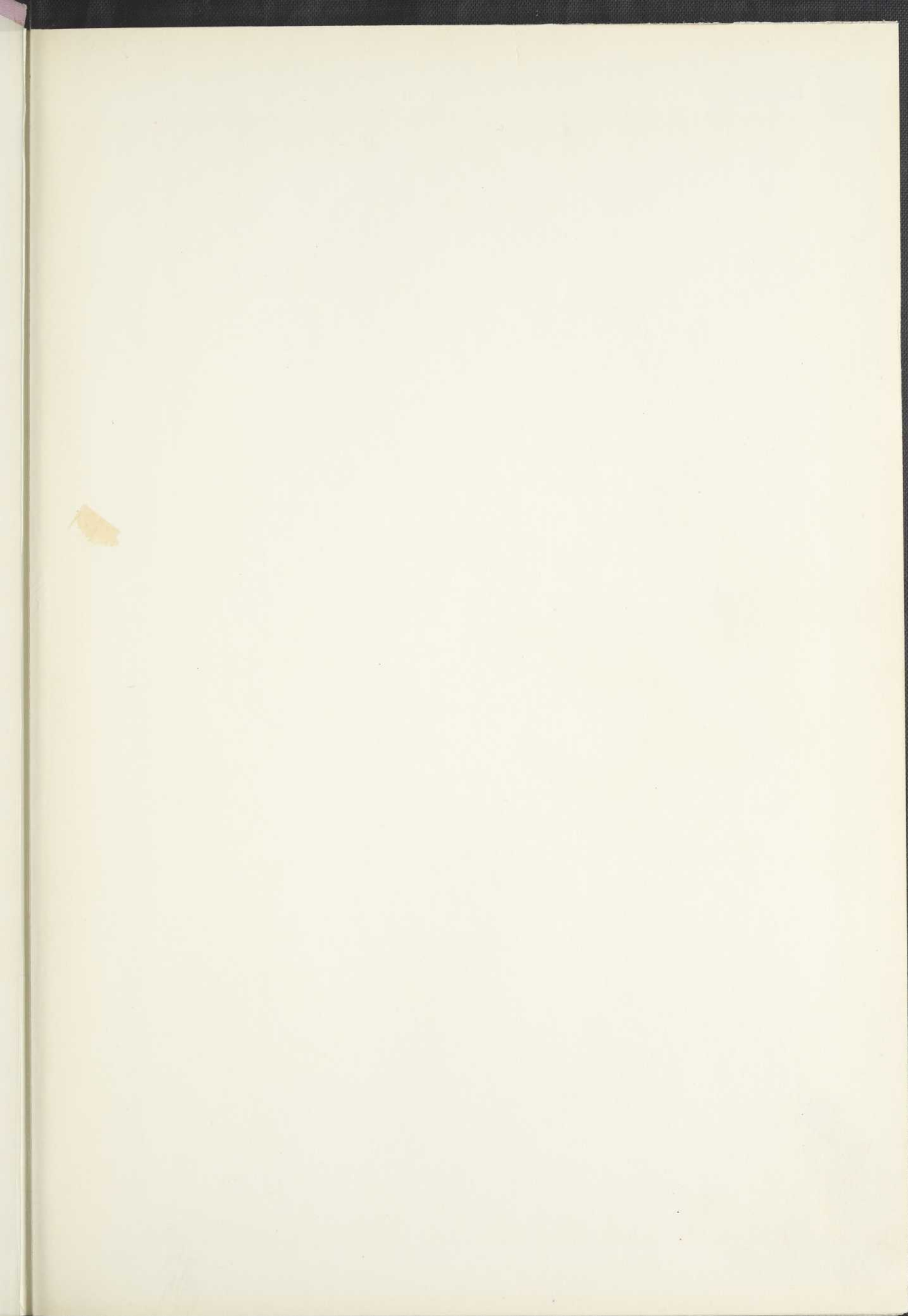


*travaux et documents
du centre d'études nordiques*

4

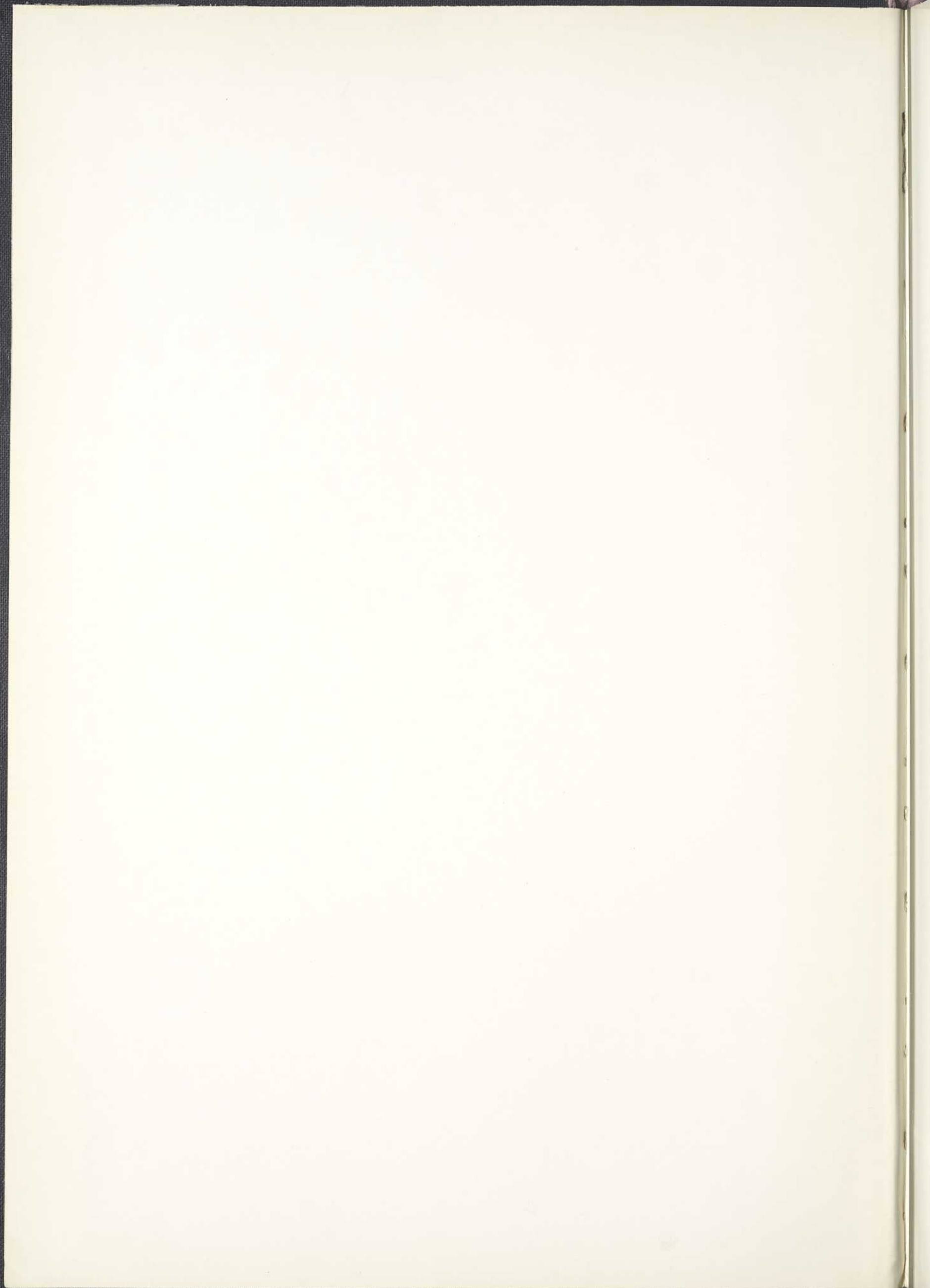
LES PRESSES DE L'UNIVERSITÉ LAVAL







M. M. Grandtner



Handwritten signature
juin 1968

LE PÉRIGLACIAIRE PAR L'IMAGE
ILLUSTRATED GLOSSARY OF PERIGLACIAL PHENOMENA

Parus dans la même collection

1. DORION, Henri. *La frontière Québec-Terre-Neuve*. 1963.
2. BIAYS, Pierre. *Les marges de l'œkoumène dans l'Est du Canada*. 1964.
3. SCHNEIDER, Lucien, O.M.I. *Dictionnaire du langage esquimau de l'Ungava*. 1966.

TRAVAUX ET DOCUMENTS DU CENTRE D'ÉTUDES NORDIQUES

4

LOUIS-EDMOND HAMELIN

Centre d'études nordiques, Québec

FRANK A. COOK

Geographical Branch, Ottawa

**LE
PÉRIGLACIAIRE
PAR
L'IMAGE**

**ILLUSTRATED
GLOSSARY
OF PERIGLACIAL
PHENOMENA**

**LES PRESSES DE L'UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC, 1967**

© 1967. LES PRESSES DE L'UNIVERSITÉ LAVAL
Tous droits réservés. Imprimé au Canada.

PRÉSENTATION

Le Périglaciaire par l'image est un ouvrage fondamental dont la publication, attendue depuis quelque temps, non seulement apporte un bilan original des connaissances actuelles dans ce domaine encore peu étudié de la géomorphologie des pays froids, mais aussi servira d'inspiration aux nombreux champs de recherche qui restent à explorer. Les phénomènes périglaciaires actuels, d'altitude comme de latitude, sont d'une importance essentielle dans l'explication des formes majeures et mineures du modelé récent de la surface terrestre. On devine aisément, en outre, l'intérêt que présente cette nouvelle science du périglaciaire pour l'étude de la paléogéomorphologie dont les applications s'étendent à bien d'autres sciences : géologie, pédologie, génie civil, paléontologie, archéologie. L'ouvrage de MM. Hamelin et Cook arrive donc à un moment où il sera d'une grande utilité aux étudiants et aux chercheurs.

Par des voies et des méthodes souvent différentes, les deux auteurs ont longuement étudié, analysé et classifié les phénomènes périglaciaires qui se rencontrent au Canada et dans bien d'autres régions avant d'en arriver à cette première synthèse. Nous constatons avec plaisir que leur collaboration nous vaut l'un des tout premiers ouvrages scientifiques canadiens que l'on puisse qualifier de vraiment bilingue. La démarche propre et le style de chaque auteur sont ici entièrement respectés dans une œuvre qui aboutit non seulement à des résultats parallèles dont chacun garde le mérite, mais à des conclusions et à des thèses souvent convergentes et toujours stimulantes pour l'esprit. Nous noterons, en particulier, un effort fructueux pour doter le périglaciaire d'un vocabulaire quelquefois audacieux mais toujours logique et réaliste.

Il nous faut déplorer, en terminant, la mort prématurée de Frank A. Cook, qui n'a pu ainsi mettre la dernière main à l'ouvrage. En même temps, nous devons louer Louis-Edmond Hamelin de la probité intellectuelle dont il a fait preuve en tenant malgré tout à publier l'œuvre comme elle avait été conçue, et en acceptant la collaboration de Jack Ives qui a su tirer le parti le meilleur de certaines notes manuscrites de Frank A. Cook.

Fernand GRENIER,
Doyen de la faculté des Lettres.

Université Laval, Québec.
Le 10 novembre 1967.



PREFACE

The Geographical Branch, through its responsibility to undertake geographical research in the Canadian Northlands, has long been concerned with cold climate phenomena and cold climate processes. Professor Louis-Edmond Hamelin and Mr. Frank A. Cook have devoted much of their careers to the study of periglacial geomorphology. Thus, in the early part of 1964, when it proved feasible to engage the services of Louis-Edmond Hamelin, the project to produce an illustrated glossary of periglacial phenomena with accompanying text and bibliography was enthusiastically endorsed by the Branch. It was conceived as a Canadian contribution to the Commission on Periglacial Geomorphology, of the International Geographical Union. The collaboration of the authors permitted a second achievement of more general significance in the present-day milieu of Canadian nationhood—the fabrication of a bilingual monograph that is not a French-English translation in the normal sense, but is a “coming together” of two authors, each in their own language. Thus, while there is general agreement, differences between the two texts occur, and these reflect the differences of opinions between the two authors.

As explained in the introduction, the present work is not exhaustive, but it is an important contribution, an aid to the process of rationalizing the scientific approach to the study of cold climate phenomena and processes. It should also be regarded as a product of the co-operation between l’Institut de géographie, Université Laval, and the Geographical Branch, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.

Frank Cook’s untimely death occurred before he had completed his part of the task. I have attempted to edit the english text and to complete the writing of a few short sections, although every attempt has been made to retain the original words, despite the incompleteness of the final draft. In a sense, this publication is not only an instance of the co-operation between two authors, two institutions, two cultures, it is a memorial to Frank Cook.

Jack IVES, Director,
Geographical Branch,
(Inugsuin Fiord, July 1966).



“Present
inadequate
knowledge.”

A. L. WASHBURN, 1956.

« ... dresser un
inventaire complet
des phénomènes. »

J. DYLIK, 1962.

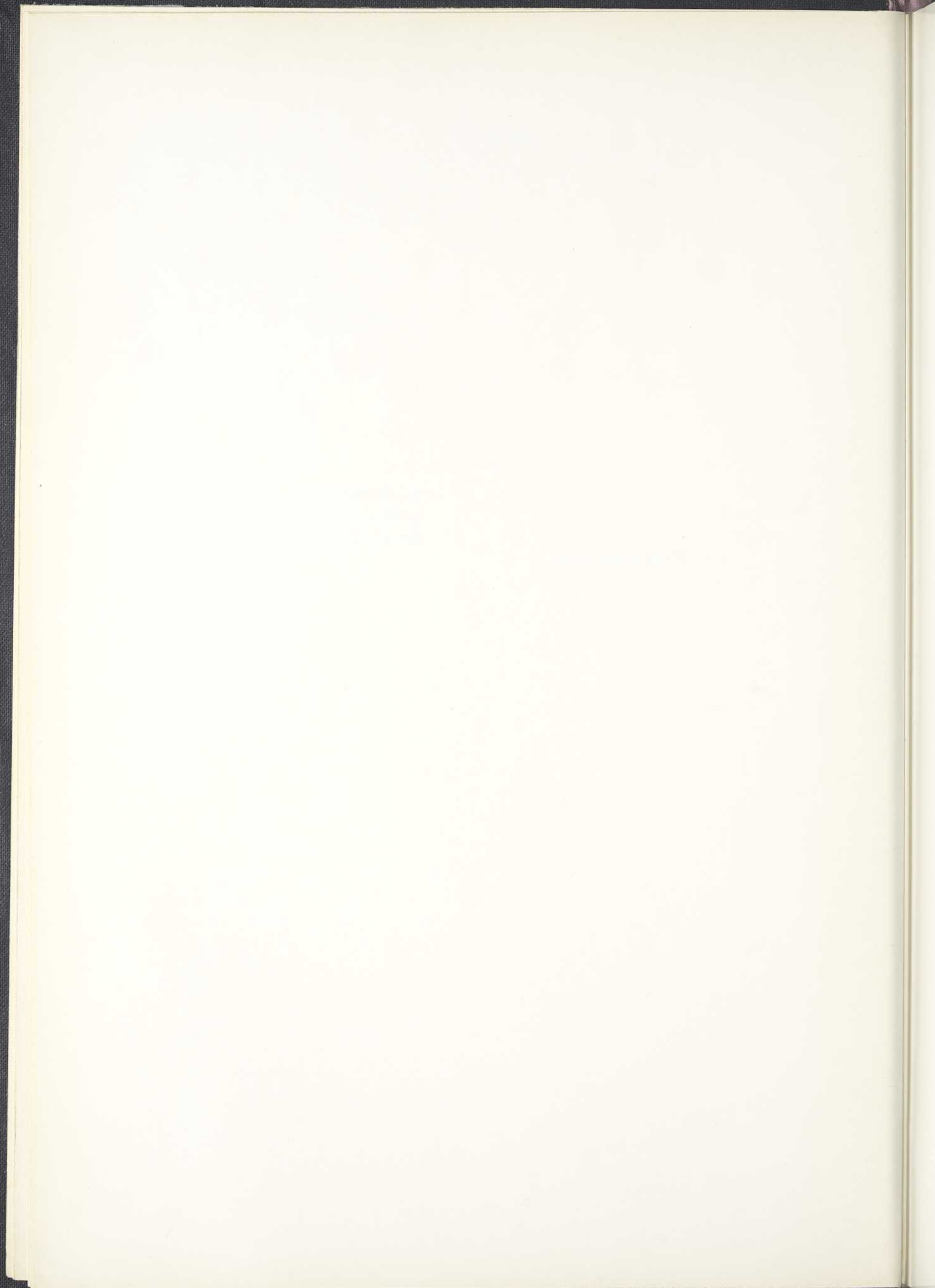


TABLE OF CONTENTS

Présentation	VII
Preface	IX
Table of contents	1

Introduction: The periglacial concept	11
Definitions	11
Nomenclature	11
Classification of periglacial phenomena	12
Plan of the present study	13

Part one : *Ground ice — Congelifraction — Nivation — Floating ice forms*

Chapter one: Ground ice

Introduction	17
1-1 Needle ice	19
1-2 Ice lenses (Miniature)	21
1-3 Massive ground ice	23
1-4 Pingo and palsa	25
1-5 Ice wedges	31
1-6 Thermokarst	37
1-7 Permafrost	43
Sources of figures	48

Chapter two: Frost-shattering (Congelifraction)

Introduction	53
2-1 Frost-shattered blocks	55
2-2 Talus	57
2-3 Felsenmeere	61
2-4 Surface remnants	63
Sources of figures	64

Chapter three: Nivation

Introduction	67
3-1 Avalanches	69
3-2 Nivo-karst	73
3-3 Nivation hollow	75
3-4 Protalus	77
3-5 Residual snow (Differential snow melt)	79
3-6 Rock glaciers	83
3-7 Cryoconite	87
Sources of figures	88

Chapter four: Floating ice forms

Introduction	91
4-1 Floating ice sediments	93
4-2 Ice-rafted blocks	95
4-3 Floating ice ridges	97
4-4 Ice-foot niches	101
4-5 Floating ice striations	103
Sources of figures	104

Part two : *Running water and wind action in a periglacial environment*

Chapter five: Fluvial features

Introduction	109
5-1 Asymmetric valley	111
5-2 Periglacial vale	113
5-3 Flat-bottomed valleys	115
5-4 Rill network on snowbanks	117
5-5 Stratified slope deposits	119
5-6 Thermo-erosional niche	123
5-7 Fluvial, snow and floating ice features	125
Sources of figures	126

Chapter six: Eolian forms

Introduction	129
6-1 Eolian erosion	131
6-2 Loess	133
6-3 Eolian deposits on snow and ice	135
6-4 Oriented lakes	137
Sources of figures	138

Part three : *Patterned ground, Solifluction and Cryoturbation*

Chapter seven: Patterned ground

Introduction	141
7-1 Tundra polygons	145
7-2 Sorted circles	149
7-3 Desiccation polygons	153
7-4 Lobate soils (Steps)	155
7-5 Stripes	157
7-6 Vegetation polygons	161
7-7 String bogs	165
7-8 Earth hummocks	169
7-9 Boulder pavement	173
Sources of figures	174

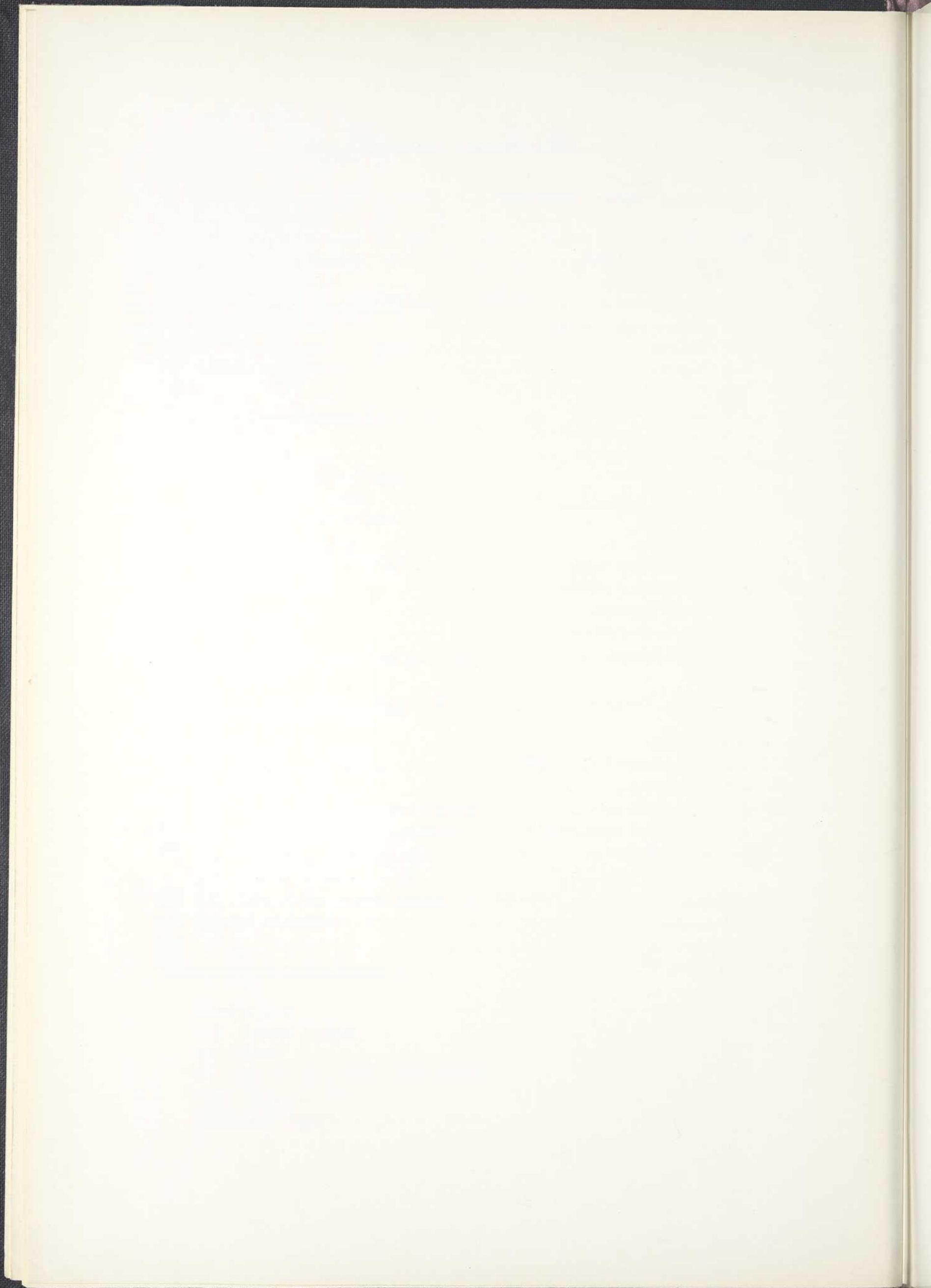
Chapter eight: Solifluction

Introduction	179
8-1 Solifluction flow	181
8-2 Solifluction slopes	183
8-3 Head deposits	185
8-4 Glacio-solifluction	187
Sources of figures	189

Chapter nine: Congeliturvation (Frost churning)

Introduction	191
9-1 Frost-heaved congelifraacts	195
9-2 Involutions	197
9-3 Congeliturvations (Frost churning)	199
9-4 Deranged stratigraphy	203
Sources of figures	204

Selected bibliography	207
Index of periglacial phenomena	229
Sources of figures	231
Table des matières	235



INTRODUCTION

I. — PRÉSENTATION DU PÉRIGLACIAIRE

A. — Terminologie

La terminologie périglaciaire actuelle, on le sait, est incohérente, imprécise, incomplète et non systématique. Si sa formation empirique explique qu'elle n'ait jamais été conçue dans une perspective globale, le poids de cet héritage n'en affecte pas moins lourdement le langage scientifique. Beaucoup de chercheurs ayant déjà accepté et véhiculé nombre de termes insatisfaisants, la terminologie actuelle ne saurait donc facilement se modifier. Dans de telles conditions, quoi d'autre à faire que des accommodements ?

D'abord, nous acceptons le terme « périglaciaire », à la suite de la Commission internationale dite du périglaciaire (1949), du *Biuletyn Peryglacjalny* (1954), de A. DYLIKOWA (1962) et de la plupart des chercheurs. Le mot a été créé en 1909 en Pologne par ŁOZIŃSKI ; sans pouvoir affirmer qu'elle le fut alors pour la première fois, l'expression a été employée aux États-Unis en 1932 par H. EAKIN, dans les pays de langue allemande en 1936 par J. BÜDEL, en France en 1937 par A. CAILLEUX et en Grande-Bretagne en 1940 par H. G. DINES. Au Canada, avant que nous (LEH) ayons publié le terme périglaciaire en 1952, KINDLE, COLEMAN, JOHNSTON et NICHOLS, entre autres, avaient décrit des phénomènes se rapportant à cette branche de la géomorphologie. Nous utilisons le mot périglaciaire dans son sens étendu, c'est-à-dire que la réalité qu'il signifie ne se limite plus seulement aux bordures d'indlandsis et aux phénomènes de glace dans le sol mais englobe toutes les situations géo-bio-climatiques découlant des processus « froids » autres que les actions traditionnellement considérées comme glaciaires et fluvio-glaciaires. Cette conception n'est pas éloignée de celle de J. DYLIK :

Les processus les plus importants, écrit-il en 1964, sont la formation de la glace de sol... ; les perturbations de la structure primordiale par la glace de sol et les contractions thermiques ; la gélivation intense ; les processus de versants sous forme de congélifluxion, ruissellement et éboulis de masses gelées ; les activités du vent intense ; l'écoulement saisonnier et thermiquement conditionné d'eaux faiblement organisées et caractérisées par de forts débits solides.

Dans cette citation, bien que la fonte de la neige et l'action des glaces flottantes ne soient pas dûment mentionnées, elles seraient des modes d'« écoulement thermiquement conditionné ».

Nous gardons aussi quelques termes utilisant des racines et troncés divers, tels cryo, géli, nivo, glace, sol et polygones ; certaines expressions dérivées de ces mots-souches n'offrent pas trop d'inconvénients. Cependant nous sommes d'avis de restreindre le sens — démesurément élargi — de certains mots, tel « nivation » qui ne doit se rapporter qu'à l'action dominante de la neige et non pas à celle de tous les processus « froids » réunis ; de même « cryonival », qui s'appliquerait mieux aux seules responsabilités conjointes du cycle gélival et de la neige qu'à toute la « périglaciation ». A « géli », l'histoire a donné deux sens : une connotation très large à la dimension de tout le périglaciaire, par exemple dans gélivation, et une signification restreinte exprimant l'un des résultats du cycle gélival, par exemple dans gélifraction ; c'est une telle interprétation limitée que nous aimerions voir adopter. Dans le même esprit, l'on ne peut plus penser que la polygonation classique (*patterned ground*) équivaille au

tout périglaciaire. Ainsi, ces racines particulières n'exprimeraient plus des situations globales. Pour traduire ces dernières, l'on pourrait utiliser davantage le terme même de « périglaciaire » comme tronc de base ; ce qui donnerait, par exemple, périglacialiste, paléopériglaciaire, périglaciaire saisonnier, aire périglaciaire...

Sans être idéale, cette terminologie semble acceptable ; elle permet de s'exprimer mieux sans sacrifier la plupart des mots en usage.

B. — Définitions

a) « *Périglaciologie* » générale. Le périglaciaire comprend des méthodes de travail qui conduisent à une meilleure compréhension de certains aspects caractéristiques des pays froids. Ces méthodes relèvent de diverses disciplines, tels la géomorphologie, la glaciologie (glace dans le sol, glace flottante), la microclimatologie, la géographie, la pédologie, le génie et la cartographie. Même si la périglaciologie reste encore peu développée, elle offre beaucoup d'intérêt tant académique que pratique.

b) *Recherches de géomorphologie périglaciaire*. Les recherches de géomorphologie périglaciaire tiennent leurs caractéristiques fondamentales du corpus de la géomorphologie générale. Cinq champs d'étude sont possibles :

1° Le périglacialiste (ou périglaciologue) s'intéresse d'abord au simple inventaire et à la cartographie des unités du relief ;

2° Dans une optique explicative, il s'attarde aussi à l'examen des processus « froids » et des processus universels agissant en milieux froids. L'action de ces processus est doublement polygénétique : la polygénie est d'abord simultanée car plusieurs mécanismes sont en action en même temps ; la polygénie est également successive car des saisons plus périglaciaires peuvent alterner avec des périodes moins ou pas du tout froides. Ainsi, dans un sédiment, dans une structure, dans une forme et à plus forte raison dans le paysage, devons-nous trouver le reflet de différentes combinaisons des processus ;

3° Dans le but de rendre ses recherches directement utilisables, le périglacialiste peut juger des « vocations » des lieux périglaciaires face à leur humanisation rétrospective ou éventuelle ; naissent ainsi des études « appliquées » où sont décrits les avantages et les inconvénients des sites périglaciés ; ces travaux peuvent s'avérer très utiles, par exemple, à la construction dans l'Arctique d'une piste d'atterrissage. Dans la même optique, l'on peut mener des études sur la préhistoire car la localisation des habitats était en grande partie fonction des micro-conditions morphologiques, cas des abris-sous-roche, au Quaternaire ; la périglaciologie peut même aller de pair avec l'archéologie et l'on a constaté une relation étroite entre les dépôts mis en place par les processus froids et les objets laissés par des tribus du Paléolithique ;

4° Le périglacialiste, surtout s'il est géographe, s'intéresse à l'aspect régional, préoccupation qui dépasse la simple localisation des phénomènes individuels. Il s'agit d'une conception globale où l'on considère davantage les traits fondamentaux du paysage que les formes individuelles de terrain et leurs processus singuliers. Cette considération d'ensemble conduit à une compréhension plus grande du relief. Dans cette perspective, l'on peut d'abord distinguer l'aire périglaciaire restreinte, réduite au territoire intensément périglacié, de l'aire périglaciaire maximale qui comprend à la fois l'aire restreinte et tout l'espace vague dans lequel des phénomènes périglaciaires singuliers ont pu avoir été relevés. Cette distinction reflète la réalité. En effet, tant sur le plan des processus que sur celui des phénomènes, il y a des différences de valeur dans l'indice périglaciaire. Pour la période climatique actuelle, alors qu'à peu près tous les processus peuvent s'exprimer dans l'Arctique, il n'y en a plus que quelques-uns

— neige, glaces flottantes et cycle gélival — qui « opèrent » dans les régions tempérées (l'aire « subpériglaciaire » de RÓŻYCKI, 1956) ; dans ces pays de moyenne latitude, la glace dans le sol et l'éolisation périglaciaire ont peu d'effet sur l'évolution du relief. De semblables différences spatiales existent également sur le plan des phénomènes individuels ; les polygones de toundra, les lacs orientés se développent dans la zone arctique alors que les tourbières réticulées le font surtout dans le Subarctique ; par ailleurs, les turbations les plus évoluées ne sont pas situées dans les régions climatiques les plus sévères. Les milieux périglaciaires sont donc multiples et spatialement différenciés. Même pour la seule période actuelle, il faut regarder au-delà de l'aire polaire proprement dite.

Il y a d'autres façons d'indiquer les différences régionales. L'on pourrait reconnaître au moins deux degrés dans la régionalisation inductive : le premier consisterait à isoler des sous-régions, relativement réduites en étendue et fortement caractérisées par la présence d'un phénomène dominant, par exemple un delta à pingos, une plage à *patterned ground* ; le second degré se définirait par la délimitation de vastes provinces trouvant leur unité aux niveaux du régime ou des indices, par exemple la zone pergélisolée.

Enfin, une autre typologie régionale distinguerait, en exprimant une certaine « zonation » actuelle, les périglaciaires polaire, péripolaire, tempéré à saison froide ; à ces bandes latitudinales, s'ajoutent les régions littorales et montagneuses.

Il est souhaitable de dresser autant de cartes régionales qu'il y a de périodes périglaciaires (actuelle et antérieures) ;

5^o Comme tout géologue, le chercheur en géomorphologie périglaciaire doit être attentif à l'âge des phénomènes étudiés ; aussi, qu'il considère des phénomènes isolés, des processus, des « vocations » ou des régions intégrantes, doit-il respecter leur chronologie, d'autant plus que chacune des nombreuses périodes froides avait apparemment son régime et son indice périglaciaires. L'étude des structures permet de distinguer des moments à l'intérieur d'une même période, par exemple, des phases de progression, de maximum et de régression. Il est même possible, à l'aide d'analyses de pollens, de matières organiques et d'outils préhistoriques, d'établir une chronologie plus fine encore. Les paléopériglaciaires se distinguent donc du périglaciaire actuel.

Les périglacialistes n'ont pas encore exploité à fond chacune de ces cinq avenues et ils se sont surtout intéressés à l'inventaire de certains phénomènes. L'état de ces études influence le présent texte qui traite davantage des formes singulières que de tout autre aspect.

C. — *Classifications périglaciaires*

Dans quel ordre est-il préférable de présenter les phénomènes ? En d'autres termes, comment classe-t-on l'ensemble des formes, des structures et des sédiments périglaciaires ? Dans le passé, les typologies ont été relativement nombreuses. Des classifications apparaissent dans les traités généraux du périglaciaire, notamment ceux de Carl TROLL, Jean TRICART, et dans de nombreux articles régionaux. En 1952, dans la légende adoptée par le premier bureau de la Commission de Géomorphologie périglaciaire, les symboles sont catalogués en quatre catégories : formes éoliennes, formes d'accumulation fluviale et fluvio-marine, formes réalisées en milieux solide et boueux, formes diverses. Une classification semblable se dessine dans les commentaires d'une carte périglaciaire de l'Italie présentée par G. NANGERONI. En 1955, A. CAILLEUX, A. GUILCHER et J. TRICART divisent les phénomènes périglaciaires français du Würm en quatre groupes : actions éoliennes, formations de pente, formations alluviales, cryoturbations. En

1957, l'un de nous utilise cinq catégories : formes en creux, accumulation uniformisante, accumulation « cahotique », périglaciaire sédimentologique, éolisation. La même année, un programme général de la Commission de Géomorphologie périglaciaire, texte rédigé par Jan DYLIK et René RAYNAL, comporte une certaine classification des phénomènes. En 1959, Frank A. COOK a groupé les phénomènes périglaciaires autour des processus suivants : froid (déficit thermique), cryoturbation, eau, vent, mouvement de masse, thermokarst, neige, glace (flottante). Enfin, en 1960, C. CAPELLO fait la revue de la plupart des classifications périglaciaires avant d'en proposer une nouvelle, basée à la fois sur la nature des terrains, le mouvement, le triage, l'eau et le vent. Nous hésitons à reprendre en bloc ces diverses classifications et d'autres points mentionnés ici ; nous n'acceptons pas non plus la division du périglaciaire en catégories rigides : érosion, transport, accumulation. Tout autant insatisfaisantes seraient les typologies basées uniquement sur des éléments singuliers : nature des matériaux, conditions microclimatiques, tapis végétal ; les phénomènes périglaciaires sont trop polygénétiques pour se laisser grouper sous des thèmes à influence locale. Quant à l'aspect dimensionnel des formes, il est inapte à offrir pour l'ensemble des phénomènes un cadre convenable de groupement. Le critère régional ne nous semble pas non plus suffisant car des phénomènes semblables se retrouvent dans des aires très différentes. Enfin, l'âge ne s'avère une clef possible que dans les recherches très fouillées, ce qui n'est pas encore le cas du périglaciaire mondial.

Il nous reste à considérer l'aspect génétique. Si les études ne nous permettent pas de baser la classification de tous les phénomènes sur des processus irréductibles, par exemple l'amenuisement, elles ne nous interdisent quand même pas d'utiliser des éléments génétiques plus englobants que nous appelons ici « catégories ». Celles-ci peuvent former trois groupes.

Les deux premiers détiennent leur spécificité de l'action dominante 1° de l'un ou l'autre des quatre agents strictement périglaciaires, à savoir le gel à long ou à court terme des matériaux (les catégories correspondantes sont dénommées gélisation et gélifraction), la neige (nivation), les glaces flottantes (« glaciellisation ») ; et 2° de deux agents polyzonaux mais pouvant travailler dans des milieux « froids », tels le ruissellement (fluviation périglaciaire) et le vent (éolisation périglaciaire). Les phénomènes présentés dans ces deux premières catégories, tout en se rattachant à un agent dominant, sont également issus de l'action secondaire d'autres processus et conditions. 3° Enfin, pour certains phénomènes, la paternité d'un facteur majeur n'est guère identifiable ; on ne peut attribuer toutes les formes apparentées, par exemple les polygones, à un seul responsable, fussent-elles même les oscillations thermiques autour de 0°C ; de plus, il y a des classes de phénomènes qui tiennent à l'action de processus dont jusqu'à présent l'influence est encore plus mal établie ; ces groupes composites sont la « figuration », la gélifluxion et la géliturbation. C'est cette classification par « catégories génétiques » que nous utilisons.

II. — OBJET DU PRÉSENT OUVRAGE

Ce travail consiste en la présentation analytique de la plupart des phénomènes périglaciaires. Si, avant tout, il considère les formes polaires et actuelles, il n'ignore pas pour autant les manifestations périglaciaires anciennes et celles qui sont localisées dans des régions de latitude moyenne ; l'hémisphère austral, qui possède une aire périglaciaire beaucoup plus réduite que celle du monde boréal, a fourni quand même quelques photos. Une certaine préoccupation générale, même universelle, a donc présidé à l'élaboration de cet inventaire.

A la fois dictionnaire illustré et petit traité, cet inventaire se veut cependant plus concret que normatif. Il n'est pas complet : certains phénomènes

ne sont que mentionnés ; des questions ne sont pas abordées. Les commentaires sont brefs et ils ne sont pas « mathématisés ». C'est que nous nous adressons aux chercheurs des sciences de la terre qui voudraient avoir un tour d'horizon actuel, concret et éclectique du périglaciaire géomorphologique, ce qu'ils chercheraient en vain dans la littérature à ce jour publiée.

Heureusement, le matériel visuel — photographies ou croquis — provient de sources bien diverses. Parfois, il s'agit d'images classiques qu'on aurait eu tort de remplacer par des clichés nouveaux mais moins pittoresques ; de plus, les textes qui encadrent ces photos offrent des commentaires plus détaillés que ceux qu'il est d'usage de présenter dans un dictionnaire ; le tableau « Localisation et provenance des illustrations », inséré à la fin de chaque chapitre, contient les indications nécessaires à l'établissement des références bibliographiques. Cette banque de photos comprend à la fois des reproductions et des illustrations originales.

Les illustrations sont accompagnées de commentaires. Ceux-ci sont bilingues, français et anglais ; comme on le constatera, il ne s'agit pas du tout de traduction technique ; les deux textes sont des créations jumelles qui, consacrées à la présentation de phénomènes identiques, reflètent les caractères particuliers de deux mondes ; il pourra même être utile au lecteur de consulter les deux versions. Les unités du texte anglais sont exprimées selon le système britannique et celles du texte français d'après le système métrique.

L'ouvrage, précédé d'une introduction très générale surtout consacrée à la périglaciologie, se divise en trois parties elles-mêmes subdivisées en neuf chapitres ; chacun des chapitres commence par une introduction spécifique contenant la présentation des phénomènes de la catégorie. Les chapitres sont divisés en sections à l'intérieur desquelles les phénomènes apparaissent suivant un ordre de complexité croissante. Dans les commentaires, de longueur variable suivant l'importance du phénomène et l'abondance des documents, nous abordons la description, l'explication, la régionalisation, l'âge et parfois l'incidence « humaine » de la forme étudiée.

Une bibliographie suffisamment abondante permet au lecteur de compléter ce petit ouvrage.

Afin de faciliter la consultation rapide de ce glossaire illustré, nous avons établi dans les deux langues un index détaillé concernant les phénomènes décrits ou mentionnés. Cette liste était nécessaire, étant donné le type de classification utilisée et le fait que la présentation des phénomènes polygénétiques n'apparaît qu'une seule fois. Les mots de l'index sont au singulier. Suit la liste des personnes et des organismes qui ont fourni les illustrations.

Il nous est agréable de manifester notre vive reconnaissance d'abord aux organismes qui ont facilité nos travaux de recherches, à savoir la direction de la Géographie à Ottawa, le *Scott Polar Research Institute* à Cambridge (G.-B.) et l'institut de Géographie de l'université Laval à Québec. Notre gratitude s'étend aussi aux cinquante personnes et organismes, dont le *Biuletyn Peryglacjalny* de Pologne, qui nous ont permis la reproduction de certaines photos. Nous devons également beaucoup aux renseignements échangés, depuis 1957, lors de plusieurs réunions internationales de périglacialistes. Enfin, nous remercions M. Jacques Bernier qui a relu le manuscrit et M. Fernand Grenier, doyen de la faculté des Lettres, en tant que président du comité d'édition du Centre d'Études Nordiques.

Le présent ouvrage entre dans la série des travaux du comité canadien de la Commission de Géomorphologie périglaciaire de l'Union géographique internationale.



INTRODUCTION

THE PERIGLACIAL CONCEPT

Definitions: Periglacial geomorphology is the study of all processes and phenomena found in cold regions. It employs techniques and concepts used in many other disciplines, such as glaciology, geology, microclimatology, engineering, pedology, cartography and statistics, including the use of digital computers. As a specialized field of research within geomorphology, it is in its early stages of development. It has both scientific and practical uses with many applications in the engineering and constructional fields.

There are a number of fundamental characteristics which periglacial geomorphology has in common with geomorphology in general; for example, the description, explanation and mapping of phenomena which are unique forms at the earth's surface. Two different kinds of processes are examined: (a) those which are peculiar to periglacial environments and which are the result of cold climate processes and (b) other processes such as running water and wind which, although they have universal application, are also active in periglacial areas. In addition many processes are polygenetic, several may operate in the development of a single form. Patterned ground, for example, is influenced by different processes at different times of the year; frost action in winter, solifluction, rill wash and vegetative growth in spring or summer.

In general, two environments are recognized, one in which periglacial phenomena and processes are dominant, and the other in which they are of secondary importance. It is also possible to regionalize on the basis of location, regardless of processes or phenomena involved; polar or arctic, sub-arctic, temperate climates with cold winters where frost action is important, littoral, mountainous, and so on.

Studies in periglacial geomorphology require a chronological basis. There have been a number of cold periods in the past when periglacial processes have been important so that in areas where cold climate processes are today insignificant, relic forms of these cold periods may be recognized.

It is not possible to explore all the interesting facets of periglacial study in this publication which is limited in scope to a descriptive and illustrative presentation of selected phenomena.

Nomenclature: Periglacial terminology is irrational, imprecise, incomplete and non-systematic; it has been developed empirically and has no universal acceptance. Many different terms have been used to define a single phenomenon or process; and in many cases the same term has been used by different workers to describe dissimilar forms. This confusion is understandable in view of the newness of serious works in this specialization within the broader framework of geomorphology and the lack of contact between workers in various countries, or even within the same country. It was not until 1949 that the Commission on Periglacial Geomorphology was formed under the International Geographical Union, and considerable consolidation and coordination of research have been achieved since that date. The problems in terminology are great for although many terms are obviously unacceptable and in need of revision, it is difficult to change current usage because of inconvenience and confusion to other workers. Accordingly, this glossary utilizes most of the current terminology, despite reservations on the validity of certain terms.

The term "periglacial" was introduced by ŁOZIŃSKI (1909) following studies of weathering in the Carpathian Mountains where he recognized traces of the action of a special climatic environment in areas formerly adjacent to the Pleistocene Ice Sheets. Considerable discussion has ensued through the years over a precise definition of the term "periglacial." BÜDEL, for instance, restricted its use to relief features and processes at the immediate margins of the former and present ice sheets. TROLL (1944) considered that periglacial phenomena also occurred in high mountains in temperate and tropical regions. Recent workers (v.g. HAMELIN, 1961) extend the periglacial environment to all areas in which frost action is an important factor, and this interpretation will be followed here.

In the English section of this glossary, the term periglacial is used adjectively; for example, "periglacial environment" and "periglacial region." However, in French, the term *périglaciaire* is also a noun equivalent to periglacial geomorphology.

In cases where one process is involved the terms will be used without qualification. Nivation, for example, refers exclusively to the action of snow and not to other cold processes. In other cases, however, certain refinements will be made if additional processes are involved. "Cryonival" refers to the combined action of both frost and snow. "Geli" has a much broader connotation—congeliturbation is defined as a frost action process including frost-heaving, solifluction, and differential and other mass movements. Patterned ground, too, is a group term involving many phenomena and processes.

Although the terminology used here is far from ideal, it is hoped that it will permit adequate description without sacrificing the terms presently in use.

Classification of Periglacial Phenomena: An ideal classification of periglacial forms and sediments has not been developed. In the past a number of classifications have been introduced based on general characteristics of periglacial features, notably those of Carl TROLL (1944) and Jean TRICART (1950). In the legend adopted in 1952 by the Commission on Periglacial Geomorphology the symbols were grouped in four categories: wind forms, forms from fluvial and fluvio-marine accumulations, solid and muddy forms and miscellaneous forms. A similar classification was presented by G. NANGERONI in *A Commentary on the Periglacial Map of Italy*. In 1955, A. CAILLEUX, A. GUILCHER and J. TRICART divided Würm phenomena into four groups: wind forms, slope formations, alluvial formations and cryoturbation formations. HAMELIN (1957) used five categories: hollow forms, uniform accumulations, rough accumulations, periglacial sedimentology and forms due to wind action. The same year, in the general program of the Commission on Periglacial Geomorphology, DYLIK and RAYNAL proposed that a classification should be developed that could have universal acceptance. COOK (1959) classified periglacial phenomena on the basis of process: cold (negative heat balance), cryoturbation, water, wind, mass movement, thermokarst, snow and ice. Finally, CAPELLO (1960) made a survey of several periglacial classifications and proposed a new one based on: nature of the terrain, movement, sorting and water and wind. Certain of the older classifications are rejected here, as it is necessary to divide periglacial processes and phenomena into rigid categories of erosion, transportation and accumulation. The unsatisfactory classifications are those based on the nature of the material, climatic conditions, vegetative cover and regime as periglacial phenomena are too polygenetic in origin to be grouped by local influences. Because of the vast variations in form, it is proposed to adopt a simplified and convenient grouping here although this should not be considered as a new classification. There will be no attempt to group forms regionally or chronologically.

The genesis of the features has been considered of prime importance in this study. As a result a loose grouping of phenomena has been introduced based on the dominant process involved in the development of the feature, as for example ground ice, frost-shattering, nivation or floating ice, which are peculiar to periglacial regions, as well as other processes which are present although not restricted to periglacial regions, such as running water and wind action.

Plan of the Present Study: The plan is to briefly examine selected periglacial phenomena. Both active forms from northern or high mountain areas, and fossil forms in areas that previously experienced periglacial climates will be considered.

Because of the magnitude of the task, the present glossary does not attempt to be exhaustive and it is more factual than theoretical. Certain phenomena are not included, many problems are not considered and the commentaries are brief and qualitative rather than analytical and quantitative. It is aimed at providing the specialist student of earth sciences with background in a section of geomorphology which has received little attention and is little understood by other workers not specializing in the field.

The illustrative material, photographs and diagrams have been gathered from a number of sources and the writers wish to thank all those who have contributed. Several classic illustrations which have been published elsewhere have been reproduced as it has proved impossible to find adequate substitutes. However, the majority of the photographs are original and reproduced for the first time.

The sections on individual phenomena are divided into two parts, one illustrative, the other descriptive. The commentary is in French and English. However, the text is not a translation, as each part has been written independently, although considerable discussion has taken place between the two writers. Accordingly, there are some minor differences in interpretation between the two commentaries; these are to be considered as the opinions of the individual writers on those points.

Each of the sections has a short introductory discussion. Following the illustrative section, the various phenomena are discussed briefly, taking the following points into consideration: physical description of feature, explanation of possible origin, distribution, its age and its influence on human activity. The space reserved for each form is variable, depending on its relative importance, and amount of illustrative and textual material available.

The glossary is divided into three parts. Part I discusses forms and processes that are strictly periglacial in origin; ground ice, congelifraction, nivation and floating ice. Part II is concerned with two processes, fluvial and eolian which, although universal in application, assume characteristic forms in a periglacial environment. Polygenetic forms are dealt with in Part III, with references to patterned ground, solifluction and cryoturbation. The work concludes with a selected bibliography, and indices of both the writers of the illustrations, and the individual phenomena.



PREMIÈRE PARTIE

CATÉGORIES DÉFINIES
PAR UN
AGENT PÉRIGLACIAIRE
DOMINANT

PART ONE

GROUND ICE
—CONGELIFRACTION
—NIVATION
—FLOATING ICE FORMS

Chapitre premier : *Glace dans le sol — Gélisation*

INTRODUCTION

La glace dans le « sol » et le sol gelé, à la fois causes et conséquences de nombreux phénomènes périglaciaires, constituent les aspects les plus caractéristiques des pays froids non glaciés. Habituellement on distingue : 1° le *pergélisol* proprement dit qui consiste dans la durée prolongée du gel dans certains matériaux contenant à l'origine plus ou moins d'humidité (voir 1-7) et 2° les enrichissements locaux de glace dans le sol qui peuvent prendre le profil d'un *coin*. Sur le plan de la répartition, la glace habite donc le sol d'une manière plus ou moins continue.

Dans ce chapitre, il est question à la fois de vue en coupe et de vue en plan des phénomènes ; l'on considère tantôt la stratigraphie, tantôt la morphologie.

Suivant une typologie usuelle tenant aux conditions de congélation, il y aurait quatre principaux types de glace dans le sol : engel de sédiments humides, glace de ségrégation interne, glace développée dans des cavités ouvertes à la surface, glace profonde d'injection. L'on pourrait ajouter deux autres types : la glace allogène qui vient de l'enfouissement de champs de glace de glacier, de pack ou de neige transformée et le glaçage (givrage) des objets ou des parois.

D'un « champ » de glace, l'on étudie le site, l'orientation, les dimensions, la forme extérieure et l'espacement de son voisin ; de la glace proprement dite, l'on considère la cristallisation, la dureté, la couleur, la composition et la charge en matériaux.

Les types de la glace dans le sol sont multiples ; une partie est d'abord invisible à l'œil nu. Puis, il y a les ségrégations fines : cristaux individuels, recouvrement de cailloux, filets (ou veines) dispersés et désordonnés, lamelles plus régulières. Enfin, se trouvent des ensembles plus volumineux : coins, noyaux de pingo, lentilles, champs, couches généralisées.

La durée de cette glace peut être instantanée, temporaire (saisonnière), « plurannuelle », séculaire, millénaire, pérenne ou permanente.

A cause des hésitations climatiques qu'elle subit, la glace dans le sol, directement ou indirectement, influence profondément l'évolution du relief périglaciaire ; on retrouve ses effets notamment dans les phénomènes de gélifluxion, de turbation, de figuration et de fluviation.

La différence de comportement des glaces, d'un côté dans le sol et de l'autre dans les matériaux de construction et, cela, de part et d'autre des saisons froide et estivale, exige des ingénieurs l'application de méthodes particulières. Cette adaptation est nécessaire non seulement pour les édifices, mais pour les pistes, les canalisations et les barrages.

Chapter one : *Ground ice*

INTRODUCTION

Ground ice is common in periglacial regions and has been reported widely from the arctic and sub-arctic of both hemispheres.

The most common form of ground ice is permafrost, but not all permafrost contains ice. Permafrost is defined on the criterion of temperature alone, and thus may be either dry, as in the case of bedrock below freezing; or wet, in which case it contains some form of ground ice. Permafrost underlies about one-fifth of the world land area and is a major factor in engineering and settlement problems in northern lands.

Apart from permafrost, ground ice may occur as thin films, grains, veinlets, large vertical wedges, horizontal sheets or in irregular masses of all sizes, shapes and colour. Structure varies with environment and undergoes changes under pressure: it may be prismatic or granular, contain numerous air bubbles which are either oriented or without orientation and have horizontal or vertical planes. Often ground ice contains sediments (usually Pleistocene), rocks or finer material; and may have an organic content.

The date of formation and origin of ground ice is imperfectly known; there is probably no universal explanation. Each case must be studied in its various aspects: site, orientation, dimension, duration, enclosed material, colour and composition. It may arise by: sublimation and condensation; by the freezing of waters that have descended, in veins and along the bedding, to beneath peats and frozen ground; freezing of moisture in polygonal cracks or fissures; burying of drift ice on rivers or lakes; or by freezing of ground moisture in a cooling climatic cycle; buried ground ice and ice-cored moraines. Most ground ice is probably fossil, dating from the last glaciation, or even before; but there is evidence that some forms are developing today, as permafrost in newly-emerged delta areas in the Canadian north and in Siberia. Some ground ice is diurnal, some seasonal or persisting for a number of seasons, while other ground ice may remain for hundreds or thousands of years and even longer. Most forms of ground ice are beneath the surface and not visible to the naked eye. However, some forms, such as pingos, massive horizontal sheets that have been exposed by fluvial action, and ice wedges, may be impressive features. One negative phenomenon associated with ground ice is thermokarst topography, in which ground ice has melted, giving rise to a ground surface similar in appearance to, but different in origin from, normal karst topography.

1-1 *Pipkrakes*

Les aiguilles de glace sont de fines colonnettes cristallines pouvant atteindre plus de 7 cm de hauteur ; ces cristaux se développent perpendiculairement à la surface de refroidissement et se localisent immédiatement au-dessous de l'épiderme du sol ou du couvert végétal. Ces fibres de glace bulbeuse se présentent généralement en paquets. Souvent, les aiguilles verticales sont disposées sur plus d'un étage ; en ce cas, une fine couche de dépôts peut s'interposer entre eux. Le petit phénomène des aiguilles de glace correspond à une phase initiale et rapide de l'engel du sol ; il est généralement diurne. Cette glace se dégrade très facilement.

Un refroidissement brusque, des terrains limoneux, un très faible tapis végétal, une forte humidité à la partie supérieure d'un « sol » alors non gelé sont des éléments favorables à la formation de ce phénomène de surface.

Les pipkrakes contribuent au déplacement des particules et ils peuvent influencer la figuration. Ils brisent souvent les racines des plantes.

1-1 *Needle ice*

Needle ice is the English term for a phenomenon described in the European literature variously as Haarfrost, Haareis, Nadeleis, Stengeleis, Eisfilamente, Effloreszenzeis, Barfrost, *etc.* In the U.S.A. the term mush frost is common. The Swedish "pipkrake" is preferred in international terminology.

Needle ice consists essentially of thin needle-like ice crystals, ranging from less than an inch (2,5 cm) to several inches (4-6 cm) in length. The crystals form generally in the initial stages of freeze-up, just below the ground surface, and grow perpendicular to it. The needles are usually found in bundles or clusters, but it is not uncommon to encounter solitary needles; it can develop in all mineral soils from coarse sands to clays; however, silty soils offer optimum conditions for formation. In 1-1-1, moisture content of 85% by weight.

Needle ice can form in any region where the diurnal temperature range fluctuates across the freezing point. It is common in periglacial areas, and is a factor in the sorting of material in patterned ground. Rock particles and clumps of frozen soil are lifted with the formation of needle ice as shown in the illustration. With the thawing of the ice crystals the materials are redeposited. It is an active process of short duration, normally diurnal, although it may be of several days' duration.

1-1-1
Fûts de pipkrakes.

*Needle ice bundles
showing
serrate edges
and bubble trains.*



1-2 *Glace mince*

Au-dessous du domaine des pipkrakes, de très fines feuilles de glace peuvent se développer dans le sol ; leur épaisseur dépasse rarement le millimètre. Ces films de glace claire, sans être rectilignes, sont généralement parallèles à la surface du terrain. Leur épaisseur et leur fréquence diminuent avec la profondeur. Des lamelles de ce type ne se développent pas seulement dans le sol mais même dans les coins de glace, par exemple.

L'existence de ces horizons est liée à la texture fine des matériaux, aux modalités de la pénétration de l'onde de gel et à l'approvisionnement en humidité.

Le vide provoqué par la fonte de cette glace en feuilles provoque un léger déplacement de particules du « sol » et un certain remplissage.

1-2 *Ice lenses* (Miniature)

Sirloin-type freezing is so named because the dispersion of innumerable thin ice layers in the frozen soil gives it an appearance similar to a piece of sirloin beef. The production of ice lenses depends upon the texture of the soil as well as the rate of freezing line penetration and supply of moisture. The individual lenses may reach several tenths of an inch (2-4 mm) in thickness, whereas others may be hair thin. The ice is clear, appearing as dark streaks when viewed on a cut section in reflected lights. Individual lenses are usually oriented parallel to the ground surface and are frequently undulating. When the ice is melted the space which it occupied is left open and collapses. This expansive-contractive action is an active process, generally on an annual basis, and is responsible for movement of material, especially in mud circles and stone circles.

1 - 2 - 1
Lamelles
discontinues.

Sirloin freezing.



1-3 *Masse de glace*

Les volumineuses masses de glace dans le sol se présentent soit en nappe pseudo-horizontale, soit en fuseau lenticulaire, soit en champ amorphe. Par définition, le champ lui-même sera plus étendu que les minces lamelles, les veines, les coins triangulaires et même la plupart des pingos.

La glace est bulbeuse et de structure très variée ; cette glace est souvent ternie par de fines particules minérales dont le volume en vient à dépasser celui de la glace elle-même ; la masse peut être pénétrée par des coins et ses « lits » peuvent être perturbés. Le niveau supérieur de la masse de glace coïncide ou non avec la base du mollisol alors que son niveau inférieur peut s'avancer profondément dans l'étage supérieur du pergélisol ; les masses de glace sont souvent ensevelies sous plusieurs mètres — parfois cent — de dépôts superficiels.

D'après R. MACKAY, dans le Mackenzie les champs de glace sont formés par la congélation de l'eau d'infiltration au niveau supérieur du pergélisol. Cette « prise » de l'eau qui équivaut à un enrichissement de la glace dans le sol se fait en fonction du temps, de la température et des relations géothermiques.

La fusion naturelle ou « provoquée » des masses de glace cause une réduction du relief local créant ainsi dans le paysage des dépressions dites de thermokarst dont certaines ont la forme d'entonnoir. Cette fonte est souvent accompagnée d'écroulement et de glissement de dépôts latéraux ou de couverture ; à la fin, la cavité peut être remplie d'un mélange complexe de sols, de cailloux et de matière organique ; ces dépôts de remplacement prennent souvent la forme d'une poche et ils montrent des turbations périglaciaires caractéristiques.

La plupart des masses de glace ont une origine ancienne et elles se rencontrent dans les régions pergélisolées.

1-3 *Massive ground ice*

Massive ground ice formations are normally tabular, horizontal sheets of ice buried beneath surface materials varying in thickness from several to tens of feet (a metre to several metres). They also may occur as irregular masses of all sizes, and vary in colour from pure white to blue, green, brown or yellow. The structure varies with the environment, and undergoes changes under pressure: the ice may be prismatic or granular, and contain numerous air bubbles which may or may not be oriented, and have either horizontal or vertical planes.

The date of formation and the origin of massive ground ice is still incompletely understood, and probably there are a number of processes which may account for its formation in different places. Recently MACKAY (1963), discussing extensive, massive ground ice sheets in the Mackenzie Delta area, suggested that it was formed by the progressive downward aggradation of permafrost in fine-grained soils in an open system, where fresh water moved to the bottom of the freezing plane, as new ice formed.

Massive ground ice is generally considered to be fossil although it may be forming in some areas today. It may be very deep; depths to nearly 400 feet (more than 100 m) have been reported from Alaska, and even greater depths from Siberia. It has a wide geographical distribution throughout all permafrost regions where the mean annual temperature is 39°F (4°C) or less.

The melting of ground ice when it has been disturbed, either by man, or by nature, as for example river or sea action or through construction of a road, can produce mud flows which may disrupt transportation facilities and give serious constructional problems to engineers.

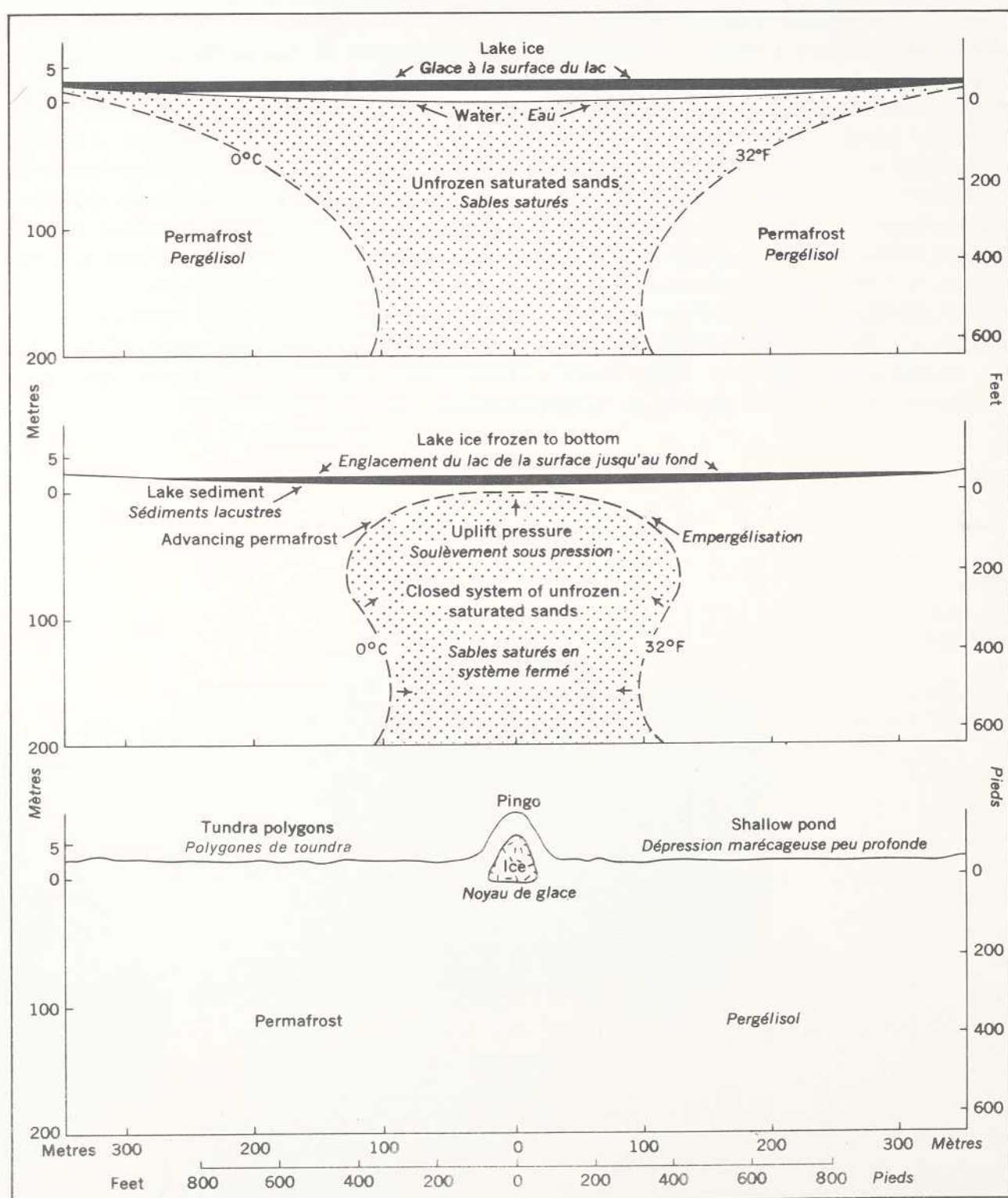
1-3-1
*Champ
amorphe.*

*Massive
ground ice sheet.*



1-4 *Pingo et palse*

En esquimau, le mot pingo (A. E. PORSILD, 1938) se dit d'une colline généralement conique dont la base peut avoir un diamètre de plusieurs centaines de mètres et la hauteur cinquante mètres. Vers le haut, la pente droite du versant devient convexe et les « couches » ont un aspect monoclinal face à une dépression sommitale ; celle-ci, parfois remplie d'eau, prend souvent la forme d'un cratère à rebord fissuré. Le pingo vif qui a un cœur de glace est un phénomène intimement associé au pergélisol. Au contact du noyau, les sédiments peuvent devenir fortement perturbés sous l'effet du gel et des déformations pénécontemporaines. Généralement, les pingos se présentent en groupe.



1-4-1 *Formation d'un pingo de type Mackenzie.*

Formation of a Mackenzie type pingo.

1-4 *Pingo and palsa*

Pingos are probably the most spectacular of periglacial features. They are hill-like formations which are ice-cored and typically conical in shape. They may rise 150 feet (50 m) or more above the surrounding terrain. Their bases are generally circular or oval in shape and often measure several hundred yards (metres) in diameter. In vertical cross-section, most pingos are asymmetric. The side slopes of pingos are either straight or convex upward. Most summits of the largest pingos are ruptured, with star-shaped craters surrounded by cuestas which seemingly open out as rupturing progresses. Rupturing of pingo summits frequently results in exposure of the ice-core to melting with partial or total collapse in prospect.

At the present time two genetic types of pingos are recognized. MÜLLER (1959) classifies them as the "open" system or East Greenland type and the "closed" system or Mackenzie type.

The East Greenland pingos develop where sub- or intra-permafrost waters are forced up by hydrostatic pressure, with a relatively small temperature difference between this water and the frozen ground and at a low rate of flow. Within the upper part of the permafrost zone the uprising water produces a hydrolaccolith which, with further reduction of the temperature, will become the ice body. The crystallization pressure of this process, together with the hydrostatic pressure, will exceed the force of cohesion of the overlying layers of frozen or unfrozen clays, gravels, or even bedrock. As the upward forces are concentrated within a relatively small area, the resulting pingo-heave will be conical in shape. Exceptions to this regular shape are produced when the water rises along bedrock faults and fissures which weaken the permafrost. The destruction of East Greenland pingos results from (a) the rupturing of the top during growth; (b) the melting of the ice body by the penetration of summer warmth through the weakened mineral cover; (c) the sub- or intra-permafrost

1-4-2
*Noyau de glace
d'un pingo
mis à jour par
l'érosion littorale.*

Wave-cut pingo.



D'un point de vue génétique, d'après F. MÜLLER, les deux types de pingos rappellent la formation des diapirs. D'abord, le type du Groenland oriental qui est associé à une dégradation du pergélisol. L'eau déjà froide, comprimée à l'intérieur des couches supérieures du terrain, se déplace vers le haut sous l'effet de la pression hydrostatique puis cette eau gèle par détérioration thermique. Quand ce phénomène d'expansion dépasse en puissance la force de résistance des matériaux sommitaux, il se crée un relief en hauteur qui devient conique par suite de la concentration des pressions en un point déterminé. La dégradation de ce type de pingo est liée 1° à l'éclatement du toit lors des expansions ultérieures, 2° à la double fonte du noyau de glace sous l'effet de l'insolation et de l'eau libre, 3° aux érosions liées à l'évidement du lac sommital.

Par contre, le type de pingo situé dans l'ancien delta du Mackenzie correspond à une *aggradation* du pergélisol. Ici, l'eau est en circuit fermé par opposition au circuit ouvert du type groenlandais. Le pingo commence par la formation d'un noyau interne de glace, comme résultat de la gélisation progressive de sables saturés qui étaient situés au-dessous d'un petit lac déjà gelé. L'englacement progressif va créer une colline en surface. La détérioration d'un pingo de ce type tient pour beaucoup aux causes déjà mentionnées au sujet du pingo de type groenlandais. La subsidence régionale favorise l'expulsion de l'eau.

Albert PISSART a décrit à l'île du Prince-Patrick (Canada) des pingos allongés (maximum de 900 mètres).

Les pingos se rencontrent dans la zone du pergélisol continu, surtout là où la profondeur du mollisol n'est pas trop mince et où les conditions de déplacement de l'eau interne sont favorables ; s'ils affectionnent les sables alluviaux,



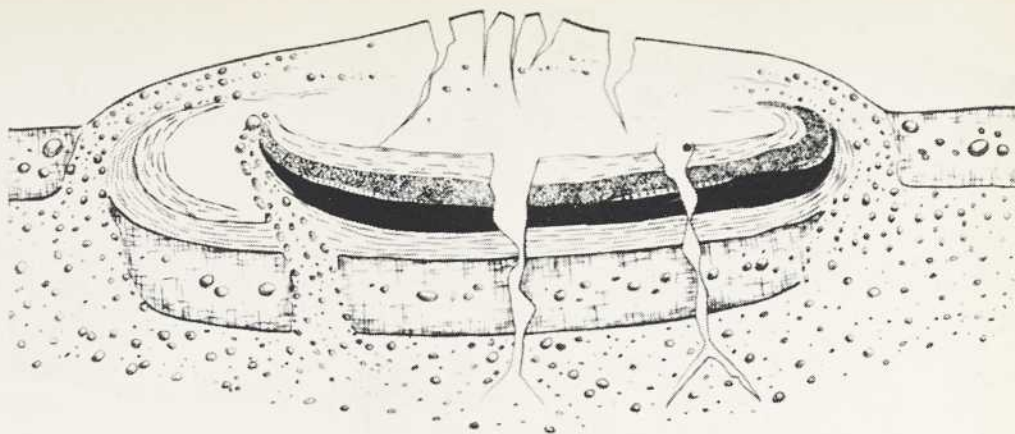
1 - 4 - 3
Stade évolué
d'un pingo.

Classical pingo.

1-4-4

*Structure schématique
d'un poléopingo.*

*Schematic structure
of fossil pingo.*



water rising through and thus melting the ice body, and feeding the lake; and (d) the overflow from the lake breaking down the containing walls and destroying the original symmetry of the pingo.

On the other hand, the origin of the Mackenzie Delta pingos is explained as follows: the pressure causing the updoming is developed by the penetration of permafrost into "talik" (an unfrozen space partially surrounded by permafrost) normally beneath a small, shallow lake. When permafrost develops above a water-bearing stratum upon drainage of the lake, a closed system is set up, and the water trapped under increasing pressure, as the gap closes, initiates the upward growth of the pingo. The destruction is largely brought about by the melting of ice due to the penetration of outside warmth. This mechanism explains why pingos in the Mackenzie Delta area occur in the geometric centre of small lake basins. Normally there will be only one pingo in each basin, except in cases where a larger lake has a complex shape or irregular bottom topography.

Pingos are scattered throughout permafrost regions although they tend to form in groups. There are over 1,400 pingos in the Mackenzie Delta area. A few occur along the Yukon Coast and many in Alaska, Baffin Island and East Greenland. They are widely scattered throughout Siberia from Bering Strait to the White Sea and extend far to the south. Although undoubtedly some pingos are forming today, most are probably hundreds if not thousands of years old. Fossil pingos have been described from Poland, and may occur on the Canadian Prairies.

In 1-4-2, the wave-cut pingo is at McKinley Bay, $69^{\circ}59'30''\text{N}$ and $131^{\circ}01'40''\text{W}$.

Palsa are elliptical, dome-like hillocks of varying size and form, up to 3 yards (3 m) or more in height with a base of up to 20 yards (18 m) or more and often surrounded by shallow open water. They probably are formed by hydraulic pressure or by local upheaval due to expansion following the progressive freezing of a body or lens of water or of semi-fluid mud or silt (enclosed between bedrock or permafrost, and the frozen surface soil), and the force of crystallization.

ils peuvent se développer dans du matériel non alluvial. En général, la région des pingos s'étend en latitude entre les 65^e et 75^e degrés.

Associées aux pingos sont les « pases » et certaines « collines allongées » à cœur de glace. Les pases (1-4-5) sont des buttes atteignant parfois 6 mètres de hauteur ; elles sont composées de matériel organique et d'un noyau minéral gelé ou d'une lentille de glace. La butte dans 1-4-5 a 4 mètres de hauteur. Les « hydrolaccolithes » sont considérés par certains auteurs comme les micro-formes des pingos.

Des pingos sont anciens ; d'autres, actuels. Ainsi, dans les deltas du Mackenzie, on a identifié 1.400 « vieux » pingos et un certain nombre d'exemples plus petits et récents. De très anciennes formes, figées au stade thermokarstique, ont été relevées en Europe occidentale ; en seraient, par exemple, les « lagunes » du Bassin aquitain (M. BOYÉ), les « couronnes » de Belgique et de Grande-Bretagne (A. PISSART), les « beignes », les « lacs ronds » (A. CAILLEUX) de certaines plaines américaines et diverses mardelles. Beaucoup moins anciens que ces « restants de pingos », les sites des « îles arbustives » des tourbières réticulées pourraient quand même être un témoignage d'un passé semblable. L'illustration 1-4-4 représente un pingo de 400 mètres de diamètre et de 60 à 80 mètres d'altitude ; l'on date du Würm ses périodes de formation et de dégradation.



1-4-5
Micropalse.

Small palsa.

Later they decay and collapse, summer melting being vigorous once expansion cracks have been formed. They leave behind surface hollows, pits, sinks or small lakes, forming a thermokarst topography. Thus, palsa are similar in many ways to pingos.

Palsa were first described from Scandinavia where they have wide distribution, but are also found elsewhere throughout all northern lands, although they tend to be concentrated in the sub-arctic tree-line/tundra fringe.

1-4-6
Macropalse.

Large palsa.



1-5 Fentes de gel avec ou sans glace, avec ou sans dépôts

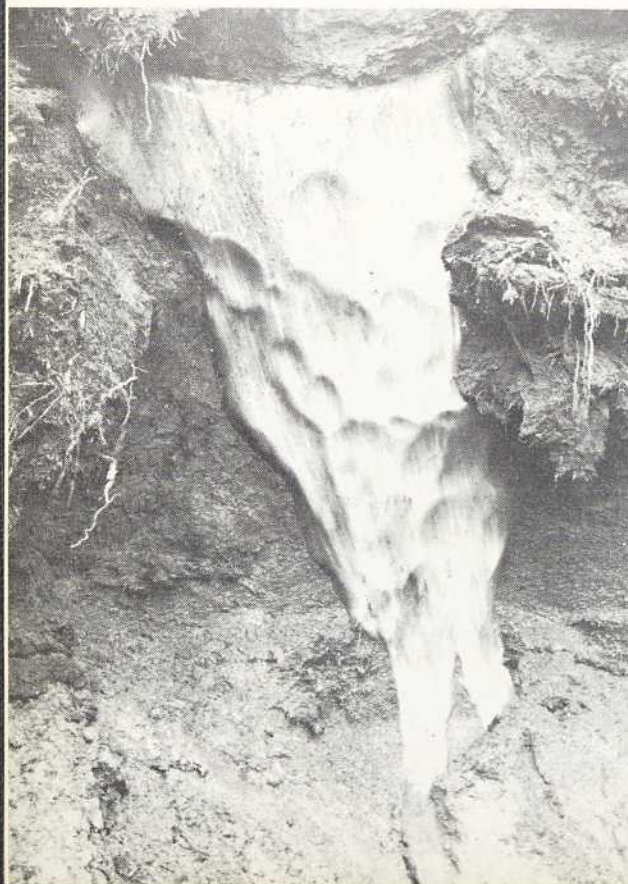
Schéma terminologique concernant l'évolution des fentes de gel :

- A. — a) *Fente de gel.*
b) Fente de gel + glace = *fente de glace.*
c) Fente de glace — glace + matériaux = *dépôts de remplacement* de la glace (par exemple, « lœss de poche de glace » suivant la nature des matériaux de remplacement et la forme de la cavité).
- B. — a) *Fente de gel.*
b) Fente de gel + matériaux = *dépôts de remplissage* de la fente de gel.

A. — *Fentes de gel, glace et dépôts de remplacement.*

Les fentes de glace sont des veines verticales ou obliques remplies de glace qui peuvent s'enfoncer de plusieurs mètres dans la partie supérieure du pergélisol. Vus en plan, ces fuseaux de glace ne sont rigoureusement ni rectilignes, ni calibrés ; de plus, leur espacement n'est pas uniforme et l'ensemble du réseau n'est pas très géométrique ; l'angle de confluence des alignements est souvent orthogonal. En profil, les fentes de glace n'ont pas toujours la forme « coin », même si leur largeur augmente généralement de bas en haut pour atteindre souvent un mètre à la surface ; parfois, la racine n'est pas unique mais multiple comme celle d'une molaire. Les fentes de glace sont la plupart du temps associées aux polygones de toundra.

L'origine de ces coins de glace tient à une fissure de contraction — la fente de gel sans glace — qui exprime à la fois la sévérité absolue des températures et la rapidité du refroidissement. D'après LEFFINGWELL, la contraction thermique crée, pendant l'hiver, des fentes extrêmement étroites mais profondes d'un mètre environ. Au début du printemps, l'eau libérée se réfugie dans ces fentes, puis gèle et forme ainsi une première épine de glace dans le pergélisol.



1-5-1
Poche de glace.

Ground-ice slump with large ice wedge.

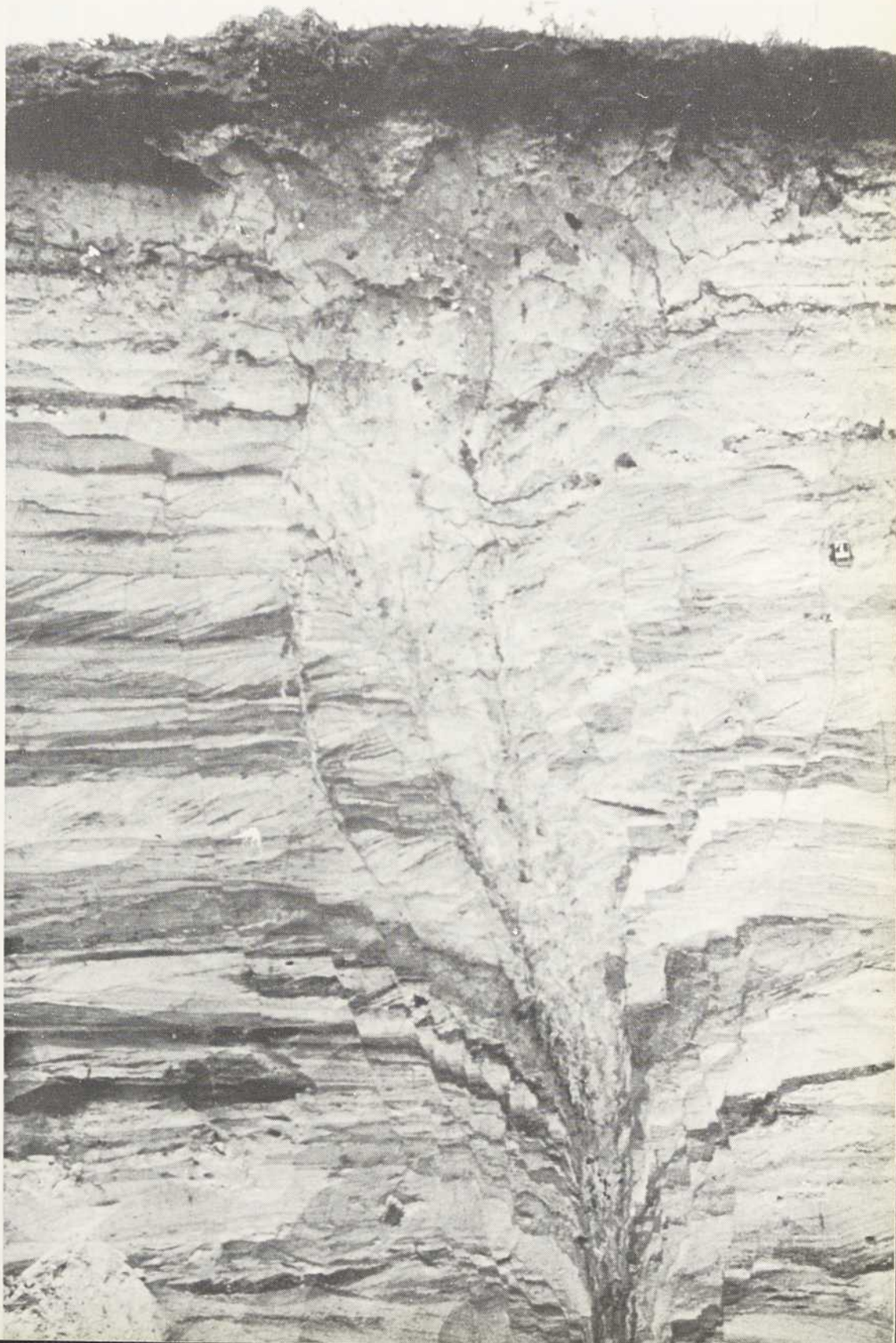
1-5 *Ice wedges*

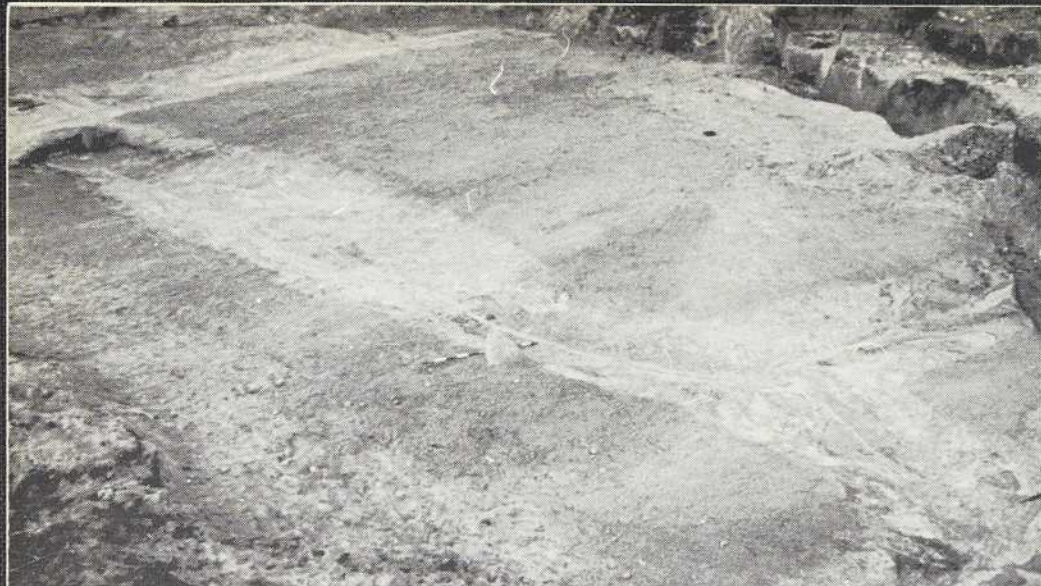
Ice wedges are large masses of foliated ground ice in permafrost. Most occur as wedge-shaped, vertical or inclined sheets or dikes from 4 inches to 10 feet (10 cm to 3 m) wide and from 3 to 30 feet (1 to 10 m) high when seen in transverse cross section. Some masses, when seen on the face of frozen cliffs, may appear as horizontal bodies a few inches (several cm) to 10 feet (3 m) in thickness and from 2 to 40 feet (2/3 m to 12 m) long. The true nature of the form of ice wedges can be seen only in three dimensions. The ice wedges are parts of a polygonal network of ice enclosing polygons or cells of frozen ground 10 to 300 feet (3 to 100 m) or more in diameter, generally called ice wedge polygons or tundra polygons.

1-5-2

Dépôt de coin de glace.

Fossil ice wedge.





1 - 5 - 3
Réseau polygonal
à fentes de gel
remplies de dépôts.

*Excavation of
polygonal net of filled
fossil ice wedges.*

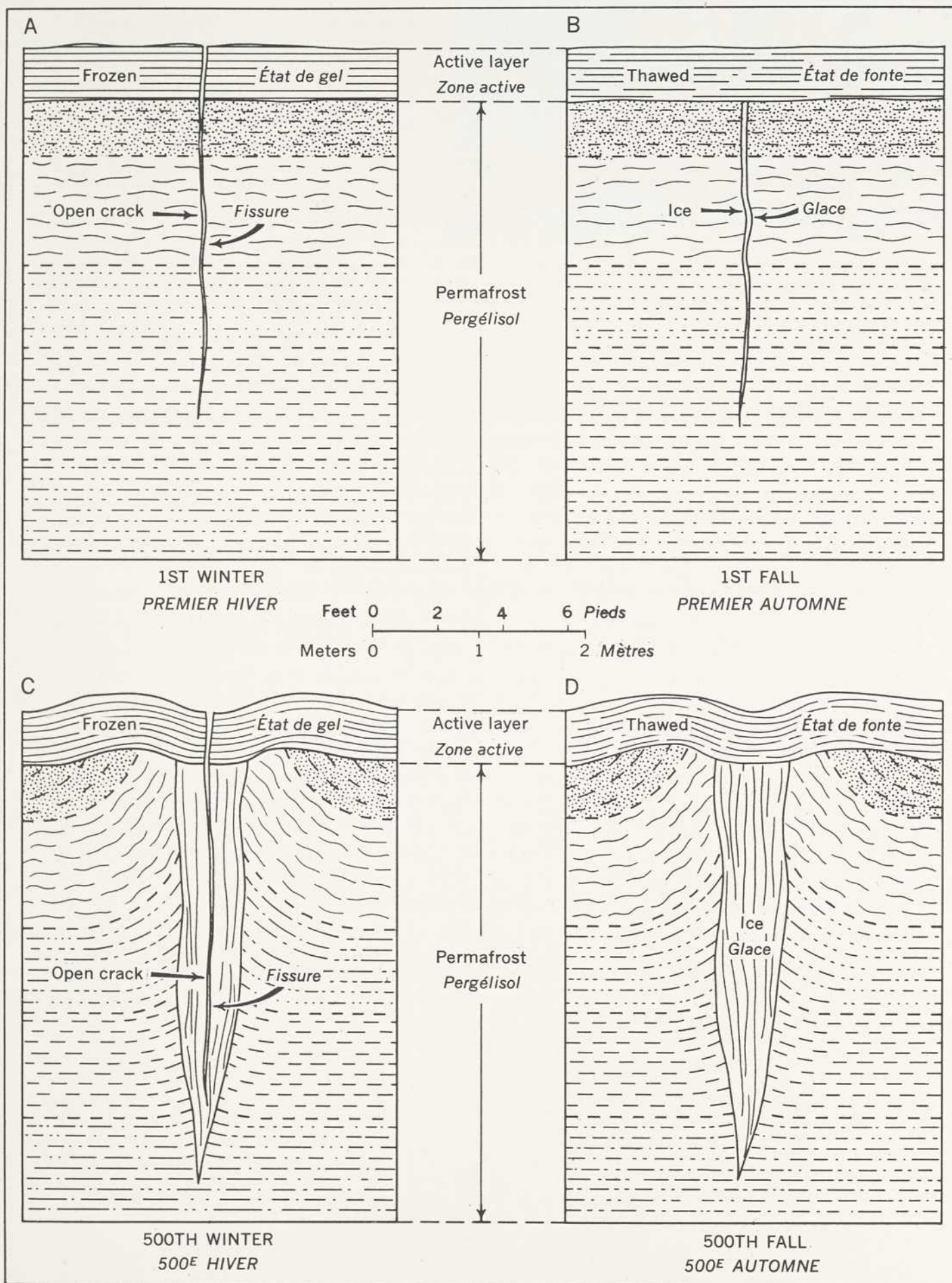
Au cours de l'été, le mollisol voile le sommet de la fissure englacée. La pression horizontale créée par l'accroissement récent de la glace dans le sol va se traduire par un redressement généralement vers le haut des matériaux latéraux et par un léger gonflement de la surface (bombement de fente de glace). Au cours du deuxième hiver, la contraction peut ouvrir une nouvelle fissure sur le site de l'ancienne, fissure qui s'enrichira de nouveau de glace lors de la congélation de toute humidité (y compris les futures eaux de fonte). La répétition séculaire de ces événements saisonniers élargit les coins. La glace contient des cristaux petits et allongés ; elle est bulbeuse, du moins au centre. Sur les côtés, la structure montre des feuilles « entrelardées » de glace et de matériaux. L'ensemble peut être plissé et traversé par des fissures de contraction remplies de glace nouvelle ou de films de débris fins.

Les fentes de glace peuvent se diviser en deux classes climatiques : 1° à l'intérieur de la zone du pergélisol continu, où la moyenne thermique annuelle de l'air peut varier environ de -12°C à -6° , les fentes de glace progressent et elles sont dites « vives » ; 2° des fentes (ou suivant la forme, coins, épines, dents, poches...) se rencontrent dans la partie la plus sévère de la zone du pergélisol discontinu où les moyennes thermiques de l'air peuvent varier de -8°C à -2° .

La disparition de la glace dans les fentes tient au relèvement des minimums thermiques d'hiver, à la diminution de l'intensité des vagues de refroidissement, au développement de phénomènes mécaniques concurrents, à la formation de mares de saison chaude ou à un changement dans le tapis nival saisonnier. La dégradation d'une fente de glace peut connaître diverses modalités qui ne sont pas nécessairement autant de phases hiérarchisées ; la fusion en surface crée d'abord des sillons.

1 - 5 - 5. Généralement, les sillons évasés de fusion sont associés aux fentes de glace ainsi qu'aux polygones de toundra. Les sillons eux-mêmes peuvent avoir environ un mètre de largeur à leur sommet et être encaissés d'autant. Ils correspondent à la fonte superficielle des fentes de glace sous-jacentes et à une certaine évacuation de matériel ; ils sont parfois utilisés comme talweg temporaire ; ils représentent une forme évoluée par rapport à l'étroite fente initiale de contraction, qu'on doit donc distinguer du sillon évasé.

La fusion totale de la glace dans la fente, suivie du remplissage minéral, respectera ou non la forme initiale de la fente ; les dépôts de la cavité, vus en coupe, auront soit l'ancienne forme en « V » (dépôts de coins de glace), soit tout autre aspect correspondant aux déformations thermokarstiques qui créent souvent des poches informes mais à angles arrondis ; les matériaux de remplacement sont disposés en vrac, en couches concaves vers le haut ou en lames verticales. Lorsque la glace a été remplacée par des matériaux terreux, il ne s'agit plus d'une fente de « glace ». De tels phénomènes se rencontrent même dans le sud du Canada (Nouvelle-Écosse, Ontario, Terre-Neuve et vallée du Saint-Laurent).



1-5-4

Évolution schématique d'un coin de glace.

Schematic drawing of evolution of an ice wedge in permafrost.



1 - 5 - 5
Sillon.

Fissure.

B. — *Fentes de gel* (sans phase de glace) et *remplissage minéral*.

Les fentes de ce type ne connaissent pas la phase intermédiaire d'englacement entre le moment de l'établissement de la fissure initiale et le moment du remplissage terreux. L'engel différentiel des matériaux de comblement permet un certain élargissement de la fissure qui devient un petit « couloir gélival ».

Ces fissures de gélicontraction se produisent non seulement dans les pays subarctiques et mêmes tempérés mais encore dans l'Arctique « sec ».

Parfois, dans le cas des paléoformes, il devient possible de distinguer les « dépôts de remplacement de fente de glace » (matériaux terreux qui ont pris la place de la glace dans la fente, une fois la glace fondue) et les « dépôts initiaux de fissure gélivale » (accumulation terreuse initiale à l'intérieur d'une simple fente de gel, sans que jamais la glace n'ait occupé l'espace ouvert) ; l'on pourrait traduire l'ambiguë *sand-wedge* par « sable de fissure gélivale ». Des relevés granulométriques, l'examen des structures latérales et celui des situations hydrographique et morphologique locales apportent quelque secours dans l'identification de ces deux dépôts semblables.

1 - 5 - 6
Fente de glace.

Ice wedge.



The origin of ice wedges is now accepted to be by thermal contraction of the permafrost. LACHENBRUCH (1959) has described the process:

During the Arctic winter, vertical fractures on the order of one-tenth of an inch wide and several feet deep are known to form in the frozen tundra—this process is generally accompanied by loud reports. They are assumed to be the result of tension caused by thermal contraction of the tundra. In early spring it is supposed that water from the melting snow freezes in these cracks and, with accumulating hoarfrost produces a vertical vein of ice that penetrates permafrost. Horizontal compression caused by re-expansion of the permafrost during the following summer results in the upturning of permafrost by plastic deformation. In the winter that follows, renewed thermal tension supposedly reopens the vertical ice-cemented crack which is presumed to be a zone of weakness. Another increment of ice is added when the spring melt-water enters the renewed crack and freezes. Such a cycle, it is argued, acting over centuries, would produce the vertical wedge-shaped mass of ice.

Ice wedges are currently widespread in polar and sub-polar regions and were formerly extensively distributed throughout middle latitudes.

Ice wedges can be classified into three types—active, inactive, and fossil. Active wedges are actually growing, and occur, for the most part, in the continuous permafrost zone where the mean annual air temperatures range from 21° to 10°F , and minimum temperatures at the permafrost table range from 5° to -22°F . Inactive ice wedges which are no longer growing occur in the northern part of the discontinuous permafrost zone where the mean annual air temperatures range from 28° to 17.6°F and minimum winter temperatures at the permafrost table range from 26.6° to perhaps 30°F . When an ice wedge melts and the space it occupied is subsequently filled with sediment, the resulting structure is called a fossil ice wedge. Although little research has been made on fossil ice wedges in North America, they have been extensively studied in Europe, notably in Poland and in Sweden.

Ice wedges are serious handicaps to trafficability. Knowledge of them is required in most construction problems and particularly in the construction of pipe lines, sewage lines, hard-surfaced roads and airfields. The amount of slumping that will take place if the ice is melted is a vital engineering concern.

Large fissures form the outlines of polygons in many Arctic landscapes. They rarely occur individually but usually in parallel sets which intersect at right angles to give a rectangular or tetragonal pattern. The fissures are often up to 2 feet ($2/3$ m) wide and from 1 to 2 feet ($1/3$ to $2/3$ m) deep. In length they vary from a few feet (1 m) to several hundred feet (100 m). Most, if not all, are underlain by vertical ice wedges.

It is now generally accepted that fissures originate due to thermal cracking during intense cold. They are intimately related to frost wedges and the process is discussed in that section.

1-6 *Thermokarst amorphe*

Le thermokarst (ERMOLAEF, 1932) est « le phénomène de l'affaissement du sol provoqué par le dégel des roches gelées ou de la glace fossile » (A. POPOV, 1956). Nous considérons ici tous les types thermokarstiques autres que les cavités liées à l'évolution des pingos et des fentes de glace, phénomènes étudiés ailleurs. Le tracé en plan de ces dépressions de fonte ou « dolines de dégel » ou « thermodépressions » est très variable : losange, cavité circulaire ou ovale, entonnoir, forme irrégulière. En général, elles sont des mésoformes peu profondes et larges de quelques dizaines de mètres ; leurs berges sont abruptes et festonnées.

Les caractéristiques des cavités thermokarstiques sont liées avant tout aux types de glace dans le sol ; il en faut une quantité suffisante : pergélisol très humide, champs massifs, vastes culots de glace de glacier ou de pack. Également, il faut une gélisolation différentielle, autrement la fusion pourrait ne donner que le modelé plus uniforme du mollisol temporaire. Le succès local des conditions

1-6-1a
Cavité de fusion.

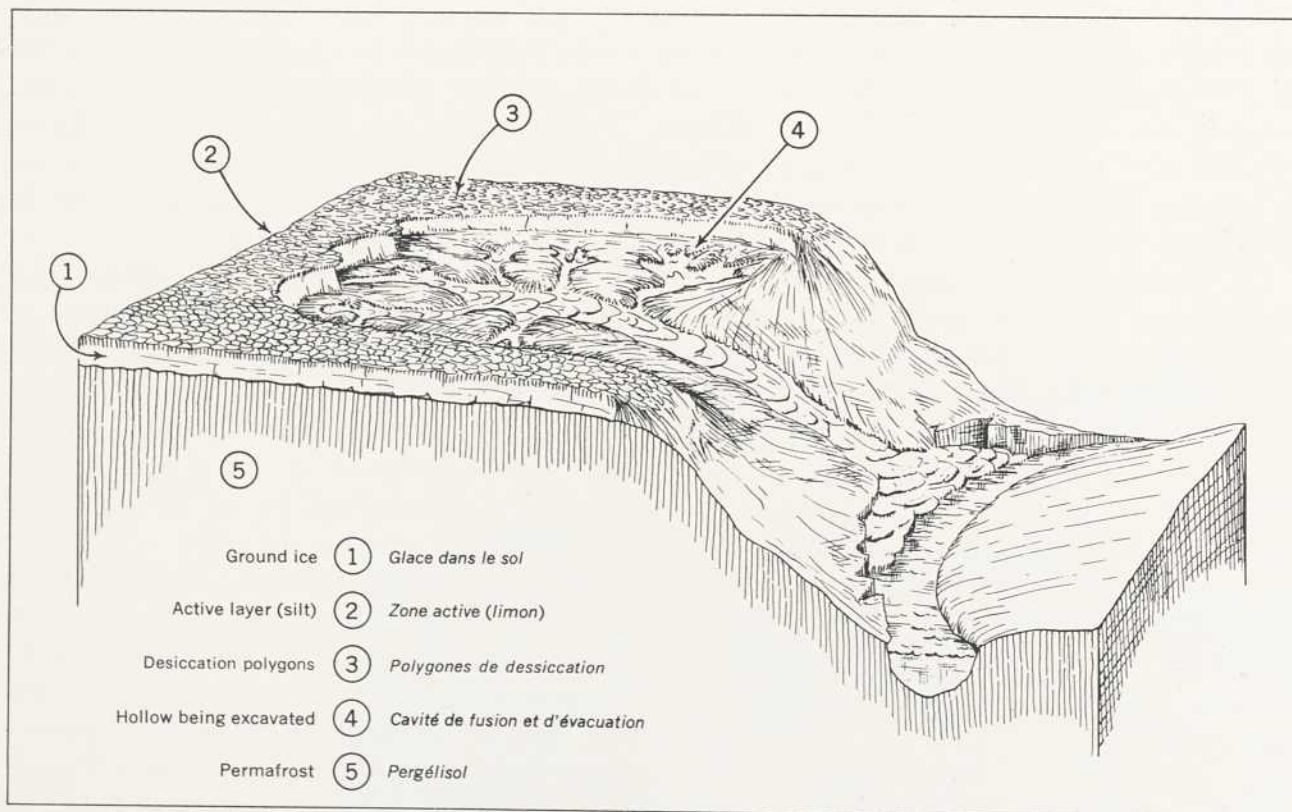
Hollow.



1-6 Thermokarst

The hollow (1-6-1a) is on a raised terrace covered by small polygons and sparse vegetation and underlain by a layer of ground ice. Fluvial sapping by a small stream at the base of the small scarp has exposed the mass of underlying ground ice to melting. The hollow is from 1 to 2 yards (1-2 m) deep and 40 yards (40 m) long. The longitudinal slope of the floor of the hollow is about 2 degrees.

Once the ground ice is exposed the hollow develops rapidly; in the summer of 1960 the back wall of the hollow (1-6-1b) retreated a maximum of 30 feet (10 m). Insolation is a critical factor, as the melting of the ground ice is in direct proportion to its exposure to the sun. The melting disturbs the equilibrium of the slope and permits both mass movement of material and a crumbling or slipping of the silt blocks. Repetition of this process eventually carves a semi-circular hollow that increases in size with the melting of an additional ground ice layer. After the hollow has been established, it collects silt and meltwater to form a thick mud, and the almost unlimited supply of moisture from the melting ice keeps the mud extremely fluid. From this stage on, the material is carried away first by mud flow which removes the liquid mud and then by solifluction which removes the more viscous material. The mud forms a mud flow delta, partly blocking the river, while the solifluction flow forms a series of overlapping lobes.



1-6-1b

Entonnoir de fusion et de gélifluxion.

Sketch of a hollow.



1-6-2
Dépressions lacustres
de thermokarst
et réseau tétragonal
de fentes de glace.

Thermokarst topography.

thermophysiques est lié à un réchauffement général, à une accentuation de la continentalité (été plus chaud), aux feux de toundra, au sapement fluvial ou littoral ou au dérangement anthropique. Une fois commencée, la fonte initiale de la glace enfouie peut profiter des changements des conditions morphoclimatiques locales en neige, végétation et écoulement pour devenir un phénomène progressif ; alors, la « poche de fusion » s'agrandit par conquête périphérique.

Ainsi, la disparition de la glace fossile se traduit par une réduction verticale du relief. Quand les dépressions fermées ne parviennent pas à perdre, au moyen de l'évaporation et de l'infiltration, les eaux qui lui viennent de la fonte sous-jacente ou de l'écoulement endoréique, il se forme des lacs de thermokarst (1-6-2) ; plusieurs lacs voisins peuvent prendre des formes semblables ; c'est le cas des lacs orientés. La mare fermée qui se vide chaque été par suite de la libération progressive du mollisol pourrait être dénommée « évier ».

Le phénomène présenté en 1-6-1a et b constitue un cas particulier. La dépression, inscrite dans une terrasse perchée, est profonde de 1 à 2 mètres et longue de 40 m ; elle s'est développée au détriment d'un mollisol boueux, polygoné et à faible couvert végétal ; la pente longitudinale du fond de la cavité est à peine de 2 degrés. Au-dessous, une nappe de glace enrichit localement le pergélisol. Ce phénomène peut évoluer rapidement puisque le recul de la corniche arrière a atteint, au cours de l'été 1960, un maximum de 10 mètres. La cavité en est maintenant à un point d'équilibre. A l'origine de cette « niche », un sapement fluvial situé au pied du talus ; cette érosion détruit l'équilibre du versant et déclenche des descentes de matériel qui mettent à nu la bordure de la nappe interne de glace ; sous l'effet de l'insolation et du réchauffement saisonnier, la fusion gagne petit à petit cette lentille fossile et décide fatalement du déplacement du mollisol de couverture. Des conditions locales expliquent pourquoi le recul des versants de la vallée collectrice ne s'effectue pas d'une façon rectiligne mais qu'il s'ourle de cavités. Ainsi, la mise à nu et la disparition de la glace de base, l'appel de la gravité, la solifluxion et une certaine fluviatation déterminent l'évacuation en vagues d'une importante masse de matériaux. Comme telle, la profondeur finale de cette dépression tient à la fois au déplacement du mollisol et à la « thermokarstification ».

Thermokarst in periglacial regions is fundamentally very like normal karst in its youthful stage in exterior appearance, but there the analogy ends. Normal karst occurs in limestone regions, and in its early stage small solution sinks develop along joints and minor pits and basins are formed because of small variation in the ease of solubility of different parts of the limestone. Thermokarst is confined to permafrost or former permafrost regions, developing at a relatively low temperature, around 32 degrees F (0°C). In addition the processes of formation are completely different. Normal karst develops from solution of limestone, gypsum or other soluble materials. On the other hand, thermokarst develops from the collapse of the surface due to melting of ground ice, the diminution of volume resulting from the transformation of ice into water. Little or no underground drainage occurs. The thermo-physical processes concerning thermokarst formation are complex and not fully understood. Thawing of the active layer takes place every year over vast areas to varying depths, but this annual freeze-thaw cycle does not produce any important change in surface expression. It is only when fossil ice melts or when thawing affects rocks of high ice content that thermokarst occurs. The local collapse of the surface causes many changes in external conditions, such as accumulation of snow and formation of bogs and lakes. Among causes stimulating thermokarst may be: forest fires, fissures and other breaks in the surface, trampling of grass or moss by animals, and human activity such as deforestation, cultivation, construction of buildings and highways.

1-6-3
*Dépôts de poches
 de fusion.*

*Thermokarst
 pockets.*



Le site qu'occupait la glace dans le sol peut être envahi de dépôts plus ou moins contemporains de la fonte. En 1-6-3, la poche remplie qui comporte des traces d'évolution pédologique postérieure est installée dans des cailloutis rissiens ; le fait que le fond des dépressions suit un même niveau indique probablement la limite supérieure du pergélisol ; entre les poches, des cailloux probablement redressés par injection, type deurbation. Les phénomènes de thermokarst amorphe sont multiples : mares des tourbières réticulées, « alass », lits de rivière en forme de chapelet, « kettles » glaciaires, entonnoirs de fusion, dépressions de glace de plage et, peut-être, cours d'eau à berges festonnées.

Dans les régions méridionales du pergélisol, les cavités de thermokarst sont moins puissantes car la glace dans le sol est moins abondante et plus loin de la surface.

Thermokarst is distributed widely in all permafrost regions of the world principally in areas underlain with fine grained deposits. Depressions are generally shallower in southern regions where the amount of ice in the ground decreases with depth. Large and deep forms occur in northern regions where ice layers and veins are distributed evenly to great depths.

1-6-4
*Dépression venant
de la fusion
de la glace dans le sol.*

*Thermokarst hollow
in melting permafrost.*



1-7 Gélisol pérenne et temporaire — Mollisol

Le pergélisol (permafrost, S. MULLER, 1943) se dit de l'état prolongé du gel dans des couches supérieures de la lithosphère ; l'échelle peut être celle de milliers d'années.

De haut en bas, la coupe du sol gelé se lit comme suit : d'abord, à la surface, une tranche qui connaît chaque année l'engel et le dégel du sol. Dans le Haut-Arctique, ce mollisol dure au moins quelques jours ; en profondeur, il n'atteint qu'une dizaine de cm. Dans des graviers de l'Ungava, au 60° de latitude, le mollisol est profond de six pieds. Plus au sud, à Fort Chimo, le dégel de la base du mollisol dure environ quatre mois. Face aux oscillations thermiques de l'air, il faudrait distinguer, dans le mollisol, 1° l'« épiderme » qui peut connaître plusieurs cycles gélivaux par an et 2° les parties plus profondes beaucoup moins sensibles aux variations atmosphériques quotidiennes et qui ne subissent parfois qu'un cycle complet par an. Durant la saison froide, le mollisol devient un type de gélisol temporaire. A la base du mollisol, peuvent se trouver durant quelques étés soit des fuseaux de pereletok, couche qui ne dégèle pas, soit des poches de terrain non regelées. Tout ce qui précède compose le supragélisol.

Au sens strict le pergélisol est, directement ou indirectement, au-dessous du mollisol. Il constitue la couche gelée dans une situation pérenne. La quantité de glace rend le pergélisol sec ou humide ; en faible profondeur, il peut même y avoir des enrichissements locaux provoqués, par exemple, par des coins de glace. Les matériaux meubles, organiques ou de roche en place, peuvent être pris par l'onde de gel. A l'intérieur de la tranche spécifiquement pergélisolée, il faut distinguer quatre éléments : 1° la ligne irrégulière qui constitue le « plafond » du pergélisol ; 2° l'étage supérieur qui subit à retardement et d'une manière atténuée les changements climatiques de l'air ; cette tranche peut avoir une température d'environ -10°C durant l'hiver et -5° au cours de l'été. En Alaska (Barrow), à 20 mètres de la surface, la température du sol gelé qui est à -9°C reste identique toute l'année ; 3° encore plus en profondeur, suivant un gradient géothermique plutôt régulier, la température devient moins basse pour s'élever jusqu'à 0°C ; c'est l'étage inférieur ; 4° au-dessus de ce seuil thermique, la base ou le « plancher » irrégulier du pergélisol est atteint ; à l'île de Melville (Canada), il est à environ 514 mètres (G. JACOBSEN). Dans la vallée Viliuy en URSS, l'épaisseur maximum du permafrost atteindrait 1,5 km. Sous le plancher de la couche gelée, c'est l'infragélisol (*subgelisol* de K. BRYAN). Il arrive que dans le sol tout ne soit pas gelé : d'un côté, entre la surface « reprise » et le plafond du pergélisol proprement dit ; d'un autre côté, à l'intérieur même du sol gelé, vu en plan ou en coupe, il peut exister des champs non gelés, le talik (talite) des auteurs russes.

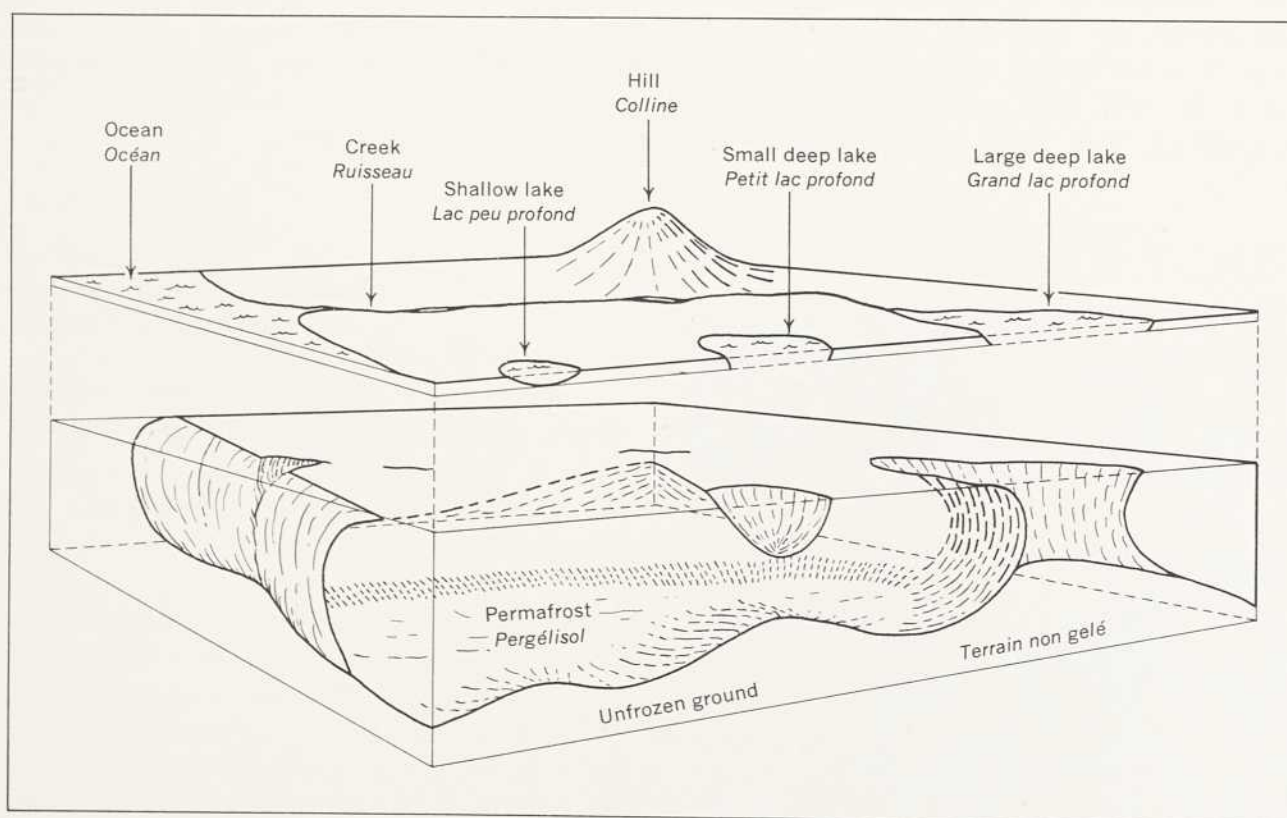
La géocryologie explique le pergélisol par un déficit dans l'échange de chaleur entre l'atmosphère et la lithosphère. Dans le détail, les niveaux du mollisol, du talik et du pergélisol proprement dit tiennent à la nature du matériel, à la quantité d'humidité, aux diverses couvertures isolantes (neige, végétaux, glaciers et nappes d'eau) et évidemment aux ondes climatiques anciennes ou actuelles. Puisque les combinaisons géobioclimatiques sont très variables, les zones pergélisolées peuvent perdre leur équilibre thermique pour devenir en recul (dégradation) ou en expansion.

Vu en plan dans l'hémisphère Nord, le pergélisol se répartit suivant une zonation géométriquement imparfaite. Dans le Grand-Nord, le pergélisol est horizontalement « continu ». Aux frontières sud de la toundra, le pergélisol devient « discontinu ». Dans la partie méridionale du Subarctique, il n'existe plus que des plaques plurannuelles de sol gelé et l'on a parlé de pergélisol

1-7 Permafrost

Permafrost is undoubtedly the most important of periglacial phenomena, although in many ways it is the least spectacular. It can generally be seen only in its influence on other forms such as patterned ground and pingos. Its existence has been known for a long time, but little comprehensive and systematic work was done in the field until about three decades ago when Russian scientists began to study it intensively because of its destructive action on engineering works.

Permafrost or permanently frozen ground is defined as a thickness of soil or other superficial deposit, or even bedrock, at a variable depth below the surface of the earth in which a temperature below freezing has existed continually for a long time—from two years to tens of thousands of years. It is defined exclusively on the basis of temperature, irrespective of texture, degree of inclination, water content or lithologic character (MULLER, 1947). The thickness of permafrost ranges from over 1,000 feet (350 metres) in the north to a foot (one-third metre) or so in the south. The first great recorded depth in Canada ($1,280 \pm 10$ feet) was at Resolute Bay, Cornwallis Is., N.W.T. (MISENER, 1955).



1-7-1
Relief, hydrographie et gel du sol.

Schematic representation of the effect of surface features on permafrost distribution at high latitudes.

« sporadique ». Généralement, dans l'hémisphère Nord, au fur et à mesure que l'on va vers le Sud, le pergélisol est plus aéré, plus mince et son plafond se tient plus éloigné de la surface de l'air. Environ 49% du Canada s'étend sur les zones du pergélisol continu et discontinu (cette dernière tranche comprend par définition des espaces non pergélisolés) ; l'extension horizontale de cette « gélilithe » montre un profond décrochement latitudinal entre les façades ouest et est de la mer d'Hudson.

La portée du pergélisol-mollisol dans l'évolution du modelé est énorme et elle se fait en fonction de la dynamique du sol gelé. Le pergélisol influence la figuration, la solifluxion périglaciaire et le drainage. Il contribue à la formation des pingos, des vallées à fond plat et des dépressions thermokarstiques. Il est présent dans la plupart des géliturbations. En outre, le pergélisol décourage l'action des processus biochimiques. La valeur du pergélisol dans le modelé périglaciaire est telle que l'on a conseillé de cartographier les périglaciaires, anciens et actuel, à partir des zones pergélisolées (Commission périglaciaire, 1959).

Le pergélisol est, de soi, un phénomène au moins subactuel. S'il est ancien, l'on parle de paléopergélisol ou, dans un sens un peu différent, de pergélisol résiduel. D'un autre côté, des passages progressifs de l'état de gélisol temporaire à celui de gélisol plurannuel — et éventuellement pérenne — sont actuellement constatés notamment dans les sommets exposés du Labrador central (J. D. IVES).

Le pergélisol et son conjoint saisonnier le mollisol causent à l'homme de nombreux problèmes. Les Esquimaux ont « enroché » plutôt qu'enterré leurs morts. Les maisons construites sans précautions deviennent rapidement des taudis. Les problèmes de gélisol ont été étudiés d'abord à l'occasion des aventures minières et de la construction des rails au XIX^e siècle et, plus récemment, par suite des activités militaires nordiques. L'habitat s'est adapté ; l'on construit sur terrasses artificielles et sur pilotis lorsqu'on ne va pas jusqu'à pergélisoliser le site du mollisol ; l'« utilidor » extérieur sert de canalisation. Au Spitzberg, l'on mine le charbon dans des galeries pergélisolées.



1-7-2
*Mares de fusion sur une
ancienne piste d'envol.*

*Air-strip abandoned due
to thawing of permafrost.*

1-7-3
*Déformation
d'un pont lors du
regel du mollisol.*

*Deformation
of bridge
due to permafrost.*



Permafrost is the result of a negative heat balance at the surface of the earth, either past or present. This negative heat balance disturbs the normal positive temperature gradient resulting from the outward flow of heat from depths within the earth. Theoretically it can occur when the mean annual temperature at the earth's surface is 32°F (0°C) although, because of local conditions, it generally does not form until the mean annual temperature is several degrees lower.

Permafrost can be divided into several parts in stratigraphic section. Probably the most important is the "active layer," the layer above the permafrost proper that thaws each summer, freezing back each fall. The thickness of the active layer is variable. As a rule it is fairly thin in the north and becomes thicker to the south, depending on the composition (conductivity, texture, moisture content, etc.) of the ground and the type of vegetation and amount of winter snow cover. Its depth may vary locally from year to year depending on local weather conditions. The top of permafrost proper is called the "permafrost table." It will have a very irregular surface depending on such local factors as insulating cover of vegetation and snow composition of ground, exposure to sun, and geographical location.

Malgré son importance, le pergélisol n'exprime pas toutes les situations froides ; il existe, en effet des « milieux périglaciaires sans permafrost » (Sous-commission de terminologie, Paris, 1962).

Gélisol temporaire. Parmi les questions peu étudiées en périglaciologie, il y a celle du gélisol temporaire des pays froids situés à des latitudes moyennes. A ce sujet, plusieurs analogies peuvent être faites avec le mollisol des régions arctiques ; de part et d'autre, les saisons de prise et de fonte alternent, les cycles gélivaux sont plus nombreux à la surface qu'en profondeur, le volume de la glace temporaire dans le sol est proportionnel à la quantité d'humidité dans la matière et à l'intensité des ondes de gel. Par contre, les milieux dans lesquels se produisent l'englacement et le déglacement apportent des différences majeures entre le mollisol arctique et le gélisol des pays tempérés ; d'abord, les couvertures neigeuses et végétales ne jouent pas à un même degré leur rôle d'écran ; la différence essentielle tient aux conditions de forte pression que le permafrost impose à la dynamique du mollisol alors que le gélisol temporaire n'est que faiblement soumis aux tensions gélistatiques. Aussi, l'influence géomorphologique du gélisol temporaire est-elle moins importante que celle du mollisol ; néanmoins, le gel saisonnier modifie l'action de certains processus dont la solifluxion, la nivation et la fluviation ; il réussit aussi quelques figurations de surface.

Permafrost underlies about one-fifth of the land area of the world and about one-half of the land area of Canada, comprising the Yukon and Northwest Territories and the northern parts of all provinces except New Brunswick, Nova Scotia and Prince Edward Island. Three zones have been recognized from north to south: (a) areas of continuous permafrost; (b) areas of permafrost having islands of unfrozen ground (discontinuous areas); and (c) areas of sporadic permafrost consisting dominantly of unfrozen ground but containing islands of permafrost. South of these are isolated small areas where permafrost is found, as in past bogs or string bogs and on mountain tops which are above tree line as in Eastern Canada and N.E. U.S.A. The importance of permafrost is indicated by the consistent reference to it in other sections of this memoir. As stated, interest was first engendered by the problems it created in engineering work in the north, impeding colonization and development of large areas. Roads, railroads, bridges, houses suffered deformation, at times beyond repair, as permafrost began to melt when the heat balance was disturbed. Since then man has learned to live with permafrost and engineering techniques have been adapted to it. Of more immediate interest here is the place of permafrost among periglacial phenomena and processes. It is intimately connected with the development of such forms as pingos, patterned ground, thermokarst, asymmetric valleys, solifluction, talus slopes, rock glaciers and oriented lakes. It prevents organisms from acting on vegetative residue, delays chemical weathering and greatly influences drainage.

LOCALISATION ET PROVENANCE DES ILLUSTRATIONS

SOURCES OF FIGURES

Une mention complète comprend le titre de l'illustration, la localisation, la date (jour, mois, année) de la prise du cliché, l'organisme de recherches, le numéro de l'illustration dans les archives de l'organisme et le nom de celui qui a pris la photo. Tout ce qui suit le mot « *in* », introduisant un nom d'auteur, indique que l'illustration a été publiée et renvoie à la bibliographie à la fin de ce volume. Quand c'est la même personne qui a fourni l'illustration et qui a signé l'article afférent, son nom n'apparaît qu'une seule fois, soit après « *in* ».

A complete reference includes the title of the illustration, the locality, the date (day, month and year) the photograph was taken, the research agency, the catalogue number of the illustration in the files of the agency, and the name of the photographer. The preposition "*in*," followed by an author's name, indicates that the illustration has been published. For the precise reference, the reader should refer to the bibliography at the end of this volume. When the photographer and the author are one and the same person, his name will only appear once, after "*in*."

1-1-1 *Fûts de pipkrakes.*

Needle ice bundles showing serrate edges and bubble trains.

Bassin aval de l'Ogotoruk, N.-O.
de l'Alaska, États-Unis. 10/1961 ;
K. R. EVERETT.

1-2-1 *Lamelles discontinues.*

Sirloin freezing.

Bassin aval de l'Ogotoruk, N.-O.
de l'Alaska, États-Unis. 10/1961 ;
K. R. EVERETT.

1-3-1 *Camp amorphe.*

Massive ground ice sheet.

Près de Stanton, Mackenzie, Canada.
3/8/1955 ; Direction de la Géographie,
Ottawa, n° 1559. *In* MACKAY,
1958.

- 1-4-1 *Formation d'un pingo de type Mackenzie.* *Formation of a Mackenzie type pingo.*

Delta ancien du Mackenzie, N.-O. du Canada continental. In MACKAY, 1963.

- 1-4-2 *Noyau de glace d'un pingo mis à jour par l'érosion littorale.* *Wave-cut pingo.*

Baie de McKinley, delta ancien du Mackenzie, N.-O. du Canada continental. 23/8/1955 ; Direction de la Géographie, Ottawa, n° 1649 ; J. R. MACKAY.

- 1-4-3 *Stade évolué d'un pingo.* *Classical pingo.*

Vallée de la Karup sur l'île de Traill, Centre-Est du Groenland. 1945 ; E. Hofer, expédition Koch. In MÜLLER, 1954 et 1963.

- 1-4-4 *Structure schématique d'un paléopingo.* *Schematic structure of fossil pingo.*

Jósefów, Łódź, Pologne. 1961 ; d'après J. DYLIK.

- 1-4-5 *Micropalse.* *Small palsa.*

Nord de Chimo, Québec, Canada. 15/6/1964 ; Y. CARTIER.

- 1-4-6 *Macropalse.* *Large palsa.*

Vallée de Maclaren près de la route Denali. Alaska central. 8/1965 ; L.-E. HAMELIN.

- 1-5-1 *Poche de glace.* *Ground-ice slump with large ice wedge.*

69°07'N et 132°35'. Mackenzie, Canada. 12/8/1960 ; Direction de la Géographie, n° JRM-60-5-11. In MACKAY, 1963.

- 1-5-2 *Dépôt de coin de glace.* *Fossil ice wedge.*

Zakrećie, Pologne. 9/1958 ; L.-E. HAMELIN.

- 1-5-3 *Réseau polygonal à fentes de gel remplies de dépôts.* *Excavation of polygonal net of filled fossil ice wedges.*
Walecice, Lowicz, Pologne. 1963 ;
J. DYLIK.
- 1-5-4 *Évolution schématique d'un coin de glace.* *Schematic drawing of evolution of an ice wedge in permafrost.*
In LACHENBRUCH, 1960 et 1965.
- 1-5-5 *Sillon.* *Fissure.*
Baie de Cambridge, Victoria, Canada.
1955 ; J. K. FRASER. In COOK, 1959.
- 1-5-6 *Fente de glace.* *Ice wedge.*
L.-E. HAMELIN.
- 1-6-1a *Cavité de fusion.* *Hollow.*
N.-O. d'Isachsen, Ellef Ringnes, Arctique insulaire, Canada. 13/4/1959 ;
Ministère des Mines, Ottawa.
In D. SAINT-ONGE, 1965.
- 1-6-1b *Entonnoir de fusion et de gélifluxion.* *Sketch of a hollow.*
1960 ; Jean-Claude OLIVIER. In LAMOTHE et SAINT-ONGE, 1961.
- 1-6-2 *Dépressions lacustres de thermokarst et réseau tétragonal de fentes de glace.* *Thermokarst topography.*
Nord de la péninsule de Melville,
Arctique continental, Canada.
7/1963 ; L.-E. HAMELIN.
- 1-6-3 *Dépôts de poches de fusion.* *Thermokarst pockets.*
Ober Siebenbrunn, Est de Vienne, Autriche. 5/1964. In L.-E. HAMELIN, 1965.
- 1-6-4 *Dépression venant de la fusion de la glace dans le sol.* *Thermokarst hollow in melting permafrost.*
Inuvik. 8/1957 ; Division de la recherche sur la construction, Conseil national des Recherches, Ottawa.

- 1-7-1 *Relief, hydrographie et gel du sol.* *Schematic representation of the effect of surface features on permafrost distribution at high latitudes.*

D'après A. H. LACHENBRUCH.

- 1-7-2 *Mares de fusion sur une ancienne piste d'envol.* *Air-strip abandoned due to thawing of permafrost.*

Aklavik. 6/1954 ; Division de la recherche sur la construction, Conseil national des Recherches, Ottawa.

- 1-7-3 *Déformation d'un pont lors du regel du mollisol.* *Deformation of bridge due to permafrost.*

Clearwater Lake, Tanana Valley, Alaska. M. F. MEIER, 15/8/1951. U.S. Geol. Survey. In PÉWÉ et PAIGE, 1963.

Chapitre deux : *Gélivation — Gélifraction — Météorisation*

INTRODUCTION

Les processus de météorisation (météoration) sont inégalement connus dans les pays froids. La météorisation chimique existe ; de récentes études, tant boréales qu'australes, reconnaissent l'existence d'un tel mécanisme ; en Antarctique, la diorite a été profondément attaquée ; par ailleurs, on admet l'évolution relativement rapide des roches karstiques dans les pays modérément froids. Mais le type de météorisation qui est le plus souvent signalé se rapporte aux processus mécaniques dont la gélifraction. En URSS, L. I. KORZHENKO a étudié la combinaison des météorisations chimique et mécanique.

La gélifraction consiste dans l'éclatement, la fragmentation et même la pulvérisation d'un matériel rocheux ou non, par l'action du gel. En 1956, Henri BAULIG a francisé le terme de *congelifraction*, suggéré par K. BRYAN dix ans plus tôt. Mieux vaut d'ailleurs employer « gélifraction », pour désigner cette action singulière de l'isolement de morceaux, que le terme plus abstrait de « gélivation ». Ce dernier pourrait exprimer l'action stricte du cycle gel-dégel.

Cette séparation mécanique des éléments qui profite de l'évolution antérieure se fait en fonction des conditions de climat et du terrain. La gélifraction pré-suppose le cycle gélival qui comprend la série chronologique des phases du gel (engel, état de gel, dégel ; regel...) dans l'air, dans les terrains et autres matériaux ; des études de laboratoire ont montré que les cycles gélivaux (non nécessairement fixés à 0°C) sont d'autant plus effectifs qu'ils sont nombreux, que la durée des phases est longue, que la sévérité de l'engel est grande, que le matériel possède des aptitudes à la dislocation. La fragmentation est différentielle suivant les caractéristiques lithologiques ; la texture préfigure souvent les gélifractions ; une stratigraphie mince donne des plaquettes. L'éclatement peut produire des exfoliations, voire même des modelés de desquamation ; la gélifraction travaille en fonction des faiblesses structurales de la roche où l'humidité d'ailleurs tend à se loger. On distingue la gélifraction initiale des gélifractions de reprise qui amenuisent les blocs. Ce processus illustre donc la victoire de la pression engendrée par la congélation de l'eau sur la résistance et la cohésion des matériaux.

La roche en place gélifractée — chicot, gendarme, tors, arête, nunatak, mur de rimaye — devient anguleuse et rugueuse. La gélifraction crée des micro-irrégularités topographiques, voire même des encoches et des vallons. Les gélifractions sont très largement représentées dans les phénomènes périglaciaires et même glaciaires. Ils composent des pierriers de tout type : felsenmeer, chaos de blocs, éboulis, « cité rocheuse » (H. T. U. SMITH).

L'ablation par météorisation semble actuellement plus faible qu'elle ne l'était antérieurement. En Scandinavie et au Spitzberg, des mesures d'érosion évaluent à moins de 1 mm par an l'épaisseur moyenne de la tranche enlevée (A. RAPP ; S. RUDBERG).

Chapter two : *Frost-shattering (Congelifraction)*

INTRODUCTION

Frost-shattering is an important process in the development of a periglacial landscape. It has been referred to in the literature as frost-splitting, frost-riving and congelifraction.

Frost-shattering may affect either parent material or blocks previously shattered. Moisture and extreme fluctuations of temperature on either side of the freezing point 32°F (0°C) are essential for maximum frost-shattering. Water entering the pores, bedding planes or fractures of the rock, freezes, exerts great pressure and breaks it up. If this process occurs on a slope or cliff, talus accumulations develop with the aid of gravitational forces. On horizontal planes felsenmeere or block fields may result.

The fragments resulting from frost-shattering may range from very large blocks to finely comminuted material which is easily removed by fluvial or eolian action. The individual fragments are called congelifracts.

In addition, changes in internal pressure due to varying coefficients of expansion and contraction of the components may lead to exfoliation and/or frost-shattering.

2-1 *Gélifracts*

Le produit de la séparation d'éléments anguleux par le gel est le gélifract ; on distingue le macrogélifract (plus d'un mètre de longueur), du méso et du micro (grains). La dimension et la forme du gélifract tiennent notamment à la structure de la roche ; un calcaire lité et fortement diaclasé pourra fournir de petits blocs alors qu'un granit pourra se défaire en arène. Une croûte ou des diaclases courbes favoriseront l'exfoliation.

Les gélifracts composent des felsenmeer sur des surfaces planes, des « chaos de pente » sur des terrains inclinés et, au pied d'abrupts nourriciers, des éboulis ; ils alimentent certains glaciers de montagne au point de les rendre « noirs ». Souvent, la solifluxion et les glissements secs ou humides s'emparent de la masse des gélifracts. Enfin, l'on retrouve ces derniers en abondance dans des polygones de toute sorte.



2-1-1
Gélifracts et neige.

*Frost-shattered blocks
and snow-cover.*



2-1-2
Mésogélifracts.

*Medium-sized
frost-shattered blocks.*

2-1 *Frost-shattered blocks*

Congelifraction is a term introduced by BRYAN (1946) to describe frost-shattering, frost-riving or frost-splitting. It is an important process in periglacial regions where mechanical weathering is at a maximum and chemical weathering at a minimum.

The break-up of rock by freezing normally requires repeated freezing with intervals of thawing and results in the production of rock spalls and also in the comminution of rock into small grains. The individual fragments are called congelifragments and may be very large or extremely fine. Further, the comminution of rock into mineral grains by frost action produces a distinct type of sand and finer fragments. In addition, exfoliation occurs as a result of frost action (2-1-3).

Congelifraction is responsible for the large talus slopes in periglacial regions, and for boulder fields or felsenmeere at high levels.

2-1-3
*Caillou glaciaire
exfolié.*

*Exfoliation
in marble.*



2-2 Éboulis (de gravité)

Le terme désigne à la fois l'un des mécanismes d'arrivée des matériaux individuels sur les pentes et la forme que prend l'ensemble du dépôt.

Une masse d'éboulis est constituée de blocs individuels assemblés au pied d'un abrupt. La dimension de ces unités est en relation avec la structure et les diaclases de la roche-mère de même qu'avec le style climatique d'isolement des blocs. Les cailloux anguleux sont disposés en fonction de leur forme et de leur volume, des conditions de leur première installation et des réaménagements subséquents ; en général, plus un bloc est étroit, mieux il est orienté suivant la génératrice de la formation. En théorie, la granulométrie de surface devient de plus en plus grossière vers le bas du talus ; des études des éboulis de l'Aiguille Rousse dans les Alpes (DAVEAU ; HAMELIN) montrent cependant que le minimum dimensionnel est atteint non dans le haut mais dans le centre de la formation. Au contraire, certains blocs énormes, roulant sur la tranche, terminent leur course à des centaines de mètres au-delà des talus. En profondeur, la granulométrie devient plus fine, phénomène apparemment lié aux reprises de la fragmentation de même qu'au lavage superficiel et à l'entraînement par infiltration.

Le rassemblement des blocs, venus en chute libre, peut créer trois types de dépôts, soit une masse informe, soit un cône régulier débouchant d'un couloir inscrit dans la corniche surplombante, soit un talus ou tablier au bas d'une paroi longue et plutôt homogène. La pente du profil, généralement rectiligne, varie de haut en bas de 37° à 27° environ. La dissymétrie des abrupts nourriciers, la topographie sous-jacente et les différentes phases climatiques peuvent rendre irrégulières les formations d'éboulis. A la fin, des pinacles résiduels et déchiquetés (surface résiduelle) dominent de peu les dépôts de pente qui fossilisent presque entièrement le versant.



2-2-1
Talus d'éboulis.

Talus slope.

2-2 Talus

The term is synonymous with scree, and here is used to describe both the process of displacement of material on slopes and the forms which are developed by the displacement of the material.

A talus mass consists of individual blocks collected at the foot of a steep slope. Its dimensions are related to the structure and composition of the parent rock. The rate of formation is considered to be most rapid in cold regions (periglacial) where the major cause is the expansive force of the alternate freeze and thaw of water in the interstices of the parent rock and rock waste. The angular boulders are finally deposited as a function of their shape and size. Changes in the adjacent topography and different climatic phases provide irregularities in the formation of talus. Residual pinnacles and prominent jagged rocks may be almost completely covered by deposits on the slopes.

The collection of blocks, after being released and falling downslope, creates three types of deposits: a formless mass, a regular talus cone at the opening of a gully, or a talus slope which is long and festooned, the result of coalescing cones. The angle of slope varies from 37 to 27 degrees from higher to lower levels, and size of material deposited is a function of the slope (*i.e.* finer material at the top, the coarser material on the lower slopes).

2-2-2
*Cônes coalescents
d'éboulis.*

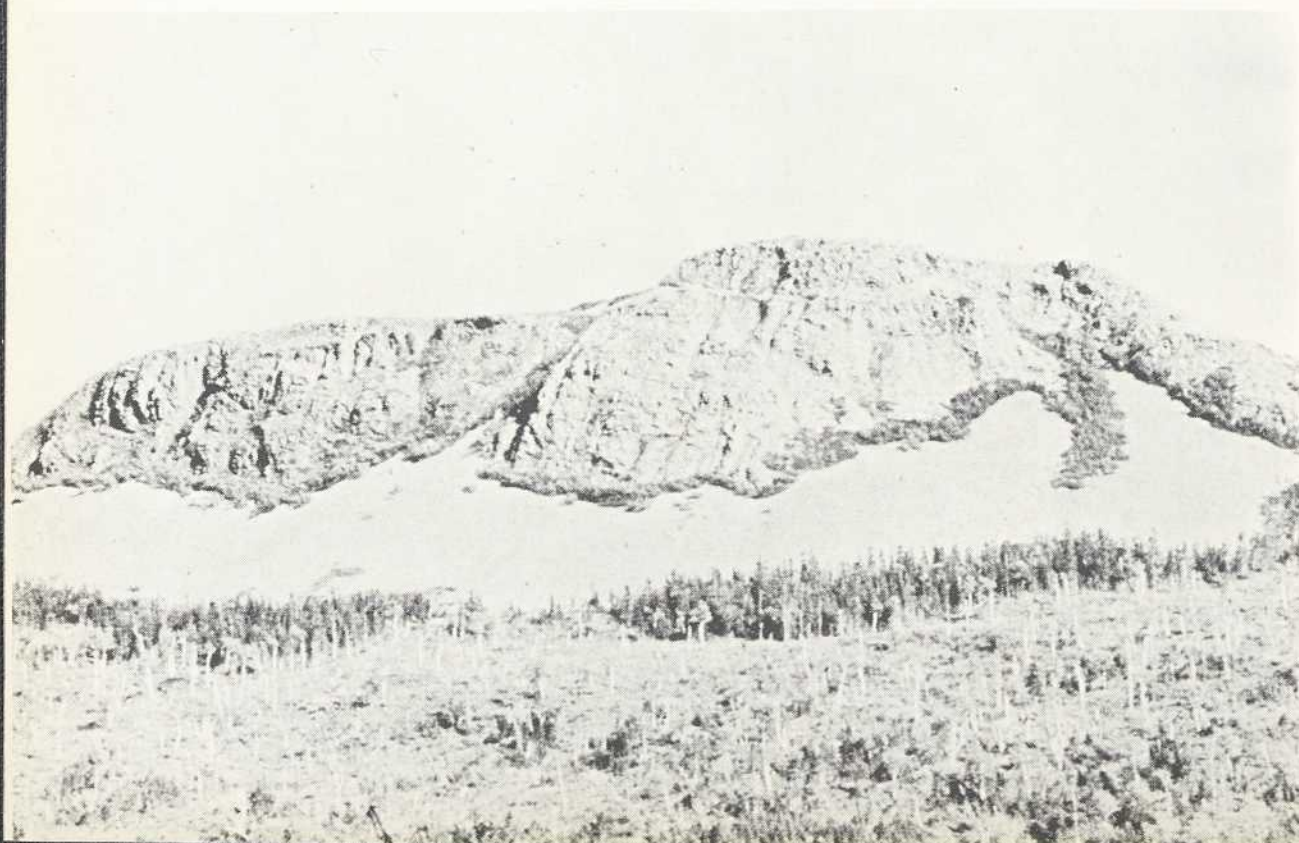
*Coalescent
talus cones.*



Même pour ce phénomène apparemment simple, les processus sont complexes. Dans les pays froids, la « réduction » mécanique tient aux actions gélivales et de fonte ; sous d'autres climats, l'isolement des blocs peut se faire sous l'effet de fortes variations thermiques positives. Certaines dispositions rendent l'éboulis azonal. La nudité de la roche de même que des conditions de structure et de sensibilité aident les processus initiaux. La gravité, répondant à la raideur de la pente, permet le déplacement des blocs des hauteurs vers le bas. D'une façon mineure, l'arrivée des matériaux se fait également par des écroulements, des avalanches et même des glissements sur des congères comme le suggère l'absence de triage et d'orientation de certains blocs. Après leur première installation, les éléments ont tendance à se déplacer par nivation, gélifraction secondaire, dissolution, gravité, ruissellement passager et parfois action humaine. A la fin, une formation d'éboulis est une accumulation polygénétique piémontane. Quand la pente d'équilibre est atteinte et qu'il n'y a pas de reprise dans l'action des processus, la formation devient figée.

Dans les pays glaciés, des éboulis bordiers alimentent les moraines latérales. Certains éboulis sont des formes de transition ; d'un côté, A. RAPP a décrit des masses de blocs qui tenaient aux cônes de déjection ; d'un autre côté, P. BIAYS appelle « chaos de pente » des accumulations grossières mixtes ressemblant à la fois aux éboulis et aux champs de blocs.

Les massives formations d'éboulis, tout comme les vastes felsensmeer, ont commencé leur carrière avant le dernier postglaciaire.



2 - 2 - 3
*Colonisation
végétale
périphérique
sur un talus
subactuel.*

*Talus slope
and vegetation
ring.*

As with many apparently simple phenomena, the processes involved are complex. The reduction mechanism (denudation) in cold lands is by alternate freezing and thawing; under other climates large thermal changes cause blocks to separate from the rock wall. Talus is thus azonal. Bare rock as well as certain structural conditions appreciably aid the initial processes. Gravity, highly effective through steepness of slope, allows the downward displacement of blocks to the foot of the mountain. Minor factors in the downslope movement of material are rockfalls and avalanches which do not produce sorted or oriented blocks. After movement has ceased, the actions of nivation, secondary gelifraction, solution, gravity, running water and human activity may produce additional movement and subsequent rearrangement and reduction of the blocks. When the slope has reached a state of equilibrium, the supply of material equals the loss by transport, and the slope can retreat parallel to itself.

2-3 Champs de blocs

2-3-1. Dans les Torngats, au-dessus de 650 mètres d'altitude (jusqu'aux sommets de 1.300 mètres), les blocs deviennent beaucoup moins arrondis. Ceux qui ont été dégagés de la roche en place par disjonction mécanique sont angulaires. La glaciation limitée des sommets aurait permis à la gélifraction de profiter de l'état du nunatak pendant une période relativement longue. Par la suite, la fluviatation et le vent ont exporté des éléments fins ; la formation est donc devenue plus grossière.

Théoriquement, les champs de blocs sont composés d'une masse de gélifracsts multifformes qui peuvent en arriver à fossiliser complètement la roche-mère sous-jacente. Ils sont généralement *in situ*. Les *felsenmeer* pourraient être considérés comme une variété géante de champs de blocs. Un matériau fortement diaclasé et humide, un couvert végétal mince, un nombre élevé de cycles gélivaux et l'intensité du froid sont des conditions favorables au développement de ces nappes de cailloux. Un cas particulier vient du lessivage d'une moraine grossière ; plutôt que d'être anguleux, les blocs ont des coins arrondis ; parfois même, ils sont sphériques.

Il y a des déserts de pierres d'altitude et de latitude. Les chercheurs ont tendance à « vieillir » les champs très développés dont la formation aurait débuté avant le postglaciaire.

Les champs de blocs rendent tout déplacement pénible.



2-3-1
Pierrier de sommet.

Felsenmeere.

2-3 *Felsenmeere*

Felsenmeere, block fields or mountain-top detritus, are fields of frost-shattered rock of varying sizes and shapes, usually found "in situ" on higher summits. Often individual blocks may be moved by solifluction or other forms of mass movement, and on level surfaces patterned ground is common. There can be a further complication in the higher arctic where modified felsenmeere are found, i.e., overridden by continental ice but only slightly disturbed. In the Torngat Mountains, there are two distinct types of boulder fields. Below the 2,000-foot level (600 m) much of the level ground is mantled with "water-washed" moraine and the mass of boulders is characterized by a sub-angular to sub-rounded form, although occasional boulders have been split subsequent to the rounding process. Above this altitude the surface cover of rock debris on gently sloping ground is usually distinctly angular. The rocks are believed to have been disintegrated mechanically. The formation of blockfields is assumed to be most rapid in the colder, vegetation-free areas of a periglacial environment. Both the degree of cold (intensity of the annual freeze-thaw cycle), and the frequency and intensity of short-term, or diurnal, freeze-thaw cycles appear to be controlling factors in its development.

Felsenmeere occur on gently sloping or level surfaces in middle or higher latitudes and often completely bury the parent rock. The presence of felsenmeere at higher elevations is often taken as an indication that the area remained as a nunatak during previous glaciation. Felsenmeere are a serious handicap to travel.

The age and rate of formation of felsenmeere are matters of controversy. Some workers believe that a felsenmeere cover has formed on mountain tops since the last glacial period. Others argue that a much longer period is required for deep felsenmeere to develop and that its occurrence indicates either the upper limit of the inland ice of the last glaciation or, at least, that it has been covered only by an inactive or protective mantle of ice. Boulder pavement consists of a slightly inclined surface composed of randomly-spaced blocks, usually frost-shattered. They have a flat surface and constituent boulders are generally characteristic of the bedrock of the area, although in some cases they have been ice-rafted. They produce a thin layer without pattern (polygonal, for example) over a substratum of finer material. They are relatively shallow (less than 20 inches), although they may be from a few hundred yards (a few hundred meters) to half a mile wide (800 meters). The fine material has been removed by running water and/or wind. They are widely distributed in North America and Fenno-Scandinavia.

An examination of the orientation of the blocks may help to explain their origin. Many processes may be involved: congelifraction (frost-shattering), congeliturbation (frost-churning), ice formation in spaces between the blocks, needle ice or nivation.

2-3-2
*Langue
de pierres.*

Boulder tongue.



2-4 *Surface résiduelle*

Une gélifraction incomplète laisse dans le paysage des affleurements déchi-quetés. Ceux-ci se rencontrent soit au-dessus de la limite de l'englaciation (cas des nunataks), soit en bordure des glaciers (mur de rimaye), soit dans la partie sommitale des montagnes non glaciées à des altitudes plus ou moins élevées suivant la latitude, soit, enfin, le long de versants dans l'aire périglaciaire du Pléistocène.

Ces zones de départ de matériaux sont caractérisées par des modelés ruiniformes : tour, corniche, piton, arête, surplomb, champignon, pierre branlante, couloir ; les faces sont généralement raides ; l'ensemble de l'édifice est souvent peu solide. Au pied de ces reliefs fragiles s'étalent des matériaux meubles ; généralement, il s'agit de blocs grossiers et anguleux qui, en milieu humide, s'amenuisent vers l'aval. Le contraste topographique est grand entre les parois subverticales de la partie rocheuse sommitale et les inclinaisons adoucies des dépôts en contrebas ; sur ceux-ci peuvent même se développer des formes polygonales de pente.

Différents mécanismes peuvent rendre compte de ces petits massifs résiduels d'érosion. Une certaine irrégularité topographique, structurale ou non, est une disposition favorable. Sur les parties hautes, la gélifraction joue un grand rôle, dans certaines conditions ; d'abord, les aptitudes lithologiques sont primordiales, l'isolement des blocs se faisant en fonction des fissures horizontales et verticales ; la distance entre les diaclases préfigure à la fois la topographie de la future masse résiduelle et la forme des déchets. Pour géliver, les roches doivent être humides ; en fait, l'eau est fournie par les pluies, par la fonte de la neige attardée dans les aspérités, par la vapeur d'eau, par la fusion et même par injection venue des sections gélisolées. Les cycles gélivaux peuvent avoir beaucoup de prise car les couvertures isolantes (nivales, végétales ou lacustres) n'existent guère. En certains cas, l'action des coins de glace contribue à l'individualisation des blocs. Ces dômes isolés et perchés perdent de la matière non seulement par gélifraction mais par écroulement, avalanche, impact des décharges électriques et des ondes sismiques, glacier de cirque et relâchement de pression. Le ruissellement strict compte très peu dans l'évolution du massif du mont Blanc (P. VEYRET).

Le cas des tors (2-4-2), localisés dans les régions paléo-périglaciaires — Grande-Bretagne, Europe centrale — peut être légèrement différent. Quoique certains les considèrent comme des collines périglaciaires sculptées au Pléistocène, il semble, d'après D. L. LINTON, qu'ils sont des formes dont l'évolution aurait commencé au Tertiaire chaud ; une intense décomposition chimique n'aurait laissé intacts que des noyaux arrondis, d'ailleurs recouverts d'épais régolithes ; ceux-ci, érodés au cours du Quaternaire, ont mis à nu les cœurs rocheux dont l'évolution actuelle semble curieusement prolonger l'exfoliation et la desquamation anciennes. Les tors rencontrés dans les roches granitiques n'ont pas nécessairement la même forme que les tors développés dans les grès.

Les encoches, utilisées comme abri-sous-roche par les tribus préhistoriques, illustrent les différences de vulnérabilité au gel d'une série stratigraphique non homogène (P. BOUT).

2-4-1
Nunataks.

Nunataks.



2-4 *Surface remnants*

Craggy outcrops may be left in areas of incomplete gelifraction. They may be found either above the limit of glaciation (as in the case of nunataks), at corrie heads, or on Pleistocene periglacial slopes. The distinguishing characteristic of these features is their chaotic or advanced state of collapse. It is a topography in ruins characterized by towers, mushroom-shaped and perched stones and felsenmeere. It is believed that these forms are residual from a different climatic regime of the past, although they may be undergoing active mechanical disintegration today.

There are many factors that may explain these small residual massifs. Undoubtedly the most important is structural control, the arrangement of joints and bedding planes in the bedrock. As LINTON (1955) has observed, "... the wasting process has been guided and controlled by these internal division planes in the rock." Among the mechanisms periglacial processes in the past may have played an important role. Water from rain, melting snow and possibly melting permafrost would enter the cracks in the bedrock, freeze and hasten disintegration.

Gelifraction, therefore, may have been one of the contributing factors in the formation of this type of topography.

2-4-2
Tor.

Tor.



LOCALISATION
ET PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS

SOURCES
OF
FIGURES

2-1-1 *Gélifracts et neige.*

Frost-shattered blocks and snow-cover.

Mont de Sainte-Anne, Haute-Gaspésie,
Québec, Canada. 4/10/1965 ;
L.-E. HAMELIN.

2-1-2 *Mésogélifracts.*

Medium-sized frost-shattered blocks.

Resolute, Cornwallis, Arctique insulai-
re, Canada. 8/1960 ; F. A. COOK.

2-1-3 *Caillou glaciaire exfolié.*

Exfoliation in marble.

« Pointe » du Marbre, Antarctique.
1961 ; A. CAILLEUX.

2-2-1 *Talus d'éboulis.*

Talus slope.

Haute-Brock, Canada continental. Di-
rection de la Géographie, n° DM 363.
1951 ; J. K. FRASER.

2-2-2 *Cônes coalescents d'éboulis.*

Coalescent talus cones.

Fjord du Temple, Spitzberg occiden-
tal, Svalbard. 1882 ; G. DE GEER.
In RAPP, 1960.

2-2-3 *Colonisation végétale péri-
phérique sur un talus sub-
actuel.*

Talus slope and vegetation ring.

Mont de Sykes, île de Terre-Neuve,
Canada. 30/7/1966 ;
L.-E. HAMELIN.

2-3-1 *Pierrier de sommet.*

Felsenmeere.

Torngats du centre, section septentrionale de la Côte-du-Labrador, Canada. 2/8/1956. *In* Ives, 1957.

2-3-2 *Langue de pierres.*

Boulder tongue.

Lanzo, Alpes, Italie. G. F. CAPELLO.

2-4-1 *Nunataks.*

Nunataks.

Chaîne côtière. Sud-Est de l'Alaska, 3/8/1962.

2-4-2 *Tor.*

Tor.

Haytor Down, Dartmoor, Devon, England. 12/7/1964. *In* HAMELIN, 1965.

Chapitre trois : *Nivation*

INTRODUCTION

La glace dans le sol, les cycles gélivaux et la neige constituent les trois principaux agents du modelé périglaciaire. La nivation (MATTHES, 1900) se rapporte à l'action totale (érosion mécanique, dissolution, « protection », évacuation et accumulation) de la neige dans l'évolution du relief. Même si la neige participe à la formation de très nombreux phénomènes, elle n'est pas tout le périglaciaire ; le terme de « nivalisation » a été proposé pour remplacer celui de nivation dont le sens avait été démesurément élargi.

Autour des congères (ou « banes » de neige), s'exerce la démolition périphérique alors que, sous la neige, des dissolutions et des évacuations fluviales et solifluidales se produisent. Cette évolution conduit notamment à la formation de niches, de traînées et de talus. Le dos de la congère sert de plan de glissement (et parfois de ruissellement) pour la construction des bourrelets de pont de neige ; associée à la glace, la neige durcie doit agir dans la mise en place des arcs des glaciers rocheux.

La neige est responsable aussi de certaines érosions mécaniques par l'intermédiaire des avalanches en montagne et par suite du transport éolien de fines aiguilles de neige glacée.

Les écoulements nivaux participent aussi à la formation de certains modelés « froids ». Sans parler spécifiquement de la forte concentration du ruissellement à la période de fonte où le gélisol et les glaces flottantes accentuent l'indice périglaciaire du milieu, la fusion nivale semble être un facteur majeur de l'accumulation des dépôts à litage périodique dont les grèzes. Des écoulements nivaux forment aussi des ruissellements en filets ou en nappes qui œuvrent dans la création des glacis. Accumulation et évacuation nivales, liées à l'action du vent, jouent aussi lors de certaines asymétrisations de vallées. La neige et le vent, travaillant ensemble, créent des accumulations nivéoliennes.

Le manteau nival ne disparaît pas uniformément. Ce déneigement différentiel multiplie les micro-milieus où les conditions de météorisation, de gélifluxion, de fluviatation et d'éolisation deviennent localement différentes.

Les processus nivaux ne jouent pas également pendant toute l'année ; généralement, le fininival est beaucoup plus efficace que le pléninival ; dans les pays de moyenne latitude et à saison froide, à cause de la période internivale d'été, le nival est intermittent d'une année à l'autre.

Tout ce qui concerne la neige ne relève pas du périglaciaire et des auteurs traitent avec le glaciaire certains aspects du nival ; le cirque « nivo-glaciaire » tient à la fois du glacier et de la neige ; il en est de même du glacier rocheux.

Chapter three : *Nivation*

INTRODUCTION

Nivation is an important geomorphic process in periglacial regions, although it has been generally ignored in standard textbooks, and only recently has it been studied quantitatively in the field. It can be defined as a process by which snow affects the disintegration of some landforms, and the formation of others. A distinction must be made between permanent or semi-permanent snowbanks, a form of quiescent *névé*, and loose-blowing snow. The former is a static form and a medium for the very gradual release of water which does not escape as run-off but seeps into the ground beneath the snowbank. The latter, as blowing snow, is a dynamic form and can be an effective erosive agent. Avalanches are a special case.

Snowbanks can affect geomorphic process in many ways. The slow, steady release of water from the snowbank provides the lubrication and consistency for solifluction flow. At the same time, temperature fluctuations across the freezing point at the contact of the melting snow and the mantle facilitate frost-shattering and comminution to fine material. The concentration of carbon dioxide in snowbanks (sometimes twenty times as great as in rain water) produces increased chemical weathering under the snowbank, especially in limestone areas. Snowbanks help produce nivation hollows, corries, stripes, steps and other forms. They are a factor in providing water for ice formation in rock glaciers. The glissading of rocks and other debris down snowbanks results in one form of protalus rampart. The same process in river valleys permits removal of large amounts of material from the side walls to the river bed, where, with the spring freshet it is swept away, either on floating ice or by the torrent of the run-off. Snowbanks are associated with the development of asymmetric valleys.

Residual snow lingering in declivities on uneven surfaces produces many of the processes attributed to permanent snowbanks, such as accelerated solifluction, increased frost action and chemical weathering. These processes would be additive, for the larger the hollows grow, the longer snow will remain in the spring.

Blowing snow has been under-rated as a geomorphic agent. At a temperature of -50°F (-45°C) a snow crystal has a hardness of 6 (equivalent to a sand grain). In periglacial regions, with little or no vegetation to break the wind, long periods of strong wind in winter, and extremely low temperatures, blowing snow accomplishes much corrasion, especially in areas of softer rocks, such as sandstone. Among resulting forms are tafoni, abraded surfaces, and the other forms normally found in areas of blowing sand.

3-1 *Avalanches*

L'avalanche est, en montagne froide, un processus mécanique, brutal et souvent chronique du façonnement des versants enneigés.

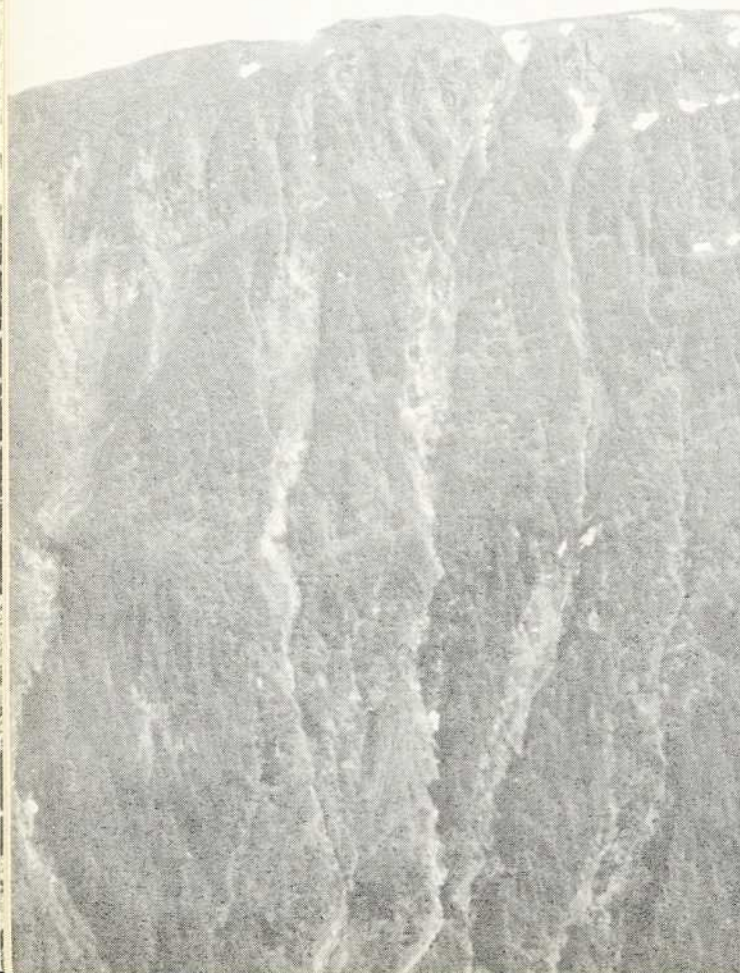
Comme pour les torrents et les éboulis, d'amont vers l'aval, on distingue habituellement trois sections : une zone de départ, un couloir central — draie, cannelure — par où se font l'évacuation et des arrachements additifs, enfin, un chaos piémontant très hétérogène sur les plans de la topographie et de la stratigraphie.

Les conditions favorables aux avalanches tiennent au climat et au terrain. L'avalanche, phénomène initialement nival, est liée à une couche de neige, épaisse, lourde et mal fixée au sommet d'un abrupt ; le déclenchement se fait lorsque les forces de gravité l'emportent sur celles de frottement. Un plan de glissement tel une dalle de roc lisse ou une « croûte » de recongélation favorise évidemment le déplacement ; il en est de même d'une forte pluie ou de la fonte printanière qui alourdit le manteau nival (par exemple, en juin 1957 dans les Alpes, d'après Jean TRICART).

D'ailleurs, on classifie les avalanches à partir de ces conditions en distinguant l'avalanche « poudreuse » (neige fraîche) de l'avalanche « humide » (neige lourde) ; celle-ci, qui peut se transformer en « avalanche de fond » quand elle entraîne roc, matériaux meubles et végétaux sous-jacents ou latéraux, est de beaucoup la plus redoutable. Il peut se produire aussi des avalanches mixtes de neige et de glace de glacier. Au seuil du déséquilibre, peu d'une chose peut décider du départ de la neige : on parle des vibrations causées par les décharges électriques ou par le passage d'un avion qui traverse le mur du son. En Alaska, le tremblement de terre du 27 mars 1964 a déclenché des avalanches accompagnées de glissement et d'écroulement ; ainsi, 78 millions de tonnes de toute matière (neige, glacier, matériaux meubles et roc) sont brutalement descendues dans la vallée du glacier Sherman (W. O. FIELD).

3-1-1
Couloirs d'avalanche.

Avalanche scars.



3-1 *Avalanches*

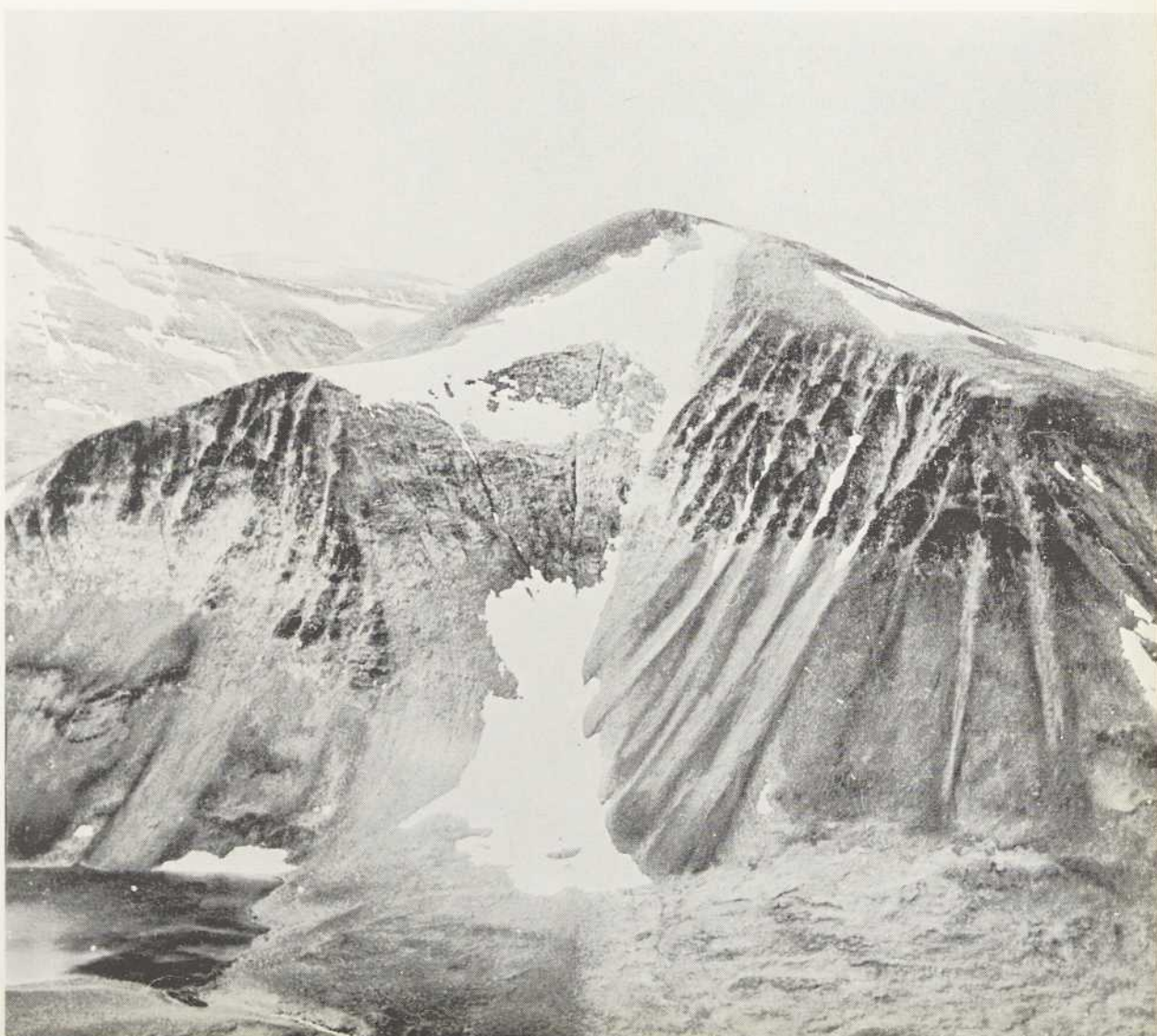
The term "avalanche" is used both for the process involved and the actual phenomenon (*i.e.*, a large mass of snow, mixed with rock, earth). It is a violent, mechanical process; when avalanches fall into valleys below they often cause great destruction. They tend to recur along the same track, and it is normally possible to distinguish three parts from top to bottom: a zone of departure, a central channel-like corridor through which the snow and enclosed material pass, and finally a debris piedmont, very heterogeneous both in plan and in stratigraphy.

Conditions favourable to avalanches are both climatic and topographic. The avalanche results from a precariously situated thick layer of snow on a steep slope. When released, the mass moves downslope under the force of gravity. While sliding, rock and other debris are incorporated in the moving mass.

Avalanches have been classified as: dirty avalanches, fresh snow avalanches and wet avalanches of heavy snow. The latter type are powerful geomorphic agents and able to change the landscape when they contact the underlying rock, movable materials and vegetation. On the threshold of disequilibrium it takes very little to start an avalanche, even vibrations from a ringing bell can release the snow.

3-1-2
Avalanches.

Avalanches.



L'avalanche est un phénomène rapide, ce qui déclenche de puissants vents locaux. La masse de matériel, souvent réduite au départ, se gonfle au fur et à mesure de l'accroissement de la vitesse et de la puissance de choc. La masse qui roule et glisse, cure les couloirs empruntés, strie les parois, arrache tout sur son passage. En haute montagne, l'avalanche nourrit les glaciers en neige, boue et pierres. Au bas du versant, les dépôts, étendus sur plusieurs centaines de mètres, se disposent en éventail ou en langue étroite ; topographiquement, ils forment des chaos, des bourrelets arqués, ou des plaques dispersées.

L'avalanche est surtout un phénomène printanier ; au cours des autres saisons, le site de la région ravagée est soumis à l'action de divers agents et processus : météorisation, torrents, éboulis.

L'avalanche se produit surtout dans les montagnes tempérées océaniques, par exemple en Colombie (Canada) et en Suisse, à un niveau optimum quant aux chutes de neige et quant à la raideur des pentes des auges glaciaires. Dans les Alpes italiennes, les *franes* (coulées de boue et de pierres) sont souvent associées aux avalanches (A.-M. FAIDUTTI).

L'avalanche cause de grands désastres. Les dépôts peuvent fermer la vallée principale, détruire les cultures et toute forme d'habitat, provoquer embâcles et inondations ; il y a parfois des pertes de vie. Certains moyens permettent de combattre ce fléau de la montagne : dynamitage hâtif de la neige, sentier de dérivation, plantations, appentis et déménagement des hameaux menacés.



3 - 1 - 3
*Éboulis remaniés par des
couloirs et levées d'avalanche.*

*Avalanche paths
with talus cones.*

An avalanche is a rapidly moving phenomenon; it can exceed 300 miles per hour and start local winds. The mass of material, often compacted at departure, becomes progressively extended, increasing in speed and power. The mass, which rolls and slides, scratches the surface over which it passes and uproots everything in its way. The debris collects at the bottom of the slope, and sometimes out into the main valley. It disturbs all forms of habitation and produces obstructions and misfortune for all forms of life.

Avalanches occur chiefly in mountains of a temperate oceanic climate; as for example, Switzerland.

Certain methods have been used to combat this mountain menace. Among these methods are: dynamiting early snow, diverting the snow by constructing earth banks and planting of vegetation.

3-2 *Processus du nivo-« karst »*

Le nivo-« karst » se rapporte à des départs de matière causés par la météorisation chimique de la neige. La neige mouillée pourrait porter en solution jusqu'à 20 fois plus d'oxyde de carbone que l'eau. Par ailleurs, celle-ci, à une température près du seuil de gel, possède un pouvoir d'absorption maximum de certains gaz, dont précisément cet oxyde. Quand l'eau de fonte ou de pluie s'infiltré au travers d'une telle masse de neige, elle se charge d'acide carbonique. Or, cet acide est un agent très puissant de dissolution de certaines matières minérales. Sous la congère, il peut donc se produire une intense météorisation chimique, malgré la faible circulation des eaux dans le gélisol probable.

En fait, certaines surfaces calcaires, recouvertes de neige au moment de la fonte, prennent un microrelief très irrégulier. Par ailleurs, les gélifracts calcaires deviennent troués alors qu'à leur base la calcite dissoute fige en travertin.

3-2 Nivo-karst

Nivo-karst is a characteristic of periglacial areas although little quantitative data are available. However, solution beneath snow can locally be very effective, leading to a karst-like topography because of differential chemical erosion.

Rain or meltwater passing slowly through the snow is close to the freezing point and at the optimum temperature for the absorption by the water of gases such as carbon dioxide (CO_2) and oxygen (O). Maximum concentration is found after freezing and thawing. This concentration of carbon dioxide is absorbed by rain and meltwater passing through the snow providing the water with carbonic acid for chemical weathering. Carbonic acid is the most abundant and most potent of the agents that dissolve mineral matter from the rocks. The result is an increase in chemical weathering under the snowbank. On limestone surfaces that are snow covered during the thaw period this process produces rough, etched rock with sharp ridges and pinnacles a few inches high. Sub-nival solution occurs on limestone fragments where pitting and etching result. Moisture that passes through frost-shattered plates dissolves calcite and redeposits it on the underside as travertine crystals (3-2-1).

3-2-1

*Dissolution et dépôts de travertin
sur un gélifract calcaire.*

*Sub-nival solution and travertine
crystals on limestone fragment.*



3-3 *Niche nivale*

Les niches nivales sont des cavités inscrites dans une masse saillante et causées, au moins en partie, par les diverses actions de la neige sur le modelé des versants. Le fond est concave, rectiligne ou même convexe ; l'extrémité aval de la niche est raccordée au versant par une inclinaison en biseau ou, parfois, par un petit talus d'accumulation (bourrelet d'évacuation). En considérant la forme d'ensemble de la dépression, l'on constate que celle-ci n'est pas toujours hémisphérique ; certains bassins allongés suivant les courbes de niveau sont « transversaux » à la pente générale du terrain ; les cavités qui sont plutôt parallèles à l'inclinaison topographique sont dites « longitudinales ». Plusieurs niches nivales peuvent être « étagées » le long d'un versant (M. M. MILLER). A l'intérieur du monde nival, comme dans le cas des vallées asymétriques, l'orientation et les autres caractéristiques des niches varient d'une région à l'autre.

L'agent fondamental de l'évidement de la niche serait la neige. On connaît mal les modalités de la phase « incipiente ». Soit que la neige se loge dans des dépressions existantes (structurales, d'érosion torrentielle, mécanique ou glaciaire), soit que la fonte saisonnière d'une suraccumulation nivale soit localement ralentie. Quoi qu'il en soit, la résidence prolongée de la congère, comme toute neige résiduelle, détermine une évolution différentielle du relief. Alors que la gélifraction s'exerce le long des parois latérales et en amont (et même en dessous) de la congère, la dissolution (3-2) et une fluviation fine prévalent sous la masse de neige. En aval et autour de celle-ci, le ruissellement en filets et la solifluxion accentuent l'évacuation du matériel. Ces diverses actions, plus ou moins synchronisées, sont évidemment favorisées ou non par les conditions lithologiques et climatiques. A Ellef Ringnes, la forme d'ensemble des cavités de même que les pentes des parois et du fond ne sont pas les mêmes dans les grès, les schistes et les gabbros (D. SAINT-ONGE). La niche nivale « pure » peut être modifiée par des glissements périphériques, ce qui festonne la concavité initiale. Après le départ de la neige, les matériaux meubles du plancher peuvent se disposer en polygones.

La transformation de la neige en névé épais change partiellement les processus d'évolution du fond de la dépression et peut notamment favoriser la construc-

tion d'un bourrelet de congère. Une cavité nivale installée dans un ancien cirque glaciaire est une forme glacio-nivale alors que l'inverse produit un phénomène nivo-glaciaire. Il faut distinguer la niche nivale des cavités de fusion de la glace dans le sol (thermokarst).

3-3-1

*Angle entre la paroi
amont et le fond d'une
niche transversale.*

*Simple nivation
hollow.*



3-3 *Nivation hollows*

Nivation hollows are shallow, cirque-like basins found on slopes and upland surfaces in regions that are now, or have been, under the influence of a periglacial climate. When active they are occupied by semi-permanent or permanent snowbanks that never grow into glaciers; when the hollows are inactive, or fossil, the snowbanks are lacking. In shape, nivation hollows lack the steep headwalls associated with true cirques and are generally much smaller. However, there is a sharp break in slope between the back wall and the floor of the hollow and again between the floor of the hollow and downslope. Three types are generally recognized, related to the different shapes of snow patches: (a) transverse, with the major axis lying transverse to lines of drainage; (b) longitudinal, elongated downslope; and (c) circular, which though transitional between the other two, in ground plan is frequently of far greater dimension. Measurements of nivation hollows within a limited area appear to fall within a very small range, suggesting that they develop according to some geomorphic process or law.

The process of initiation of a nivation hollow is little understood; apparently it depends on an accumulation of snow which persists after snow on exposed surrounding slopes has disappeared. The most likely sites are small declivities in northerly-facing slopes subject to minimum insolation, or on slopes with an aspect favouring the accumulation of drifting snow. In far northerly latitudes, however, snow may linger on southerly slopes. Two processes are important—nivation and solifluction. Once the process begins it is accumulative because the snow remaining prolongs the freeze-thaw period, aiding congelifraction and comminution of material. This material is carried out by snow meltwater of rill wash and deposited either on the floor of the hollow or downslope. The hollow enlarges annually, and with the deposition of material on the floor of the hollow a sharp contrast develops between the floor and surrounding areas. Patterned ground, such as stripes, circles and small polygons may develop, and the hollow often assumes the appearance of a solifluction terrace.

The distribution of both active and fossil nivation hollow is widespread.

3-3-2
*Série d'hémicycles
de nivation au
front d'une cuesta
schisteuse.*

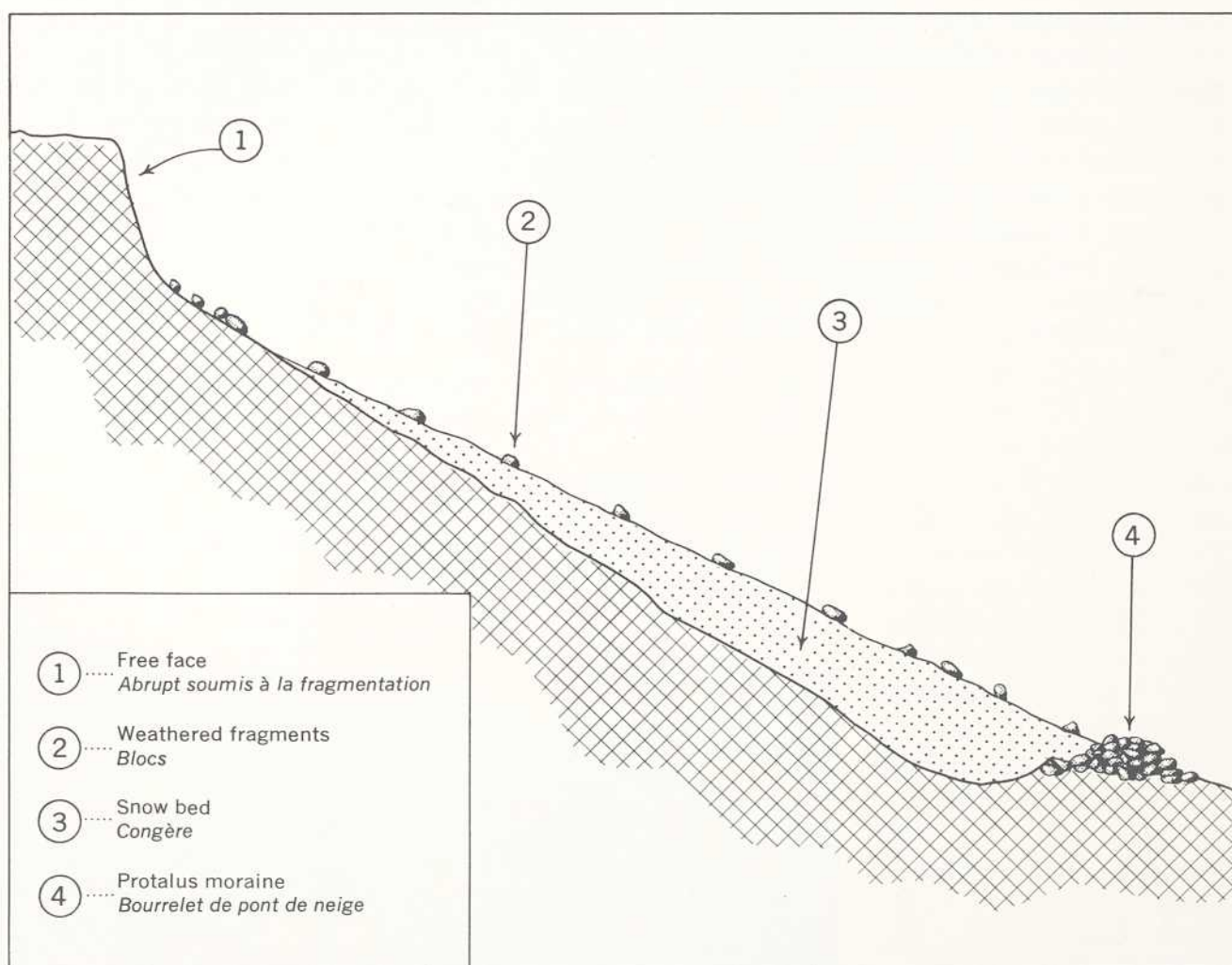
Nivation hollows.



3-4 Bourrelets de congère

En aval de plaques de neige, de névé ou même de petits glaciers, il peut se former des bourrelets de terre et de blocs ; topographiquement, ceux-ci sont accusés par l'allure généralement concave du fond de la congère (*voir niche nivale*). Cette accumulation bordière peut tenir à un déplacement de blocs sur pont de neige (ou pont de glace) qui fournit un plan idéal de glissement (3-4-1). Cette « moraine de névé » illustre donc les rôles mécanique et passif de la neige. L'on rencontre souvent ces dépôts en aval des éboulis, d'où le nom anglais de *protalus*.

Un type tout différent de bourrelet nival tient, dans certaines conditions de gel et de dégel du sol, à un fin entraînement sous-nival (3-4-2). Certains auteurs rattachent ces accumulations frontales à des phénomènes de solifluxion. En aval des congères, P. J. WILLIAMS a mesuré des mouvements printaniers de l'ordre de 25 cm.



3-4-1
Bourrelet de pont de neige.

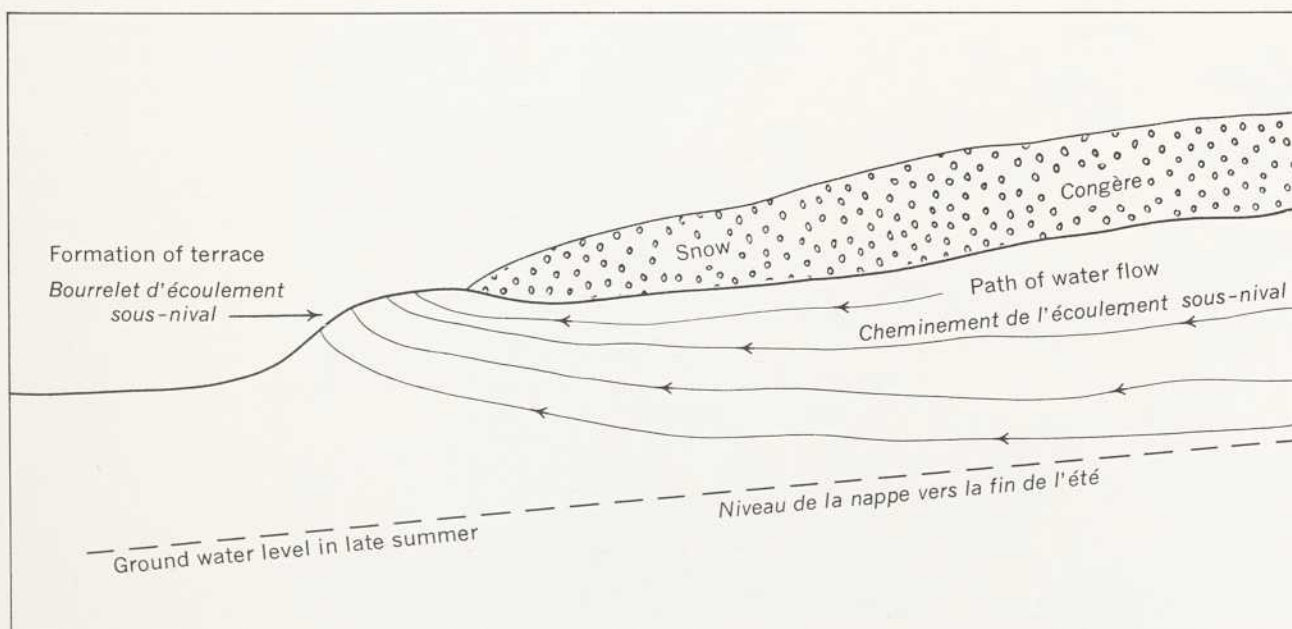
Nivation protalus.

3-4 *Protalus*

Rock protalus may form at the lower edge of snowbanks. It is identified as an arcuate ridge of debris which forms by the sliding downslope of boulders over the snow (3-4-1).

This phenomenon, a moraine due to nivation, illustrates the secondary role snow plays in the mechanical process of building talus slopes.

Protalus can also result from solifluction (3-4-2) when movement of fine material below the surface, probably along the permafrost table, produces a similar ridge form.



3-4-2

Bourrelet d'évacuation sous-nivale.

Solifluction protalus.

3-5 *Déneigement différentiel*

En 3-5-1, à 340 mètres d'altitude, voici une région morainique en grande partie déboisée. La disparition inégale du tapis nival se fait en fonction des conditions locales : vallonnement du relief, conditions différentes d'exposition au soleil ou à l'air chaud, irrégularités dans l'épaisseur originelle du manteau, densité et charge minérale de la neige, orientation de l'action du vent. Ces modalités fininivales multiplient et différencient les micromilieus ; d'un point à l'autre, les conditions de gélivation, de mollition temporaire, de gélifluxion, de nivation et de fluviation périglaciaire deviennent extrêmement variables. Comme beaucoup de plaques de neige ont tendance à réoccuper le même site chaque printemps, leur présence ici et leur absence là, sur une longue période, marquent le modelé.

La photo 3-5-2 montre une congère résiduelle correspondant à une suraccumulation locale par le vent. La densité moyenne de la neige atteint 0,4 ; à la base, peut exister une mince couche de glace de recongélation. Une telle masse d'ailleurs installée sur des pentes fortes subit un « creep » dit nival ; en Colombie-Britannique, on a observé, à la base d'un « banc » semblable, un déplacement saisonnier d'un mètre (R. MACKAY). Les processus d'évolution du relief, très actifs au printemps, ne peuvent être les mêmes en dessous de la congère et dans les endroits déjà découverts. Ces « bancs », également, peuvent servir de pont de neige (3-4-1).



3-5-1
*Manteau nival
discontinu.*

*Cover of
discontinuous
snow.*

3-5 *Residual snow (differential snow melt)*

At an elevation of approximately 1,100 feet (330 m) on "le Plateau des Caps," Charlevoix, Canada, there is a morainic region which is for the most part unforested. The disappearance of the snow cover here is a function of local conditions: small hollows in the relief, irregularities in the thickness and density of the snow covering the deposits, the wind action during the winter, and differences in exposure to sun and warm air. These very variable factors affect the action on the micro-relief of frost, solifluction, nivation and fluvial processes.

3-5-2
Banc de neige.

Snow patch on slope.



Les sillons de fusion ou les simples couloirs gélivaux installés entre les cellules polygonales peuvent garder plus longtemps la neige, que cette dernière soit saisonnière ou nouvelle (3-5-3). A l'intérieur d'une aire polygonale, sommets et sillons ne sont pas en tout temps rigoureusement soumis aux mêmes processus ; la fluviation entre les polygones est l'un des facteurs de la figuration superficielle de certains terrains.

Soufflée par le vent, la neige s'accumule dans les vallées en soulignant le type simple mais bien équipé d'un réseau hydrographique installé dans des terrains relativement tendres (3-5-4). Les lisérés nivaux résiduels couvrent totalement le talweg (écoulement en dessous) ou les deux côtés du talweg (écoulement subaérien central) ou le seul versant sous le vent. La section amont, peu encaissée, de plusieurs vallées n'avait plus de neige au moment où la photo a été prise. Ces vallées évoluent à la fois par nivation et ruissellement.



3-5-3
*Plaques interpolygonales
de neige.*

Snow outlining polygons.

There is a tendency for the snow to melt first in the same place each spring, which over a long period of time favours development of the existing pattern of relief. Residual snow patches on some slopes in the valley of the Couchepaganiche correspond to a super-accumulation of snow by wind action. The density averages 0,4 and at the base a bed of ice develops by freeze-thaw action. Such an accumulation of snow is a form of nivation resulting in snow creep on the slope. In British Columbia movement downslope exceeding three feet (1 m) has been recorded during one winter. These processes affect the relief of the area in spring when they are active, moving rocks and other material, as well as favouring solifluction and fluvial action.

In the spring in northern regions snow remains for some considerable time in the furrows outlining polygons. This results in differential thawing, as the centre of the polygon is open to insolation long before the furrow. As a result periglacial processes are active earlier in the centre of the polygon than on the rims.

3-5-4
Neige-galerie.

Snow banks.



3-6 *Glacier rocheux*

Le glacier rocheux consiste en une masse dynamique de dépôts caillouteux en situation piémontane. Les gros blocs anguleux l'emportent de beaucoup sur le matériel fin. Les matériaux sont mal triés. Les glaciers rocheux peuvent avoir un kilomètre de long et rarement plus de large. Leur épaisseur peut dépasser 50 mètres. L'inclinaison axiale de la formation se fixe à près de 10° avec des pentes locales de 5° à 20° . Parfois, l'extrémité du glacier rocheux semble remonter vers l'aval comme la spatule d'un ski. La forme en plan se rattache à trois types : transversal (plus large que long) ; hémicirculaire ; en tube (plus long que large), que cette dernière forme soit simple ou digitée. En général, les glaciers rocheux de vallée sont étroits et ils forment un lobe unique alors que les glaciers rocheux de piedmont sont plus étalés et plus libres. Dans le détail, le glacier rocheux montre un paysage varié de bourrelets longitudinaux et surtout transversaux (ondes de progression), de buttes, de sillons, de dépressions fermées et de gros blocs perchés. Le bourrelet extérieur, parfois haut de plus de 10 m, a toujours une pente forte, de l'ordre de 35° ; si le glacier rocheux est « vif », les blocs frontaux ne seront recouverts que de très peu de lichen. Quant aux bourrelets transversaux internes, ils ne sont pas calibrés mais ils sont convexes vers l'aval. En fait, les bourrelets comme tels n'existent pas toujours ; en aval du Ciarforon (Alpes italiennes), on trouve plutôt des dépôts cahotiques qui tiennent à la fois des moraines amorphes et des arcs réguliers. La vitesse annuelle moyenne de déplacement en surface de certains glaciers rocheux a été calculée à près d'un mètre ; mais le mouvement ne se limite pas à la surface. L'extrémité aval d'un glacier rocheux actif peut descendre à une altitude inférieure à celle de la ligne de névé. La puissance d'évidement des glaciers rocheux dépasse en vitesse celle de plusieurs autres agents d'érosion.

3-6-1
*Glaciers rocheux
et éboulis.*

Rock glacier.



3-6 *Rock glaciers*

Rock glaciers consist of a dynamic mass of angular blocks and fine material in piedmont position. The mass is poorly sorted, and is cemented by ice a few feet beneath the surface. Fronts of active (moving) rock glaciers are bare of vegetation, and blocks are at the angle of repose, making a sharp angle with the upper surface. Fronts of inactive rock glaciers may be covered with lichens or other vegetation, have gentle slopes and be rounded at the top. Active rock glaciers average up to 150 feet (50 m) in depth.

In Alaska rock glaciers have been grouped in plan into three types: (a) lobate, in which the length is less than the width (200 to 3,500 feet long and 300 to 10,000 feet wide, 60 m to 1,000 m long and 90 m to 3,000 m wide); (b) tongue-shaped in which the length is greater than the width (500 to 5,000 feet long and 200 to 2,500 feet wide, 150 m to 1,500 m long and 60 to 800 m wide); and (c) spatulate, tongue-shaped but with an enlargement at the front. In detail, rock glaciers present a varied picture with longitudinal and transverse fissures, ogives, rolls, buttes, closed depressions and perched blocks.

3-6-2

*Vue d'ensemble d'un
ancien glacier rocheux.*

Rock glacier.



Une situation au pied d'un abrupt diaclasé et gélif pouvant livrer de nombreux blocs (par la suite résistants à la météorisation de reprise) est une première condition favorable ; il en est de même d'une pente générale permettant l'évacuation des matériaux. De plus, le glacier rocheux, surtout celui du versant, peut être alimenté par des avalanches, des éboulis et, dans les Andes, par des glaciers enterrés (LLIBOUTRY). Pour se mouvoir, le glacier rocheux a besoin d'un lubrifiant qui lui sera fourni par une quantité optimum de glace interstitielle ; celle-ci peut être soit de la glace résiduelle d'un glacier, soit du névé, soit de la glace de congélation d'eau de fonte nivale, soit ces trois types réunis. Certains glaciers rocheux sont localisés dans des milieux pergélisolés.

Le glacier rocheux n'est pas obligatoirement un phénomène de déglaciation généralisée. En Alaska, on a identifié deux époques postglaciaires de glaciers rocheux.

Les glaciers rocheux sont très répandus non seulement dans les pays froids mais dans les hautes montagnes des pays tempérés. Il y en a d'anciens et d'actuels. C'est un phénomène à la fois périglaciaire, glaciologique et glaciaire.



3-6-3
*Bourrelets arqués
 et superposés.*
Rock glacier.

When active, rock glaciers show movement of up to several feet (1-2 m) per year on the surface, with lesser amounts at the front. The movement is thought to result from flow of interstitial ice. For development they require steep cliffs, a near glacial (periglacial) climate cold enough for the ground to be permanently frozen, and bedrock that is broken by frost action into coarse blocky debris with large interconnected voids.

Rock glaciers are widely distributed, not only in northern lands, but in high mountain areas of lower latitudes.

3-7 *Cryoconite*

Cryoconite (NORDENSKIÖLD, 1879) ou « thermoconite » désigne des dépôts fins, minces et irrégulièrement dispersés qui provoquent une fusion inégale de la neige ou de la glace sous-jacente. La surface devient criblée de trous individuels en forme de cloche renversée ; ces cavités deviennent plus profondes (1 m) que larges, elles sont parfois dissymétriques, « trous méridiens » d'après L. LLIBOUTRY. Parfois, les urnes de cryoconite sont disposées en série allongée. Un champ de « nids d'abeille » est une étendue très ruiniforme comprenant des dépressions à fond terreux et des pointes nivo-glaciologiques intermédiaires ; ces « épées de glace », aiguës, ont jusqu'à 7 mètres de hauteur. Inversement, dans les « cônes de dépôts » (B. ROBITAILLE), le matériel terrestre supranival n'est pas dans les dépressions ; ce sont les sections blanches (nues) qui sont en creux. Sur une même base de neige et de glace, lors de la fonte, le matériel minéral (de couverture) ne joue donc pas partout le même rôle.

Ces divers cas de fonte différentielle en surface tiennent à certains éléments communs. Les matériaux terrestres qui forment une couverture discontinue sont généralement apportés par le vent ; en montagne, les processus de versant (avalanches, torrents, coulées de pierres) livrent aussi des matériaux. La matière blanche encaissante est de la glace de glacier, de la glace de congélation de l'eau, des névés et de la neige lourde. L'insolation et la sublimation sont choses capitales. Les éléments terreux modifient la réaction de la glace face à la chaleur solaire ; si le matériel de couverture est mince, la chaleur d'abord encaissée puis radiée par ce matériel accentue la fonte locale, d'où formation d'une « urne » ou « puits d'ablation » qui s'approfondit petit à petit ; au contraire, quand des dépôts terrestres trop épais ralentissent la fonte, ils restent perchés (table de glacier). Il semble que l'épaisseur et la répartition des dépôts de même que les caractéristiques de la neige et de la glace donnent les raisons essentielles des crêtes et des creux. Ces phénomènes sont à la frontière de la glaciologie et du périglaciaire.

3-7 *Cryoconite*

Cryoconite is a fine dust which is strewn in heaps on the snow and/or ice surface. It is transported by the wind and deposited, where it acts as a dark surface absorbing solar radiation and causing excessive melting of the ice around and below it. The cryoconite sinks down into the ice vertically, forming holes of various shapes and sizes. Cryoconite may also be observed as long stripes, a more or less continuous cover, or as debris on dirt cones.

3-7-1
*Urnes
de cryoconite.*

Cryoconite holes.



LOCALISATION
ET PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS

SOURCES
OF
FIGURES

- 3-1-1 *Couloirs d'avalanche.* *Avalanche scars.*
Près de Juneau, Alaska du S.-E.,
États-Unis. 8/8/1962 ;
L.-E. HAMELIN.
- 3-1-2 *Avalanches.* *Avalanches.*
Versant du Pallenjakko, Suède, 1959.
In RAPP, 1960.
- 3-1-3 *Éboulis remaniés par des cou-
loirs et levées d'avalanche.* *Avalanche paths with talus cones.*
Massif des Aiguillettes, Oisans, Alpes,
France. 9/1957 ; L.-E. HAMELIN.
- 3-2-1 *Dissolution et dépôts de tra-
vertin sur un gélifract cal-
caire.* *Sub-nival solution and travertine crystals
on limestone fragment.*
Près de Resolute, Cornwallis, Arctique
insulaire, Canada. 8/1961 ;
F. A. COOK.
- 3-3-1 *Angle entre la paroi amont et
le fond d'une niche transver-
sale.* *Simple nivation hollow.*
Resolute, Arctique insulaire, Canada,
1961. Voir COOK et RAICHE, 1962.
- 3-3-2 *Série d'hémicycles de nivation
au front d'une cuesta schisteu-
se.* *Nivation hollows.*
Sud-est de la presqu'île du Météorolo-
gue. Ellef Ringnes, Arctique insulaire,
Canada. 13/6/1960. In SAINT-ONGE,
1964.
- 3-4-1 *Bourrelet de pont de neige.* *Nivation protalus.*
Ouest de Schefferville, Péninsule du
Québec-Labrador, Canada. In AN-
DREWS, 1961 .
- 3-4-2 *Bourrelet d'évacuation sous-
nivale.* *Solifluction protalus.*
Rondane, Norvège du centre. 8/1955.
D'après P. J. WILLIAMS.

- 3-5-1 *Manteau nival discontinu.* *Cover of discontinuous snow.*
Plateau des Caps, N.-E. de Québec,
Canada. 4/1960 ; L.-E. HAMELIN.
- 3-5-2 *Banc de neige.* *Snow patch on slope.*
Vallée affluente de la Couchepagani-
che, plaine du Lac-Saint-Jean, Qué-
bec, Canada. 15/4/1963 ; H. GAGNON.
- 3-5-3 *Plaques interpolygonales de* *Snow outlining polygons.*
neige.
S.-O. du fjord Louise, Ellef Ringnes,
Arctique insulaire, Canada. *Circa*
1960. *In* D. SAINT-ONGE, 1965.
- 3-5-4 *Neige-galerie.* *Snow banks.*
Borden, Arctique insulaire, Canada.
Aviation royale du Canada, Ottawa,
n° T411R-164.
- 3-6-1 *Glaciers rocheux et éboulis.* *Rock glacier.*
Ruisseau Clair, Sud de Fairbanks,
chaîne d'Alaska, États-Unis, 1946.
In C. WAHRHAFTIG et A. COX, 1959.
- 3-6-2 *Vue d'ensemble d'un ancien* *Rock glacier.*
glacier rocheux.
Vallée de l'Eau d'Olle, Oisans, Alpes
occidentales, France. 7/1950 ;
L.-E. HAMELIN.
- 3-6-3 *Bourrelets arqués et superpo-* *Rock glacier.*
sés.
Glacier rocheux d'Arbole, massif de
l'Emilius, Alpes, Italie. 9/1957 ;
A.-M. FAIDUTTI.
- 3-7-1 *Urnes de cryoconite.* *Cryoconite holes.*
Île de Melville, Canada, 1962 ;
W. E. S. HENOCH.

Chapitre quatre : *Glaciellisation*

INTRODUCTION

L'action des glaces flottantes sur le modelé constitue un secteur délaissé du périglaciaire, bien qu'au XIX^e siècle le rôle des glaces, de nappes d'eau ou de rivières ait fait l'objet de nombreuses observations valables. Au Canada en particulier, l'intérêt du sujet réside non seulement dans l'immense dimension linéaire actuelle des côtes à glace mais encore dans les vastes et froides submersions du Quaternaire (lacs de barrage glaciaire, mer de Champlain, mer de Tyrrell...).

Les glaces flottantes causent des érosions particulières sur les berges et rivages : arrachement par les pieds de glace, « stries » fines, labourage, déchaussement, mares d'estran, concavités à la bordure du lit, action de choc des matériaux flottés (glaçons, blocs rocheux, débris végétaux).

Par ailleurs, les glaces flottantes transportent une quantité très considérable de débris dits « glaciels » (HAMELIN, 1959). Ceux-ci viennent de deux sources : soit qu'ils aient été directement pris en charge lors des englacements sur le littoral, soit qu'ils aient été livrés par les processus de versants, par les fluviations ou par le vent. Ces matériaux sont accompagnés de blocs atteignant parfois de très fortes dimensions (« blocs démesurés », d'après André CAILLEUX) ; ces dépôts hétérogènes sont les « lyells » (R. LOUGEE, 1960).

Après le déglacement, des champs de blocs (glaciels) dispersés ou alignés, des couches de limon, des chaos et bourrelets, des couronnes périphériques aux obstacles, certains dallages, des touffes de pelouse chevauchantes, des blocs isolés, redressés ou recouverts ajoutent au témoignage du passage des glaces sur le littoral. Par la suite, la gélifluxion va adoucir des micro et mésoreliefs. Malheureusement, l'observateur ne voit pas la sédimentation qui a pu se faire au large.

Les glaces flottantes ont également des actions indirectes en augmentant, sur les berges, le volume de la glace dans le sol, en causant dans les dépôts littoraux des dérangements stratigraphiques (turbations glacielles), en fossilisant et dégageant alternativement les obstacles, en modifiant profondément les conditions de la dynamique fluviale dans les cours d'eau englacés (embâcles et débâcles).

Les glaces flottantes créent des situations périglaciaires très variables. De plus, il n'y a pas nécessairement synchronisme dans les cycles nival, glacial et gélival, ni au moment du refroidissement ni à celui du réchauffement.

Les glaces flottantes ont une grande influence sur les conditions de transport non seulement maritimes (iceberg ; pack) mais aussi littorales (pied de glace ; chaos). J.-C. DIONNE a distingué leurs actions sur le schorre et la slikke.

Chapter four : *Floating ice forms*

INTRODUCTION

Floating ice phenomena and processes fall within the frame work of periglacial geomorphology because frost action is involved. Both sea ice and river ice are included, and resulting forms may be either erosional or depositional.

Sea ice is a much more effective agent than river ice. Under certain conditions it can exert great pressure on shore deposits, building large boulder barriers or ramparts. To a lesser degree lake ramparts are built on lake shores. Ice-foot niches are formed, especially on softer cliffs, the collapsing overhanging wall being carried away on floating ice. Debris is moved along the shore. Small striations may result from moving ice which are very different from glacial striations in that there is no consistency of direction.

River ice may move boulders and other materials along the shore and transport debris deposited on it by solifluction, rock-fall, avalanches or other forms of mass movement. Ice jams in rivers back up water which, when released, gives the river redoubled energy and may produce considerable erosion especially in areas of unconsolidated sediments.



4-1-1
Cailloux
et matériel fin
au-dessus
et à l'intérieur
de glaçons
échoués.

*Boulders and
fine material
enclosed in
beached blocks
of ice.*

4-1 Sédiments glaciels (Lyells)

Les glaces flottantes ont de nombreuses occasions de recueillir des sédiments : prise en charge directe lors de congélations riveraines, apports éoliens, alluvions fluviatiles venant du continent, dépôts au pied des abrupts côtiers, courants littoraux. Dans 4-1-1, un gant donne l'échelle ; il s'agit donc ici de blocs relativement petits. Mais la quantité totale de débris transportés par les glaçons peut dépasser même celle qui est en suspension dans la masse d'eau. En 4-1-2,

ce processus accumule des dépôts dont le volume peut excéder la compétence proprement fluviale du cours d'eau ; cette accumulation reste sur les terrasses du lit majeur et, aux limites extérieures, elle forme parfois des « levées nivoglacielles ». Une partie seulement du matériel transporté par les glaces flottantes est déposée sur les berges ; le reste est semé au large et submergé.



4-1-2
Glaçons, matériel fin
et débris végétaux
« défluvés » sur une basse
terrasse après un
gonflement nival modéré.

*Ice blocks,
fine material and vegetative
debris on lower terrace.*

4-1-3

*Dépôts terreux sur blocs de glace,
en partie fossilisés par de la neige fraîche.*

Debris on floes.



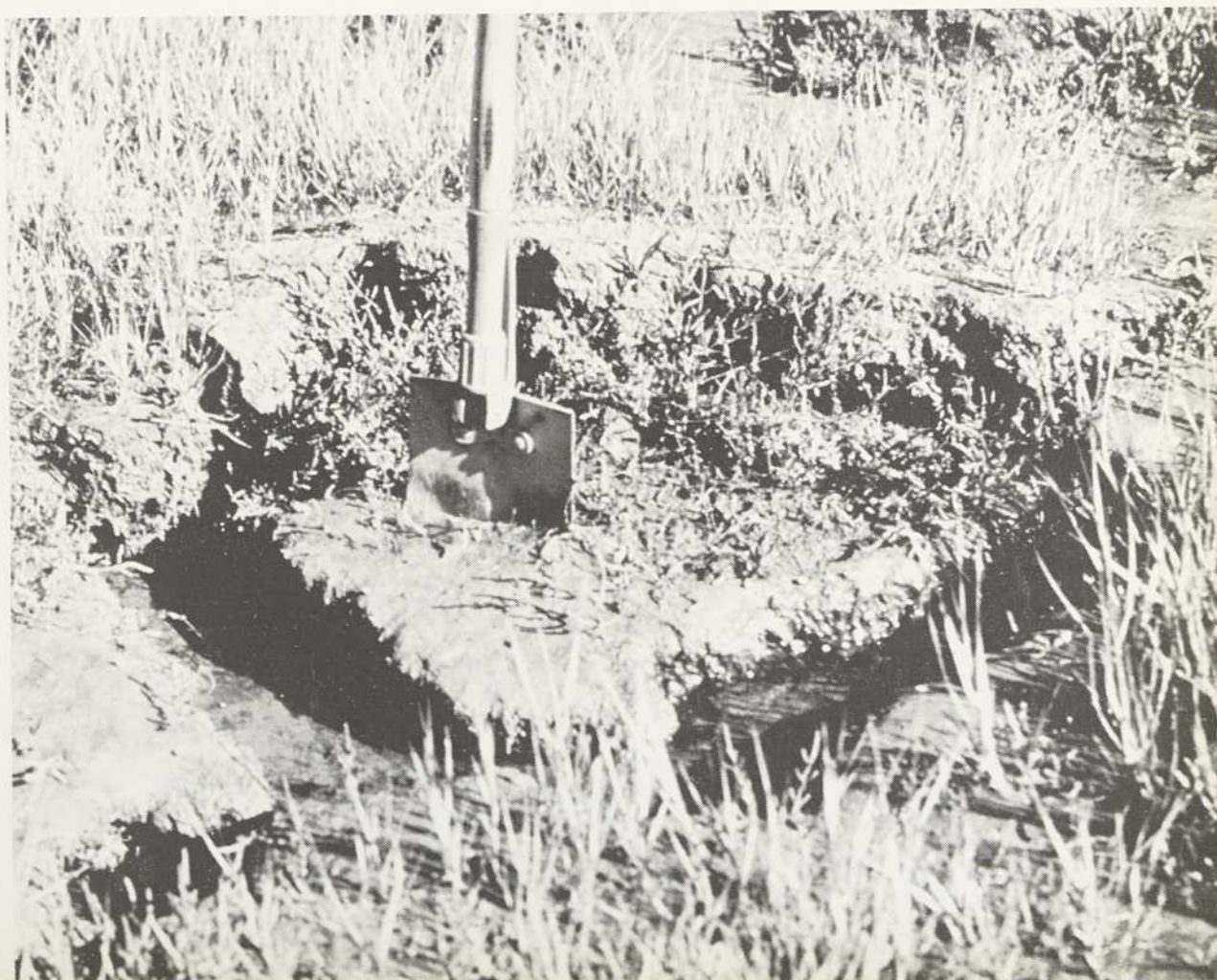
4-1 Floating ice sediments

On occasion floating ice gathers sediments directly from riverside congelifracts, wind deposits, river alluvium or deposits at the foot of steep coastlines. The amount of debris transported by the ice is about the same as that carried in suspension in a river; however, some blocks can be very large. Only part of the material transported by floating ice is deposited on the banks or shores, the rest is deposited on the river, lake or sea bottom.

4-1-4

*Dépôts
organiques
superposés.*

*Rafted
pieces of
schorre.*



4-2 *Champ de blocs*

De tous les matériaux délestés par les glaces flottantes — que celles-ci soient d'origine marine, lacustre, fluviale ou glaciaire — les « blocs d'estran » sont les plus convaincants ; la majeure partie du matériel glaciaire est cependant composée d'éléments fins.

Dans les pays glaciés, les blocs, souvent de l'ordre du mètre, proviennent généralement de moraines ; il ne s'agit pas seulement de délavage *in situ* de dépôts glaciaires grossiers mais souvent de prise en charge, voire même de reprise, puis de déplacement de matière. Erratiques par rapport à la roche en place locale et mobiles d'une année à l'autre, les blocs reçoivent, en Finlande, le nom de « cailloux vagabonds ». Les blocs glaciaires sont déposés en vrac (4-2-1) ou, si les conditions topographiques sont favorables, ils ont tendance à être alignés au large vers la ligne des eaux à marée basse (M. BROCHU). En relief, l'ensemble de ces blocs compose des champs plats (un type de « dallage »), des bourrelets plus ou moins continus, des monticules isolés ou des chaos complexes. Ces blocs glaciaires influencent les processus littoraux ; leur présence modifie l'action des vagues ; lors de leur déplacement, ils servent de matériaux de choc, d'usure et d'entraînement.

Ces actions morphogénétiques diverses ne sont pas seulement réservées aux rivages actuels ; au cours du Quaternaire, lacs de barrage glaciaire et nappes de submersion marine ont connu de tels phénomènes. Sur les versants de l'estuaire du Saint-Laurent, depuis la mer de Champlain, des millions de blocs ont été repris par les glaces flottantes.

En 1960, le regretté R. LOUGÉE allait suggérer d'appeler « lyell » les blocs déposés par les icebergs ; peut-être pourrions-nous étendre le nouveau terme à tous les sédiments, blocs ou non, déplacés par tout type de glace flottante ?

4-2 *Ice-rafted blocks*

Ice-rafted blocks are the most important material deposited by floating ice, whether their origin be marine, lacustrine, fluvial or glacial. The bulk of material transported by floating ice is probably finer and is deposited elsewhere. The blocks, however, are scattered over the tidal flats; or if topographic conditions are favourable, there is a tendency for them to be aligned along the low tide mark. They may form flat fields, boulder barriers, or less continuous, isolated mounds or debris. These ice-rafted blocks are affected by littoral processes, their position being changed by tidal action, at which time they may be displaced, moving shore deposits and gouging, dragging and eroding the shore.

Their diverse morphological action is not only confined to present shores; during the Pleistocene Glaciations lake ramparts and other features were formed along the shores of glacial and ice-dammed lakes. In the valley of the St. Lawrence Estuary, for example, millions of blocks were deposited in the Champlain Sea.

4-2-1

*Alignement de blocs
(glaciels) vers la laisse
de basse mer.*

Dispersed field of blocks.



4-3 *Chaos et bourrelets*

Glace de mer. Quand certaines conditions sont réalisées — matériaux meubles, pentes douces, fortes pressions du « pack », glaces de rive dislocables, vents de mer — les crêtes de plage sont bousculées et deviennent plus élevées. Les matériaux sont très mal triés ; morphologiquement, les galets « marins » sont rares.

Deux principaux types de formes se rencontrent : 1° « Rempart continu ». En 4-3-2, le bourrelet a une hauteur maximum de sept mètres et une longueur de plus d'un demi-kilomètre ; le tracé en plan montre des saillants et des parties en retrait. 2° Généralement, la poussée construit des « chaos » ; le paysage alors varie beaucoup sur une courte distance ; on voit des cônes, monticules, glacis, amphithéâtres, crochets ; des chaos glaciels peuvent isoler un type de lagune en amont.

Il ne s'agit pas seulement de formes actuelles. Sur le versant sud de l'île de Melville, les bourrelets sont étagés ; les plus anciens ont perdu leur noyau de glace (microdépressions de thermokarst) ; les crêtes qui ont subi une certaine gélifluxion sont plus aplaties, moins chaotiques et moins festonnées que le récent bourrelet du rivage.



4-3-1
Vue d'ensemble d'un chaos.

Floating ice ridge.

4-3 *Floating ice ridges*

Under certain conditions, such as gentle shore slopes, strong winds and great pressure from ice, shore ridges or boulder barriers develop very quickly. The boulder barriers shown (4-3-1) are over 20 feet (6 m) high in places and longer than half a mile (800 m). There are many micro-forms over short distances; cones, slopes, amphitheatres and depressions. Often lagoons are isolated behind the barriers.

There are not only active forms, but fossil forms can often be found at varying elevations, *en échelon*, above the presently forming boulder barrier. The fossil forms show evidence of erosion, and are more flattened and less festooned than the active forms.

These barriers created by floating ice are widely distributed: Northern explorers and scientists have reported them from most places where shore conditions were favourable.

4-3-2
*Front externe
d'un bourrelet.*

*Floating ice ridge
and terrace.*



Les remparts et chaos glaciels ne sont pas particuliers à l'île de Melville. Les explorateurs polaires en ont fréquemment signalé là où de puissants champs de glaces mobiles ont chevauché des côtes favorables, par exemple les plages de Bunger en Antarctique.

Glaces d'eau douce. Des accumulations glacielles plus réduites (4-3-4) peuvent se former également le long de sections privilégiées de certaines nappes d'eau douce ; l'on pourrait distinguer 1° le « bourrelet d'hiver » créé par l'expansion de la nappe de glace par suite des recongélations et 2° le « bourrelet de printemps » construit lors d'une remontée du niveau hydrologique par des glaçons à la dérive poussés par le vent.



4-3-3
Bourrelet arqué.

*Floating
ice ridge
and debris.*

4-3-4
Bourrelets lacustres.

Lake ramparts.



Lake ramparts are similar to the boulder barriers described above, but restricted to lakes, whose inflections they follow. They are generally smaller than sea forms, ranging up to several feet (1-2 m) in height and can be either continuous or discontinuous over long distances.

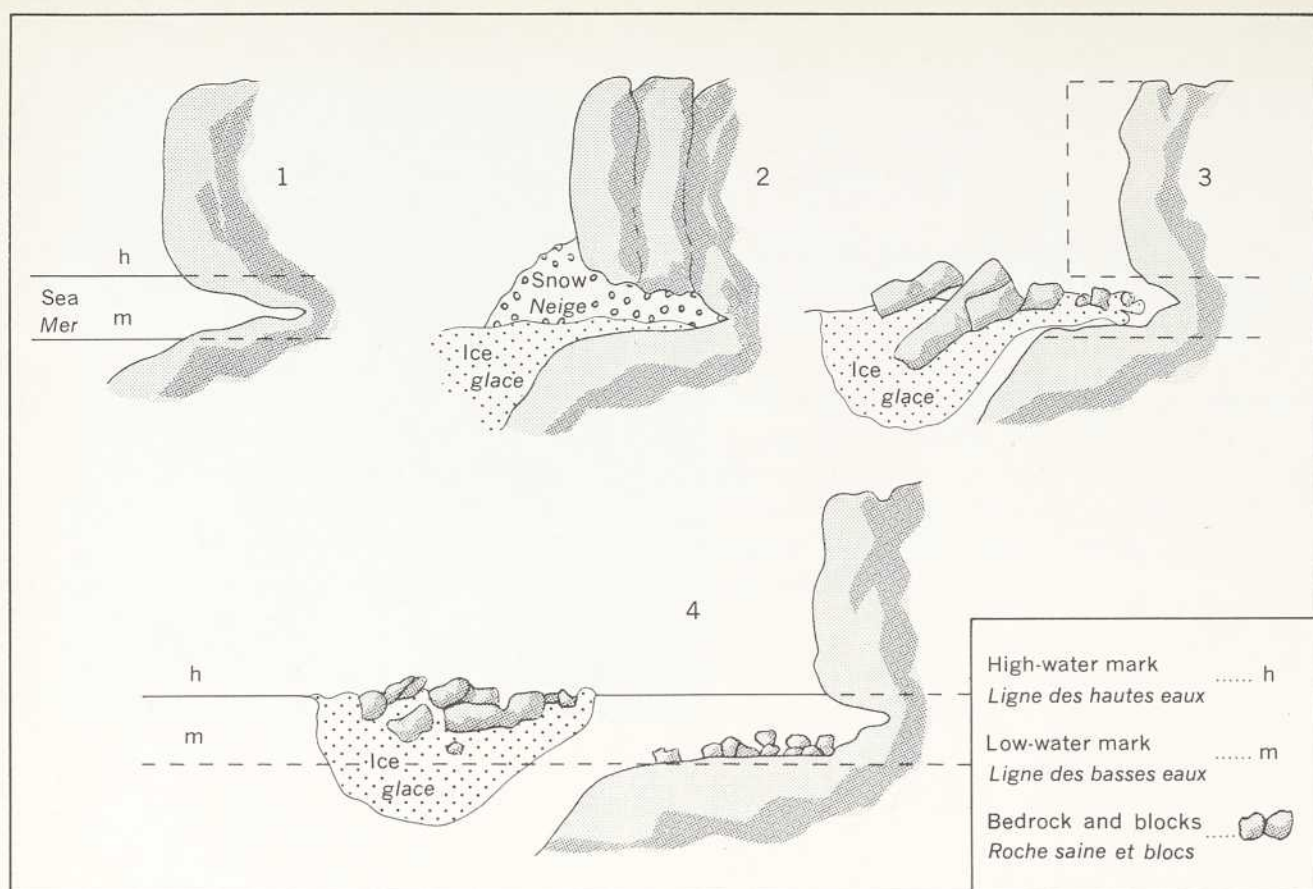
It has been suggested that lake ramparts are formed under sudden oscillations of air temperature over a frozen lake. A rise in temperature causes the ice to expand, induces considerable stresses and crowds the edge of the shore, the material is pushed, overriding the low shore, for many feet where it is deposited upon contraction or melting of the ice. Thus, lake ramparts may be formed in a different manner than sea shore ramparts. However, it has been observed that heavy winds blowing across a lake may move the ice, especially in spring when there has been some beach-side melting of the ice, overriding the shore pushing materials in front of it.

Lake ramparts are widely distributed, and are forming today in higher latitudes. In areas where the lakes have lowered their level a series of inactive or fossil ramparts may be found back from the lake shore. They are often reported from areas not now under periglacial conditions, existing as fossil forms; some, for example, have been reported from the Ottawa Valley, Ontario, Canada.

4-3-5
*Glaçons, buttes
et dépressions
de fonte.*

Floes on shore.





4-4-1
Schéma de
l'évolution
d'une côte
« calcaire »
en pays
froid.

Schematic
drawing
of the
evolution
of a
limestone
coast in
cold
regions.

4-4 Pied de glace

L'illustration 4-4-1 indique une évolution saisonnière en quatre phases : 1° Côte calcaire avec encoche de dissolution entre les niveaux des hautes et des basses mers. 2° Situation hivernale ; pied de glace recouvert de neige qui favorise des actions chimiques dans la grande rainure ; le surplomb commence à s'isoler par les actions du gel et de la dissolution. 3° Situation au printemps ; effondrement du surplomb. 4° Blocs emportés au large par la glace à la dérive ; sur l'estran, cailloutis délités par le gel, rongés par la dissolution, déplacés par les courants. La falaise recule donc rapidement.

L'expression « pied de glace » a une double signification. Strictement parlant, c'est un terme *glaciologique*. Le pied de glace n'est pas toujours constitué de glace pure qui vient exclusivement de la congélation de l'eau ; il comprend souvent de la « neige glacée » (neige pure partiellement imbibée d'eau puis recongelée). Le pied de glace est en général constitué de « glace en place ». Quand cette bordure glacio-nivale est située le long d'une côte à marée, on parle parfois de « glace d'estran » ou de « glace de batture » (en français canadien). CHARLESWORTH distingue cinq sortes de pieds de glace. Comme telle, la présence d'un pied de glace soudé à la rive protège celle-ci de certaines actions morphologiques, d'autant plus que le déglacement définitif du pied de glace est généralement tardif.

Cette protection n'est que temporaire. En effet, le pied de glace est également une expression utilisée en *morphologie*. Il correspond d'abord à une érosion littorale qui se traduit par la formation d'une plateforme littorale originale terminée en amont par une encoche ; chaque déglacement (il peut y en avoir plusieurs au cours d'une même saison) provoque arrachement et évacuation de matériel ; ces processus d'évolution côtière interviennent dans l'élaboration du *strandflat* et du plancher d'abrasion le long des côtes englacées. Le pied de glace morphologique n'a pas qu'une action d'érosion ; il est également responsable d'accumulation. De plus, lors de la construction de certains chaos glaciels, il sert d'appontement.

Le pied de glace, au contraire des « chaos de glace », est emprunté par les Indigènes et les explorateurs dans leurs déplacements.

4-4 *Ice-foot niches*

The schematic drawing shows the seasonal development of ice-foot niches in four phases. (1) Limestone coast with solution niche in relation to its height and sea base. (2) Winter situation; ice-foot covered with snow; favourable for solution in limestone niche; the amount of overhanging cliff increases and cracks with solution and frost action. (3) Spring situation; the overhanging cliff collapses. (4) Some blocks transported by sea ice; others deposited on platform. The platform develops rapidly.

The ice-foot niche is only a temporary form. It permits the collapse of the overhanging cliff, the material then being carried away by sea ice, and results in the development of the coastal platform.

4-4-2
Pied de glace.

Ice-foot.



4-5 *Rayures*

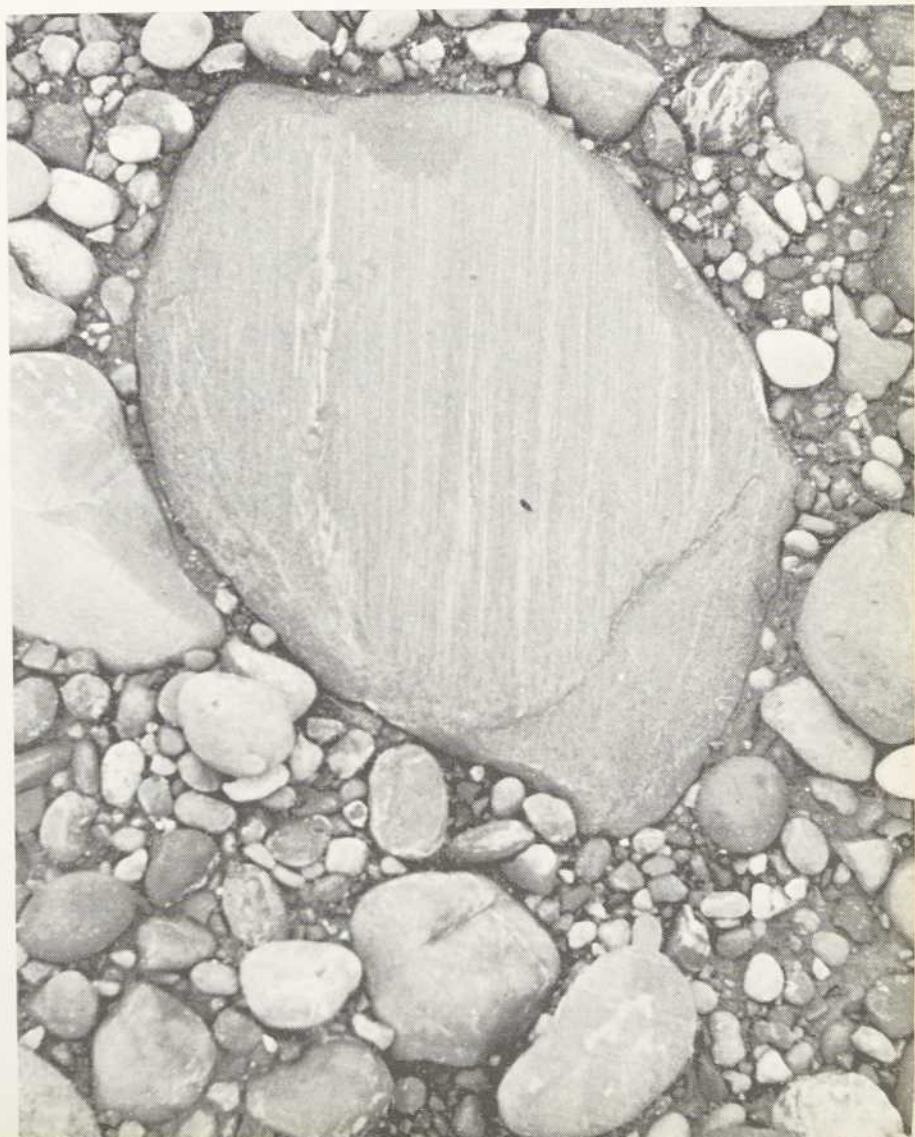
Par rapport aux stries glaciaires, les stries glacielles sont moins profondes et moins longues ; évidemment, elles ne sont pas accompagnées des autres micro-formes d'érosion glaciaire : polissage, cannelures, croissants, roches moutonnées ; elles ne se rencontrent pas au-dessus des régions basses envahies par les glaces flottantes ; la pente du terrain doit être très faible ; certaines conditions lithologiques et de pression doivent être également réalisées.

4-5 *Floating ice striations*

Floating ice striations are shallower and shorter than glacial striations. They are not related to other micro-relief forms resulting from glacial erosion, such as polishing, grooves, fluting or *roches moutonnées*. Whereas glacial striations can be found in any area over which glaciers or continental ice-sheet moved, striations caused by floating ice are found only in areas of gentle slopes very near high water level (sea or larger lakes) that are subject to action of floating ice. They are frequently curved and no flow pattern can be determined.

4-5-1
« *Stries* » *glacielles*.

Floating ice striations.



LOCALISATION
ET PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS

SOURCES
OF
FIGURES

- 4-1-1 *Cailloux et matériel fin au-dessus et à l'intérieur de glaçons échoués.* *Boulders and fine material enclosed in beached blocks of ice.*

Rivage méridional de l'île de Melville,
Arctique insulaire, Canada. 8/1963 ;
L.-E. HAMELIN.

- 4-1-2 *Glaçons, matériel fin et débris végétaux « défluviés » sur une basse terrasse après un gonflement nival modéré.* *Ice blocks, fine material and vegetative debris on lower terrace.*

Etchemin, bassin du Saint-Laurent,
Québec, Canada. 4/1961 ;
L.-E. HAMELIN.

- 4-1-3 *Dépôts terreux sur blocs de glace, en partie fossilisés par de la neige fraîche.* *Debris on floes.*

Estran du Bas-Estuaire du Saint-Laurent, Rimouski, Québec, Canada.
12/3/1966 ; A. CAILLEUX.

- 4-1-4 *Dépôts organiques superposés.* *Rafted pieces of schorre.*

Estran du Bas-Estuaire du Saint-Laurent, Le Bic, Québec, Canada.
15/9/1965 ; L.-E. HAMELIN.

- 4-2-1 *Alignement de blocs (glaciels) vers la laisse de basse mer.* *Dispersed field of blocks.*

Gaspésie septentrionale, Québec, Canada. 8/1958 ; B. DUMONT.

- 4-3-1 *Vue d'ensemble d'un chaos.* *Floating ice ridge.*

Nord de l'île de Melville, Arctique insulaire, Canada. 6/7/1962 ; Direction de la Géographie, Ottawa.
W. E. HENoch.

- 4-3-2 *Front externe d'un bourrelet.* *Floating ice ridge and terrace.*

Façade méridionale de l'île de Melville, Arctique insulaire, Canada.
7/1963 ; L.-E. HAMELIN.

- 4-3-3 *Bourrelet arqué.* *Floating ice ridge and debris.*

Baffin central, Arctique insulaire, Canada. 9/8/1964 ; J. MORISSET.

- 4-3-4 *Bourrelets lacustres.* *Lake ramparts.*

Lac. Resolute, Cornwallis, Arctique insulaire, Canada. 1960 ; F. A. COOK.
In HAMELIN, 1961.

- 4-3-5 *Glaçons, buttes et dépressions de fonte.* *Floes on shore.*

Barrow, Alaska. 1961 ; J. D. HUME et M. SCHALK.

- 4-4-1 *Schéma de l'évolution d'une côte « calcaire » en pays froid.* *Schematic drawing of the evolution of a limestone coast in cold regions.*

Minganie, Québec, Canada. In CORBEL, 1958.

- 4-4-2 *Pied de glace.* *Ice-foot.*

Près de Cap Calhoun, Groenland.
In CHARLESWORTH, 1957.

- 4-5-1 *« Stries » glacielles.* *Floating ice striations.*

Anderson, Mackenzie, Canada continental. 1955 ; Direction de la Géographie. In J. R. MACKAY, 1958.



DEUXIÈME PARTIE

PART TWO

CATÉGORIES
DÉFINIES
PAR LE
MILIEU « FROID »

RUNNING WATER
AND WIND ACTION
IN A PERIGLACIAL
ENVIRONMENT

Chapitre cinq : *Fluviation périglaciaire*

INTRODUCTION

On reconnaît de plus en plus l'importance de certains types de ruissellement dans la formation du modelé des pays froids non glaciés. Comme telles, les eaux courantes ne constituent pas un agent périglaciaire au même titre que la glace dans le sol mais leur action azonale peut s'exercer dans des conditions froides ; il se crée alors des phénomènes particuliers de gélifluviation.

Les caractères du ruissellement réalisé en milieu froid sont très variables. L'écoulement ne s'exerce que sur une courte période ; le réseau, jeune, encombré et éphémère est mal organisé ; le cycle classique — précipitation, infiltration et écoulement — est fortement perturbé notamment par le gélisol, la rétention et la fusion nivales ; la météorisation et les processus des versants peuvent porter à l'extrême la charge en débit solide ; le débit annuel connaît une forte concentration saisonnière de l'écoulement qui fait contraste frappant avec l'état d'oued le reste de l'année.

Les phénomènes rapportés à l'action dominante des eaux courantes en milieu froid sont en fait des formes polygénétiques modelées à la fois par les eaux nivales ou pluviales, la gélifluxion, la glace dans le sol, les glaces flottantes et même le vent. Notons d'abord des formes originales de vallées : asymétriques, à fond plat, en berceau, ainsi que des types de talwegs : ruissellement en filets, lit en chapelet, réseau en candélabre, méandres d'encombrement, chenaux anastomosés et peut-être berges festonnées. Une fluviation, probablement liée à la neige fondante, serait responsable des dépôts à litage périodique, des grèzes et des glacis. Dans une région riche en glace dans le sol, le sapement des berges commanderait une évolution particulière des versants en provoquant entonnoirs et cavités de fusion. Le long de rivières à embâcles se dressent des levées nivoglacielles longitudinales. Un généreux apport des versants peut être réaménagé par le cours d'eau collecteur en « terrasse fluvio-périglaciaire ». Dans l'Arctique, les deltas ont un type particulier. En outre, certains réseaux polygonaux et des traînées sont partiellement mis en place par ruissellement. D'autres déplacements de matière tiennent autant de la fluviation que de la gélifluxion. Enfin, l'hydrographie périglaciaire lacustre montre notamment des lacs temporaires (saisonniers ou éphémères), des mares irrégulières de thermokarst, des étangs de barrage solifluidal, des lacs orientés et des mares de réticulation végétale.

Comme agent associé à d'autres processus, la fluviation participe largement à la formation du modelé périglaciaire. Son action n'est pas qu'actuelle ; durant les Pluviaux, elle s'est efficacement exercée dans des montagnes situées en basse latitude et, à plus forte raison, dans la zone strictement périglaciaire.

Chapter five : *Fluvial features*

INTRODUCTION

Although the past tendency has been to emphasize frost action as the most important process in periglacial regions, recently it has been realized that fluvial action also plays a considerable role.

Generally, periglacial regions are areas of low precipitation, much of which falls as snow. Rill-wash is usually of very minor significance as is chemical weathering related to rainfall. The bulk of fluvial action can be related to spring run-off which is of short duration but very intense. Because river bottoms are frozen, erosion is lateral, and very wide, flat-bottomed valleys result over which the small flow meanders for the remainder of the summer. Thermo-erosional niches are effective in eroding river banks. Often massive ground-ice features are exposed which melt back rapidly causing slumping of the banks. Some depositional features also result, such as deltas, periglacial fluvial terraces and flood plains.

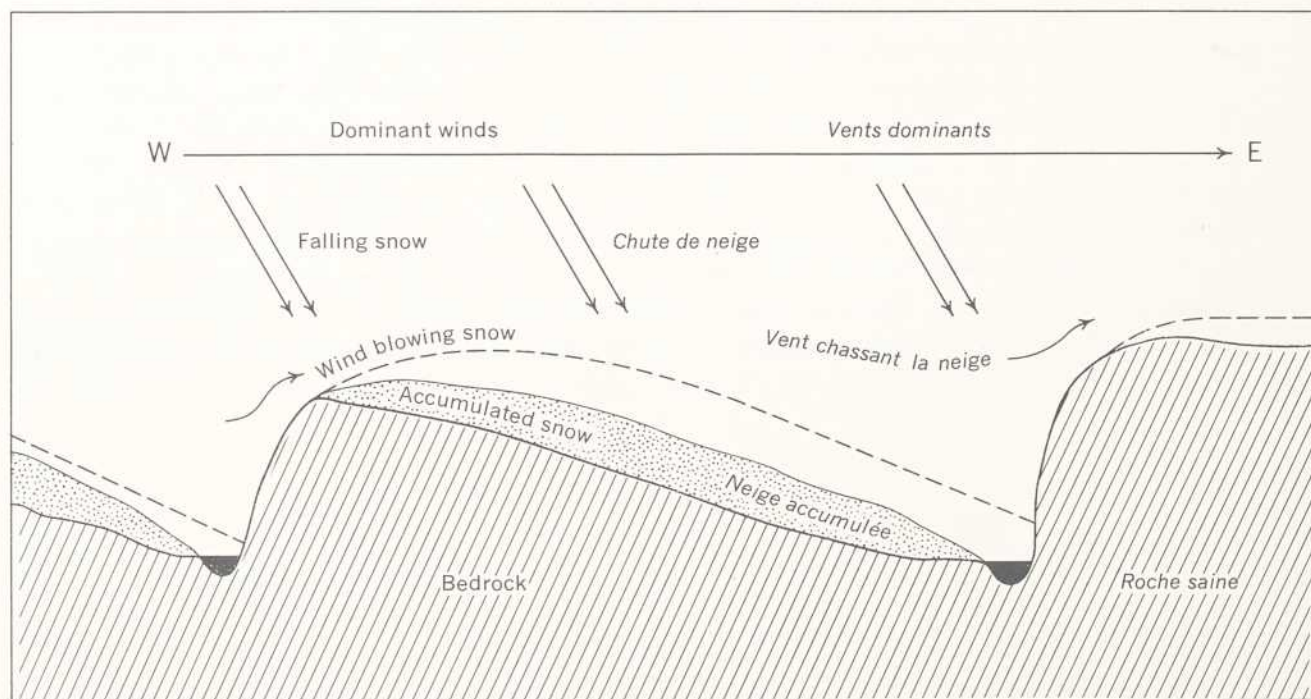
5-1 Vallée (périglaciaire) asymétrique

La dissymétrie envisagée ici, sans oublier les conditions tectoniques et lithologiques, est plutôt une fonction du « climat ».

Par l'asymétrication, un versant donné prend une inclinaison différente de celle de son vis-à-vis. Les cas qui ont été relevés montrent des contradictions régionales, toutes autres choses étant égales. 1° Dans le Haut-Arctique, la pente face au nord est plus raide que celle qui fait face au sud, le nombre inégal de cycles gélivaux pouvant expliquer cette différence. 2° A la limite méridionale des pays froids, le contraire peut se présenter ; l'indice plus élevé de périglaciation de l'ubac semble en être la raison. 3° La dissymétrie peut aussi se développer le long de tracés de cours d'eau ayant une autre orientation, cette fois, non plus est-ouest comme dans les deux cas précédents, mais nord-sud ; c'est surtout la nivation qui, ici, provoque l'évolution différentielle ; quand le versant exposé à l'est est plus doux, on y voit l'influence d'une forte solifluxion liée à un séjour prolongé d'une neige abondante ; le versant d'en face est plus purement fluvial et sa base évolue par sapement. 4° Quand c'est le versant exposé à l'est qui est le plus incliné, on explique le fait par l'action érosive de niches nivales. Une accumulation nivéolienne, différente en épaisseur d'un versant à l'autre, peut être également invoquée.

Malgré la grande variété des dissymétries possibles qui encore ici soulignent la forte élasticité des phénomènes périglaciaires face aux microconditions climatiques, certaines données semblent toujours être présentes : matériel meuble ou affichant un haut indice de gélivité, cycles gélivaux nombreux, neige, gélisol et mollisol, fonte associée à la chaleur reçue, solifluxion, fluviatation axiale ; la structure de la roche et la force de Coriolis jouent aussi.

Une étude complète de la dissymétrie devrait probablement distinguer la phase initiale des phases postérieures, l'amont de l'aval de la vallée, le haut du bas du versant, et cela, toujours en fonction des données locales.



5-1-1

Formation d'une vallée dissymétrique.

Schematic diagram of evolution of asymmetric valley.

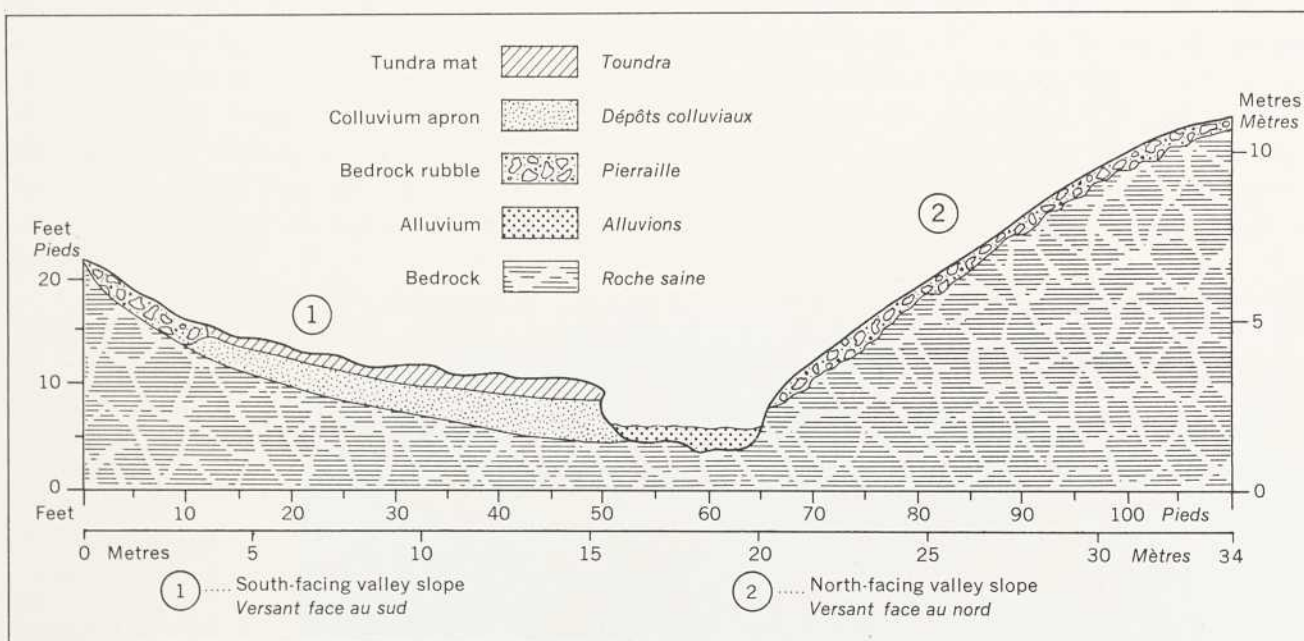
5-1 Asymmetric valley

The asymmetric valley is a common feature in periglacial regions, especially noticeable where valleys trend east-west; with this alignment they frequently have a steep south-facing slope. The origin of these valleys is incompletely understood, but appears to be related to nivation, solifluction and gelifraction processes.

It has been observed that valleys with generally steeper windward slopes may develop under the influence of snow drifted by prevailing winter winds. Snow drifted on the leeward side would favour active solifluction of colluvium down the lee slopes during the period of thaw; thereby deflecting local drainage against, and hence steepening adjacent windward slopes. Also run-off from snow on leeward slopes, flowing down the gradient of the drifted snow, particularly on ice layers near the base of the snow, may impinge against and oversteepen the lower part of windward slopes.

North-facing slopes, which experience fewer days of frost action and which have a thinner mantle of thawed soil, experience less morphologic activity and retain more of their initial steepness than the morphologically active, and hence flatter, south-facing slopes.

Asymmetric valleys have a very wide distribution, both in active periglacial regions, and in regions that were formerly periglacial in nature.



5-1-2

Coupe théorique (d'une vallée asymétrique).

Schematic cross section along hypothetical north-south line showing characteristics of an idealized asymmetric valley.

5-2 Vallon en berceau

Les vallées en berceau sont de divers types suivant l'état du relief antérieur, la nature de la roche et des matériaux, les conditions périglaciaires et l'âge de la forme.

Généralement, il s'agit de vallées courtes (quelques centaines de mètres), plus larges que profondes, à fond concave mais à sommet convexe. Même quand la pente longitudinale est forte, la vallée garde sa forme transversale adoucie. Souvent, une certaine humidité existe dans le fond de ces vallées évasées. La structure peut rendre dissymétriques les versants de ces dépressions allongées. Ces vallées sont hiérarchisées par rapport aux systèmes d'écoulement auxquels elles étaient fonctionnellement rattachées. Dans les régions paléopériglaciaires, ces « dellen » sont des vallées mortes mais non pas nécessairement sèches ; quelques-unes montrent même une certaine reprise fluviale récente ; d'autres sont « figées » ; en Hongrie, certaines ont même été l'objet d'inversion de relief (M. PÉCSI).

En Pologne, des phases fluviales et de décomposition minérale ont précédé la formation des vallons comme tels. Au Labrador, les supposés vallons de gélivation (TWIDALE) doivent beaucoup à l'érosion fluvioglaciaire antérieure et, en fait, ils sont peu périglaciaires (J. T. ANDREWS).

Théoriquement, la phase périglaciaire proprement dite montre un certain équilibre entre les processus de descente du matériel sur les versants et l'évacuation longitudinale des matériaux venant aussi bien de l'amont que des côtés. Sur les versants, dans des conditions de pergélisol, la fluviation laminaire responsable des dépôts à litage périodique et la solifluxion généralisée ou partielle adoucissent les pentes, évasent les dépressions et rehaussent même le plancher de la vallée. La forme générale devient ainsi très adoucie et régulière. Cependant, par suite de conditions structurales particulières ou d'absence de synchronisme dans les activités des processus, certaines irrégularités topographiques locales peuvent subsister ou même apparaître.

De tels vallons existent dans les zones périglaciaires aussi bien pléistocènes qu'actuelles.

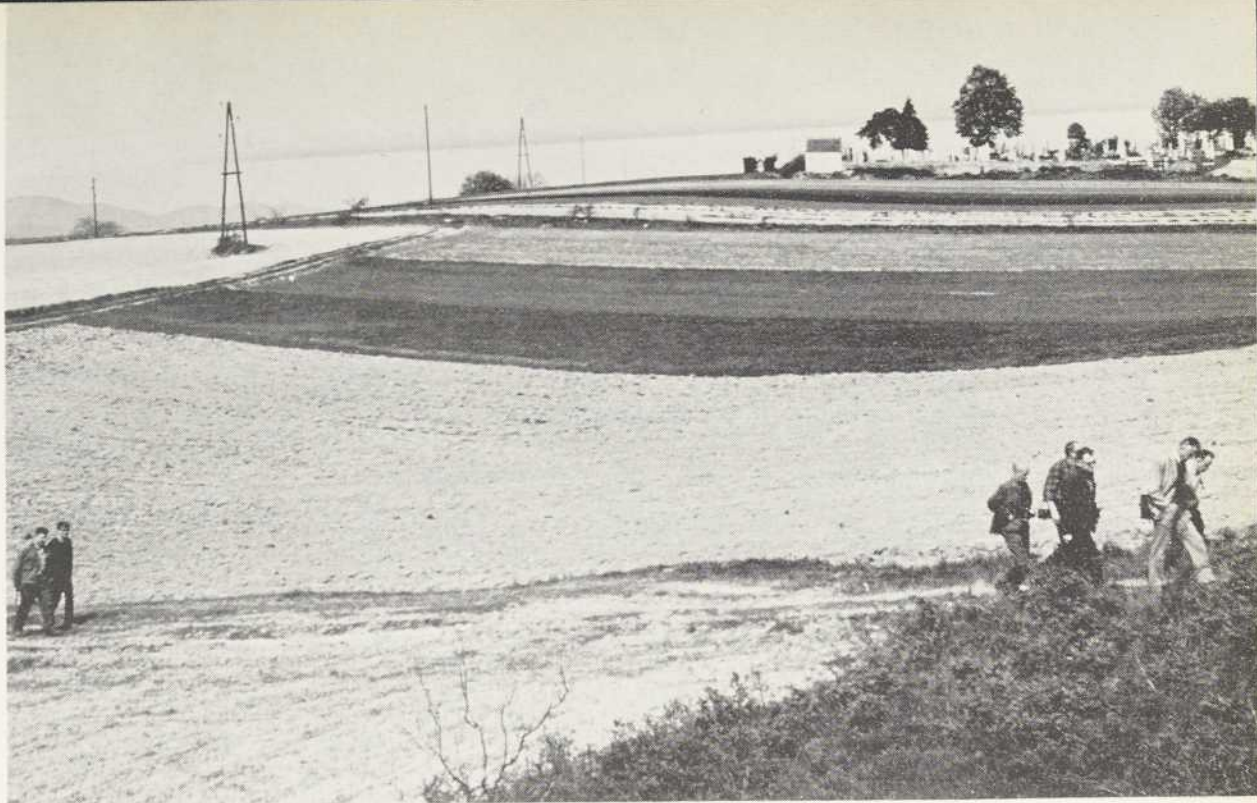


5-2-1
*Vallon de
remaniement
périglaciaire.*

*Modified
periglacial
vale.*

5-2-2
*Section amont
 d'un vallon
 en berceau.*

*Periglacial
 vale.*



5-2 Periglacial vale

Periglacial vales are of various types depending on previous relief, the nature of the bedrock and other materials, the age of the forms, and periglacial conditions prevailing at the time of their origin. Some are cradle shaped.

Generally, the vales are short (a few hundred yards) and shallow. Even when the longitudinal slope is steep, the transverse profile of the valley is smooth. Structure can create valley dissymmetry in these elongated depressions. A well-developed drainage pattern may result. In paleoperiglacial regions the vales may be fossil, dry and inactive. In other cases some may show reactivation. In Hungary, some have even been the object of relief inversion.

In Poland, fluvial phases and mineral decomposition preceded the formation of the vales. In the first figure (near Schefferville, Labrador-Ungava) the vales, although modified by gelifraction, owe a lot to preceding glacio-fluvial erosion.

The periglacial phase shows a certain equilibrium between the sliding of materials on the slopes and the longitudinal excavation of these materials from upstream as well as from the side. On the slopes with permafrost conditions sheetwash is responsible for stratified slope deposits. Solifluction has smoothed the slopes, widened out the depressions and built up the floor of the valley in some cases. The general form thus becomes very smooth and regular. However, particular structural conditions may account for certain topographic irregularities.

5-2-3
*Vallon en
 berceau
 hérité de
 conditions
 antérieures.*

*Periglacial
 vale.*



5-3 Vallée à fond plat

Il y a au moins deux types génétiques de vallées à fond plat. 1° Par *érosion*. Au moment du maximum de l'écoulement, le sol, encore gelé en profondeur, défavorise l'érosion verticale au profit de l'ablation horizontale réalisée à même un mince mollisol ; la dépression a tendance à s'élargir plus qu'à s'approfondir. 2° Par *accumulation*. Le fond de la vallée devient plat (ou légèrement convexe) si les évacuations longitudinales équilibrent mal les livraisons latérales. Sur les bords, le fond de la vallée montre un angle brusque ou une concavité douce, suivant que les processus en action dans le talweg et sur les versants sont en équilibre ou non, d'une façon successive ou simultanée ; par exemple, la concavité peut résulter d'un sapement fluvial longitudinal au moment de la crue nivale ; pour sa part, l'angle obtus peut être causé d'abord par une descente généreuse de matériaux sur les versants puis par une absence d'ablation locale.

Après le maximum hydrologique, la rivière passe à l'étiage ; les eaux se réfugient dans un chenal principal à lit divagant où elles forment une très mince nappe d'écoulement étalée à la dimension même de tout le fond de la vallée.

5-3 *Flat bottomed valleys*

Flat bottomed valleys, often braided, are a very common feature throughout periglacial regions. The processes leading to their development are different than elsewhere because of the influence of permafrost.

The valley above is post-Pleistocene, cut into soft shales. Initially, as the area was uplifted, erosion was vertical, keeping pace with the rate of uplift. Now that uplift has virtually ceased, erosion is almost wholly lateral. Most of the yearly run-off occurs in a short period during the early summer snowmelt. At this time the valley floor is frozen, the permafrost inhibiting vertical erosion. Water fills the valley and all energy is expended laterally, undercutting the sides which are beginning to melt. After the flood subsides the flat floor appears and the stream, now small, meanders across the valley in a braided form. Some vertical erosion occurs at this time. One additional feature is the formation of an annual delta, which is erased each year with the spring freshet.

In more humid parts of the periglacial world, flat-bottomed valleys may develop which for most of the year have no running water in them, but are damp because of melting permafrost.

5-3-1

Chenaux anastomosés.

*Braided stream in
flat bottomed valley.*



5-4 *Ruissellement en filets et en lame*

Une seule congère, longue de 100 mètres et perchée dans la partie supérieure d'un versant, alimente en aval des dizaines de microtalwegs parallèles et s'allongeant vers le bas. Le resserrement structural central qui ne provoque qu'une très légère concentration de l'écoulement laisse supposer une certaine défluviation (pertes par évaporation et par infiltration dans le mince mollisol). Ce « ruissellement en filets » auquel, vers l'aval, la solifluxion prête main-forte peut rendre compte 1° des fonds inclinés de niches nivales, 2° de certains glacis d'érosion dans les montagnes froides et 3° des dépôts à litage périodique (grèze).

A fininival, les eaux de fonte de la neige et du pergélisol peuvent s'assembler en minces filets formant des talwegs larges de quelques mètres. Ces ruisselets, fortement soumis aux microconditions locales, topographiques et végétales, sont très nombreux, passagers et discontinus ; leur tracé est parallèle ou tressé ; ces lits sont mobiles d'une année à l'autre. Curieusement, la forme lobée (amont de l'« interfluve » et aval des talwegs) est celle des réseaux les plus importants. En 5-4-1 et 5-4-2, les parties sombres correspondent aux sections humides.

Ce léger ruissellement rappelle l'écoulement en nappe en ce qu'il n'est pas permanent et en ce que le talweg total est large comparativement à l'épaisseur des lames d'eau ; dans les deux cas, l'érosion fluviale horizontale l'emporte sur l'érosion verticale. Il se distingue cependant des brusques et temporaires *sheet floods* par un débit maximum plus faible et une action sur le relief plus discrète.

Un pays relativement sec, de puissants vents d'hiver accumulant d'épaisses congères, un réchauffement d'été lent et régulier, un niveau supérieur du gélisol près de la surface, une pente forte permettent ce phénomène de transition entre les formes pures de fluviation et de solifluxion. Un tel « ruissellement en filets » n'est pas réservé aux pays arctiques et il peut se produire, pendant des périodes plus ou moins longues, dans tout le monde nival.



5-4-1
*Ruisselets en aval
d'une congère.*

*Rill network
on lower part
of snowbank.*

5-4 *Rill network on snowbanks*

The first illustration is of a snowbank about 300 feet (100 m) in length and perched on the upper part of the slope. Water is fed to dozens of small channels, parallel to one another and stretched out toward the base. The concentration of channels is lighter in the upper and central parts where perhaps part of the water evaporates or sinks into the ground beneath. These rills are usually found toward the base of the snowbank, aiding nivation and solifluction processes in nivation hollows and on certain slopes.

As the snowbanks melt water from the snow and from melting permafrost, the rills join to form shallow channels up to several yards (several metres) wide. These channels are strongly influenced by local micro-climate, topography and vegetation, and their size and course vary from one year to another. Upstream the interfluvium is lobate.

The channels resemble flat-bottomed valleys in humid areas. Run-off occurs in sheet form (rill-wash); the flow is not permanent, and the width of the channel very large compared to the volume of flow. In the cases above, horizontal erosion is more important than vertical erosion, although the effect on relief is not great.

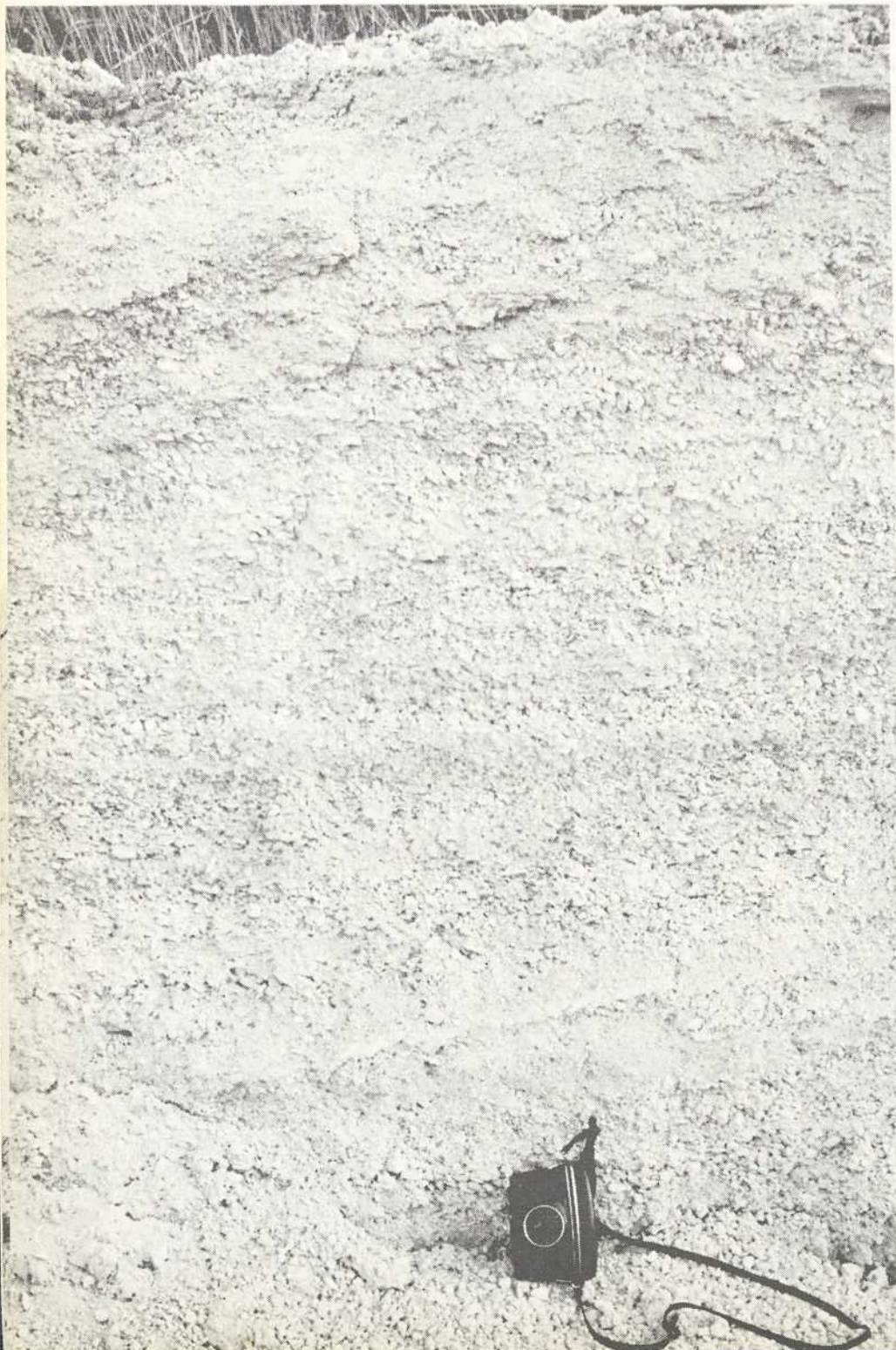
5-4-2
*Fluviation et
gélifluxion
sur versant.*

*Solifluction
and fluvial
action
on slopes.*



5-5 Dépôts à litage périodique — Grèzes

Grèze litée ou « éboulis ordonnés » et « éboulis stratifiés ». Les grèzes finement litées — grèzes au sens strict —, type de dépôt à litage périodique, sont fondamentalement composées de sables et, de préférence, de sables calcaires. L'épaisseur de la formation peut dépasser 25 mètres. La pente peut être aussi faible que 10° , voire même 3° ; sur le plan de l'inclinaison, les grézières se distinguent donc des éboulis de gravité. Vue de près, la stratigraphie est imparfaite ; les lits, rectilignes ou convexes, sont plutôt des feuillets discontinus et parfois imbriqués les uns dans les autres : la structure est de type *open-work*. De haut en bas d'un versant à grèzes, on peut successivement passer d'une corniche et d'un glacis rocheux gélivés, d'abord à des grèzes grossières (groizes), puis à des grèzes fines (grèzes au sens strict), enfin à des lits plus argileux (grèzes grasses) avant d'atteindre le fond de la vallée où peut se trouver une terrasse alluviale. Des cryoturbations sont souvent inscrites dans les grèzes. Suivant la latitude, l'altitude et l'orientation, on a pu distinguer quelques types de grèzes.



5-5-1
*Coupe verticale
dans une grèze litée.*

Stratified slope deposit.

5-5 *Stratified slope deposits*

Stratified slope deposits are finely bedded and are essentially composed of sands. Their thickness can be more than 75 feet (25 m), and the slope can vary between 10 and 3 degrees; the inclination is quite different from that of gravity slopes. On close inspection the stratigraphy is imperfect, the beds are discontinuous thin sheets, sometimes imbricated. The stratified slope extends from the top of the scarp, down across a frost-shattered "ramp," to the coarsely-bedded deposits of mid-slope; on the lower slope a finely-bedded facies occurs grading downslope to clay strata and finally to an alluvial terrace in the valley bottom. The stratified deposits are often affected by cryoturbation and, according to latitude, altitude and orientation, various types can be distinguished.

5-5-2

« Grèzes litées » dans un « cirque » glaciaire.

Depression with stratified slope deposits.



La quasi-uniformité du faciès dans l'ensemble d'une formation laisse supposer que celle-ci a été construite au cours des périodes climatiques équivalentes. L'eau, probablement celle de la fonte de la neige, a, dans une disposition « cyclothémique » (Y. GUILLIEN, 1964), mis en place des sables lités ; plus particulièrement, l'on songe au ruissellement diffus, en nappe et en filets : de son côté, la solifluxion a contribué aux dépôts plus argileux. Les discussions restent ouvertes sur le mode de la mise en place : dépôts supranivaux par ruissellement, accumulations par glissement sur des surfaces glacées, alluvions sur pergélisol en aval des congères ? Comme il s'agit d'un dépôt périodique, il y avait donc des moments où l'accumulation était à peu près nulle ; pendant ces périodes calmes, il fallait également que l'érosion soit faible afin d'assurer la pérennité de la formation.

La grèze au sens strict se rencontre dans la moitié nord de la France, notamment en Lorraine (5-5-1). La présence de croûtes et de paléosols nous assure que la construction de certains édifices grèzeux a débuté avant la dernière glaciation. En Charente, on exploite la grèze comme sable à mortier.

Dépôts à litage périodique (dépôts de pente lités, dépôts de versant rythmiquement stratifiés). Au point de vue granulométrique, ces accumulations ne sont pas limitées au sable comme le sont les grèzes au sens strict ; le matériau peut être aussi bien composé d'éléments fins que de plaquettes et même de blocs. L'on constate cependant, à cause de l'amenuisement, une diminution vers l'aval dans le volume des éléments. Ces dépôts forment au flanc des vallées de véritables glacis d'accumulation, constitués d'une superposition de lits plus ou moins réguliers. Le pendage, généralement faible, peut cependant atteindre 30°.

L'état des lits laisse supposer une certaine discontinuité dans les activités au sein des processus. Le climat était alors contrasté mais pas nécessairement à l'échelle des saisons ; l'accumulation n'était donc que périodique. Des vagues de froid, attestées par des géliturbations aussi bien syngénétiques qu'épigénétiques, se traduisaient vraisemblablement par la présence de pergélisol et de mollisol (J. DYLIK). Il s'agit donc d'un phénomène zonal, et non azonal comme les éboulis de gravité. La gélifluxion, le ruissellement et, pour une faible part, le vent ont été les agents de mise en place de ces matériaux et cela au cours du « climax » des périodes froides ; il ne s'agit pas d'une accumulation sans cesse additive car des ravinements intermittents ont dû s'exercer. Le pergélisol, près de la surface, devait protéger la nouvelle tranche de dépôts d'une ablation totale. Une fois mis en place, les lits pouvaient subir cependant quelques remaniements. En 1961, L. LLIBOUTRY a décrit dans les Andes des « dépôts lités » venant du lessivage de sols striés et de la fossilisation de ces derniers par des nappes de boue.

On trouve des dépôts à litage périodique notamment en Afrique du Nord et dans les Alpes. En Hongrie, ils comblent des vallées en berceau.



5-5-3
Stratification de neige et de dépôts de versant.

Layers of snow and debris.

Their occurrence in valleys is asymmetrical thus being related to the more general problem of asymmetry of valleys. Many processes probably contribute to their development; water from melting snow, rill-wash, solifluction and nivation. They appear to have been formed periodically, or rhythmically, rather than as a continuous process. They are fossil features, some probably predating the last glaciation.

Rhythmically stratified slope deposits have been reported from France, particularly in Charente where they are especially well developed, from Poland, from Disko in Greenland and from Iceland.

5-6 *Évolution thermo-fluviale des versants*

Durant l'été, on distingue deux phases dans l'évolution des berges de certaines rivières arctiques.

Au cours des deux ou trois semaines des hautes eaux antérieures et surtout postérieures à la débâcle, l'érosion fluviale latérale s'attaque au bas des versants en y inscrivant une rainure longitudinale profonde de plusieurs mètres. Lors de la défluviatio, cette encoche sera évidemment dominée par un surplomb peu solide. L'inscription de la gouttière à la base de l'encorbellement est d'abord fonction de conditions hydrologiques (débit, niveau, vitesse, température, vagues) et de conditions de terrain (congère, nature du matériel, retenue végétale, site favorable à l'impact du courant).

Le deuxième phénomène se rattache à la gravité et à la solifluxion périglaciaire. En présence de l'air qui se réchauffe et de la gravité qui sollicite, le surplomb des berges s'écroule en blocs préfigurés par le réseau des coins de glace (la fonte des masses de glace dans le sol ne se faisant pas au même rythme que celle des matériaux gelés intermédiaires : sable, argile ou débris végétaux). Ces éboulements font disparaître les encoches basales et reculer la corniche. A la fin de l'été, en plan, la ligne du versant devient régularisée ; en profil, la pente est devenue uniformisée et plus douce. Longés par le cours d'eau maintenant à l'étiage, les anciens blocs basculés forment des éléments isolés d'une préberge qui disparaîtra lors de la prochaine crue.

Ce processus complexe qui, à des degrés divers, se retrouve en dehors des zones arctiques élargit démesurément les vallées ; il y a toutefois un seuil à cette évolution.

L'entonnoir de fusion et de solifluxion est un phénomène semblable.

5-6 *Thermo-erosional niche*

Bank erosion in north-flowing Arctic rivers during the limited summer flow produces undercutting which results in what the Russian scientists refer to as a thermo-erosional niche.

At flood stage, and as the floodwaters increase in velocity and temperature, ice formations such as wedges, layers of ground ice and permafrost are exposed and melt. Material deposited during the previous summer, as well as that being currently eroded is carried away.

The formation of niches is an important erosional feature although it has seldom been reported in American literature. After the floodwaters recede, and with increased summer temperature the overhanging ledges slump or collapse building up sediment piles in front of the niche to seal it by summer's end, although slumping will continue as thawing of permafrost proceeds rapidly from all sides. Often ice wedges will be exposed and will thaw, adding to the amount of river bank erosion. The development of the niche varies greatly with the material in which it is formed. Niches as wide as 25 feet (8 m) have been reported to be formed in one year from Alaska and Siberia.

5-6-1
*Recul
des berges.*

*Exposed
undercut
along bank
of a river.*



5-7 *Processus fluvio-nivo-glaciel*

Sur ce versant (5-7-1) composé de schistes tendres, durant l'hiver, il faut distinguer la partie supérieure de la section située en contrebas. La première, en pente forte, garde peu de neige ; elle est alors soumise à la gélifraction et à une gélifluxion pelliculaire, au gré des nombreux cycles gélivaux et d'un « mollisol » occasionnel. La partie inférieure est constituée de l'alternance rigoureuse d'épaisses « bordées » de neige tassée et de minces lits de dépôts fins livrés entre les tempêtes par la paroi dominante ; bref, une stratification temporaire cyclothémique de neige et de matériel terreux. De plus, pendant les regels, l'eau de fonte de la neige fige en stalactites extérieures ou en fines lamelles internes ; lors de sa fonte périodique, cette glace nouvelle ajoute à l'indice périglaciaire des lieux.

Quant au trait de côte, il subit les actions de la glace littorale, de la neige glacée (par infiltration et capillarité), de la gélifraction et des eaux libres. La marée qui déplace périodiquement l'imposante charge de glace et de neige durcie contribue non seulement à l'érosion et au transport glaciels, mais elle assure aussi un certain équilibre dans l'évolution générale en emportant également la masse des dépôts livrés par le versant lui-même.

Périglaciaire humide, contrasté et dynamique ; périglaciaire de saison froide dans les régions de moyenne latitude : ce fluvio-périglaciaire saisonnier marque partiellement l'évolution annuelle et polygénétique du relief local.

5-7 *Fluvial, snow and floating ice features*

On the slope, composed of soft shales, the top part can be distinguished from the bottom part as the top part, with a steep slope, retains little snow, and the upper layer is subject to gelifraction resulting from numerous frost cycles and a thin frozen snow layer. On the other hand, the bottom part of the slope is subjected to a succession of thick, compacted snow layers, inter-bedded with fines brought down from the slopes between snow storms. In brief, a temporary stratification of snow and fines results.

The shoreline is affected by the action of shore ice, of snow ice (by infiltration and capillary action) and by free water. Tides periodically displace the overburden of ice and indurated snow, contributing to both erosion and transportation by floating ice. They also help maintain a certain equilibrium in the general evolution by carrying away large masses of the material furnished by the valley wall itself.

This phenomenon is an example of a dynamic periglacial process in the cold seasons of middle latitudes.

5-7-1

Évolution complexe d'un versant.

*Complex evolution
of slopes and river banks.*



LOCALISATION
ET PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS

SOURCES
OF
FIGURES

- 5-1-1 *Formation d'une vallée dissymétrique.* *Schematic diagram of evolution of asymmetric valley.*
D'après TAILLEFER. In DERRUAU, 1956.
- 5-1-2 *Coupe théorique (d'une vallée asymétrique).* *Schematic cross section along hypothetical north-south line showing characteristics of any asymmetric valley.*
Bassin de l'Ogotoruk, Alaska arctique. In CURREY, 1964.
- 5-2-1 *Vallon de remaniement périglaciaire.* *Modified periglacial vale.*
Région de Schefferville, Péninsule du Québec-Labrador, Canada. Circa 1959 ; J. T. ANDREWS.
- 5-2-2 *Section amont d'un vallon en berceau.* *Periglacial vale.*
Lackenbach, Burgenland, Autriche. 5/1964. In HAMELIN, 1965.
- 5-2-3 *Vallon en berceau hérité de conditions antérieures.* *Periglacial vale.*
Environs d'Itzer, Sud du Moyen-Atlas. Circa 1958 ; R. RAYNAL.
- 5-3-1 *Chenaux anastomosés.* *Braided stream in flat bottomed valley.*
Sud-Est d'Isachsen, Ellef Ringnes, Arctique insulaire, Canada. 1960 ; Direction de la Géographie ; n° DS-15-5-59. In SAINT-ONGE, 1965.
- 5-4-1 *Ruisselets en aval d'une congère.* *Rill network on lower part of snowbank.*
Bathurst méridional, Arctique insulaire, Canada. 30/7/1963 ; L.-E. HAMELIN.
- 5-4-2 *Fluviation et gélifluxion sur versant.* *Solifluction and fluvial action on slopes.*
25/7/1963. Idem.

- 5-5-1 *Coupe verticale dans une grèze litée.* *Stratified slope deposits.*
Carrière près de Verdun, France.
4/8/1964 ; L.-E. HAMELIN.
- 5-5-2 « *Grèzes litées* » dans un « *cirque* » glaciaire. *Depression with stratified slope deposits.*
Massif du Bou Naceur, Moyen-Atlas oriental, Maroc. 1958 ; R. RAYNAL.
- 5-5-3 *Stratification de neige et de dépôts de versant.* *Layers of snow and debris.*
Pointe-à-Platon, Lotbinière, Québec.
13/4/1966 ; A. CAILLEUX.
- 5-6-1 *Recul des berges.* *Exposed undercut along bank of a river.*
Delta de la Colville, N.-O. de l'Alaska, États-Unis. 1961 ; H. J. WALKER.
In WALKER et ARNBORG, 1965.
- 5-7-1 *Évolution complexe d'un versant.* *Complex evolution of slopes and river banks.*
Pointe-à-Platon, Lotbinière, Québec, Canada. 4/1960. In HAMELIN, 1961.

Chapitre six : *Éolisation périglaciaire*

INTRODUCTION

Comme les eaux courantes, le vent, de soi, n'est pas un agent périglaciaire ; dans certaines conditions, il influence cependant le modelé des pays froids. L'ouvrage d'André CAILLEUX sur « les actions éoliennes périglaciaires en Europe » marque une étape importante dans ce genre de recherches (1942).

L'action périglaciaire du vent est fondamentalement liée à l'aridité du climat qui, elle, permet aux couvertures végétales et neigeuses d'être très minces et aux éléments fins d'être secs, donc mobilisables. Le vent est souvent puissant ; cette intensité peut être mise en relation avec les tourbillons polaires et, en certains cas, avec une situation en bordure des indlandsis. L'œuvre d'érosion du vent est aussi fonction de la charge en aiguilles de glace ou de neige glacée.

Les principaux phénomènes du périglaciaire éolien se rapportent à divers types d'accumulation. En premier lieu, les lèss qui, aux États-Unis, s'étendent sur plus de 1.500 km ; les lèss de par le monde ne sont pas tous des dépôts éoliens périglaciaires (K. K. MARKOV). De plus, les formations lèssiques sont souvent remaniées par les eaux et les mécanismes colluviaux. Parmi les autres dépôts mis partiellement en place par le vent, signalons les accumulations nivéoliennes et fluvéoliennes ainsi que des dépôts surglaciaires et surnivaux.

Les phénomènes d'érosion les plus sensibles sont des abrasions amorphes à même la roche en place, des tafoni, des glyptolithes (grains ronds et mats) ; de plus, l'évacuation des éléments fins donne aux champs caillouteux l'aspect typique de reg.

Dans les actions périglaciaires, l'influence indirecte du vent est considérable. Redistribuant la matière nivale, le vent est tel que les lieux dénudés ou surprotégés (3 – 5) réagissent d'une façon fort différentielle aux autres processus froids. Des effets semblables sont associés à l'action variable du vent sur le tapis végétal. C'est également le vent qui favorise une disparition inégale des manteaux de glace et de neige. Certains chercheurs ont écrit que la vallée asymétrique était au départ un phénomène nivéolien. Le vent pousse les glaces flottantes à élever sur le littoral des chaos glaciels ; le même agent dispose les formes flottantes de la réticulation végétale. Les vents bas agissent sûrement dans la formation des lacs orientés. Les dépôts de lèss ont conservé des géliturbations en les fossilisant.

Chapter six : *Eolian forms*

INTRODUCTION

The place of wind action in periglacial geomorphology is not fully understood. It does, however, contribute to both depositional and erosional features. Lack of vegetation cover in periglacial areas greatly increases the efficacy of the wind.

The accumulative or depositional aspect is by far the most important. Some loess is of periglacial origin and is deposited by wind action. Perhaps 700.000 square miles of the earth's surface have loessal deposits, of which half averages thirty feet (10 m) in thickness. Sand and/or dust deposits, mixed with snow, are common in many areas, as for example, Antarctica; and cryoconite forms are the result of wind deposition. Some finely-comminuted material, the product of frost-shattering, is removed by wind.

Abrasion is performed by wind, both by blowing sand and snow. Snow at low temperatures has a hardness approximating sand and can etch rock outcrops, especially softer rocks, abrade surfaces, and produce special forms, such as tafoni.

6-1 *Érosion et abrasion*

Pour une part, l'évidement et la corrasion sont des manifestations du péri-glaciaire éolien. Ces phénomènes tiennent ici à la vitesse du vent, à l'absence de végétation et souvent même de tapis nival, à la très faible quantité d'eau libre, aux dures aiguilles de neige glacée véhiculées par le vent (dureté équivalente à celle du sable). Ces formes de gélidéflation (C. TROLL) sont différentielles suivant les caractères physico-chimiques de la roche et les modalités de l'érosion.

Dans 6-1-1, les cupules ont une origine polygénétique car l'orientation des tafoni n'est pas conforme aux vents dominants. La photo 6-1-2 montre que les dépôts de matière sont abondants à la base de ces grès tendres.



6-1-1
« *Tafoni* »
dans *granite*.

Tafoni
in *granite*.

6-1 *Eolian erosion*

Corrasion by blowing snow is another common periglacial process although it has received comparatively little attention in the past. Hardness of snow increases with decreasing temperature, reaching a hardness of approximately 6 (equivalent to sand particles) at -50°F (-45°C). Periglacial regions have relatively little vegetation and have consistent winds in winter, often reaching speeds of 50 miles per hour for long periods of time. The amount of corrasion depends on composition (hardness of parent material), temperature and wind, and in areas of softer bedrock, such as sandstone, can be very effective.

6-1-2
*Corrasion dans grès
tendre et
résidu de déflation.*

*Corrasion in soft
sandstone resulting
from wind action
(blowing snow).*



6-2 Læss

Les læss sont des limons brun jaunâtre dont certains se rattachent au péri-glaciaire éolien. La nature des grains dépend avant tout de la roche-mère ; d'après CHARLESWORTH, si les analyses chimiques indiquent une nette prépondérance de SiO_2 et de Al_2O_3 , certaines formations ont une proportion notable de CO_2 et CaO . La granulométrie fine caractérise le læss : en Hongrie, une étude montre que la majorité des grains ont de 0,01 à 0,05 mm ; dans certaines régions des États-Unis et de l'URSS, 97% des particules ont moins de 0,005 mm de diamètre. La source du matériel est diverse : gélifraction fine, moraine, plaine fluvioglaciaire, delta, plage, désert voisin.

Le manteau læssique a une texture sensiblement homogène, une structure lâche, une perméabilité grande et une profondeur de plus ou moins dix mètres. Ce tapis modifie le relief par suite de son inégale épaisseur, de la solifluxion qu'il favorise et de l'érosion intense dont il est souvent l'objet.

Les spécialistes ne s'entendent pas sur la genèse des læss. Cependant, le vent semble être un agent essentiel sinon exclusif. Pendant les saisons sèches, le vent se charge des particules fines qu'il transporte au-delà de la zone des dépôts sableux (*voir* manteau nivéolien). La zone d'accumulation correspond à un optimum biogéographique où l'humidité de l'air, la force du vent et l'épaisseur de la végétation permettent au læss de se déposer et de demeurer en place. D'autres hypothèses rattachent le læss à certaines actions fluviales et fluidales. Il faudrait peut-être admettre que les conditions d'accumulation des læss ont pu varier dans le temps et dans l'espace ; un manteau de læss ne correspond pas obligatoirement à une seule période climatique ; par ailleurs, les læss situés près ou loin des indlandsis ne sont pas rigoureusement de même type. De plus, beaucoup de læss ne sont pas *in situ* par suite des « redépositions » péné-contemporaines ou postérieures.

Le læss affectionne deux types de climat semi-aride : un læss « froid » s'est déposé, au cours du Pléistocène, dans un milieu paraglaciaire, aux États-Unis (Iowa), en Europe continentale, en Amérique du Sud (sol de la Pampa). Par ailleurs, on a parlé d'un læss « chaud », non péri-glaciaire, à l'intérieur de l'Asie centrale.

Le læss est un sédiment intéressant l'histoire de l'humanité. Ces terrains qui occupent en Eurasie et en Amérique environ 20 millions de km carrés sont très fertiles, notamment pour la culture du blé. Ces sols ont permis le développement de civilisations originales en Chine et dans le Moyen-Orient.

6-2 Loess

Loess is by far the most important periglacial accumulation. Its mineralogical composition varies from place to place, depending on the nature of its parent material. Most deposits show a preponderance of silica and associated heavy minerals. Mechanical analysis shows that diameters of most grains fall within the 0,01–0,05 mm range. Some loess is still finer, as in Russia and North America where over 97 per cent of the grains are less than 0,05 mm in diameter. In structure the deposit is uncompacted, although accumulations of different ages may give apparent soil zones.

The source and origin of loess is still a controversial question. Its origin is probably not everywhere the same, depending on parent material, relief, drainage, climate, vegetation and other local conditions. It is generally considered that some loess formed when the successive Pleistocene ice sheets receded to expose wide areas of silts and sands to wind action prior to their being invaded by a vegetation mat; thus a periglacial category may be assumed. Both mechanical weathering, such as frost-shattering, and glacial scouring produce dust very suitable for eolian transport. Winds blew, probably with considerable force, in the Dust Age in late-Pleistocene time carrying the sediments into the air to a height of several thousand feet, where upper air winds distributed them very widely. Other loess was redeposited by glacio-fluvial and fluvial action.

Loess has a twofold distribution: (1) periglacial garlands of "cold" loess about the Pleistocene ice sheets, as in northern Europe from the Ural Mountains to the Seine, around the Alps on the north, west and southwest, in a narrow zone north of the Pyrenees; and in North America and South America in similar situations; and (2) continental, or "warm" loess in the inland basins and steppes encircling the modern deserts of central Asia between 52° and 56° north latitude. It has been estimated that the area of loess in Eurasia is over 500,000 square miles; North America and South America about 200,000 square miles each.

Loess is of considerable economic importance. Given adequate moisture it is ideal for agricultural purposes, especially for cereals and steppe grasses. The principal wheat growing regions of the world coincide roughly with its distribution. In Persia and Turkestan, loess has been the basis for independent civilizations. In China, by discouraging a heavy tree growth, it played a prime part in the diffusion of culture: it long furnished sites for settlement including the most ancient capitals. It explains the location of many palaeolithic sites elsewhere.

6-2-1
*Paysage
naturel
et industriel
de lœss.*

*Loessal
deposits.*



6-3 *Accumulation nivéolienne*

Le terme de « nivéo-éolien » avait été suggéré par VAN STRAELEN en 1946 ; nous croyons que l'expression pourrait bénéficier d'une élision et devenir plus simplement « nivéolien » (HAMELIN et CLIBBON, 1962).

Quoi qu'il en soit, dans les endroits à faible pente, l'accumulation intermittente (et simultanée) de la neige et du sable éolien crée un tapis mixte de dépôts interstratifiés. La neige peut durcir au point d'avoir la densité du névé. La formation évolue peu à cause de la gélisolation ; des fentes de contraction s'installent, fentes avec ou sans glace à l'origine, avec ou sans dépôt minéral par la suite. A l'intérieur du mince mollisol, de légers glissements et tassements peuvent se produire. A la surface, le vent crée des microrides. Cette sédimentation nivéolienne contribue-t-elle à la formation de certains dépôts à litage périodique ?

De tels phénomènes d'accumulation nivéolienne, également observés dans l'hémisphère Sud, se seraient produits au Quaternaire en Europe, des Landes françaises jusqu'en Pologne.

6-3 *Eolian deposits on snow and ice*

The term "niveo-aeolian," introduced by VAN STRAELEN in 1946, is simplified here to niv-eolian.

Snow and air-borne sand accumulate simultaneously and intermix at the side of a gentle slope. The snow hardens to the density of *névé* and the formation causes ground ice, and initiates contraction cracks which fill with sand. Underneath is a thin layer of permafrost over which the deposits slide and become compacted. At the surface the wind creates small furrows.

Niv-eolian accumulations are a phenomena observed in both hemispheres. They were formed in the Quaternary Period in Europe and are found as fossil features in french waste lands as well as in Poland. Several recent publications have described the phenomena from Antarctica.

6-3-1
*Manteau nivéolien
paraglaciaire.*

*Periglacial
niv-eolian mantle.*



6-4 *Orientation lacustre*

Les lacs orientés sont des dépressions lacustres étirées le long d'axes parallèles. L'indice d'allongement moyen est de 1,2. Les lacs ont souvent 2,5 km de largeur ; plusieurs dépressions peuvent s'abouter. Des formes fréquentes sont celles de l'ellipse, quoiqu'on trouve aussi des dépressions oviformes et triangulaires à angle arrondi. Ces cavités sont inscrites dans des plaines basses constituées de sédiments meubles dont des sables. Ces dépressions lacustres sont également caractérisées par une partie axiale plus profonde (plusieurs mètres), un trottoir périphérique submergé et par un talus, petit, raide et ourlé au gré des accumulations éoliennes, de la glace dans le sol et de la glace de rive. Quelques dépressions sont réunies par un ruisseau ; rares sont les cavités à sec, cependant. Au Mackenzie, l'allongement des dépressions, orientées presque nord-sud, est perpendiculaire au vent dominant actuel. A l'intérieur des régions de lacs orientés, certaines dépressions n'ont ni la forme, ni l'orientation, ni le « trottoir » caractéristiques des cavités alignées et parallèles.

La littérature concernant ce phénomène est abondante mais l'unanimité n'est pas faite sur la genèse du phénomène. On a d'abord expliqué ces dépressions similaires par des vents anciens dont la direction aurait coïncidé avec l'allongement des lacs, la berge au vent étant plus rapidement sapée. Puis, l'on a été amené à distinguer les processus latéraux des mécanismes longitudinaux ; une érosion axiale, accompagnée d'une accumulation latérale allongerait des dépressions initiales de forme quelconque. On songe maintenant à une action éolienne indirecte suivant laquelle les côtés exposés au vent seraient défavorisés sur le plan de la fusion et, partant, de l'érosion, au bénéfice des extrémités lacustres qui sont moins exposées ; ces vents faisant naître des contre-courants particuliers, l'allongement des cavités deviendrait alors possible. Quoi qu'il en soit, les dépressions allongées semblent être à l'origine des formes de thermokarst.

Ces phénomènes se rencontrent dans les basses plaines arctiques continentales de l'Alaska et du Mackenzie. La côte centre-ouest de Baffin en montre aussi de beaux exemples. Les lacs orientés dans les Carolines (États-Unis) en sont peut-être des formes anciennes ?

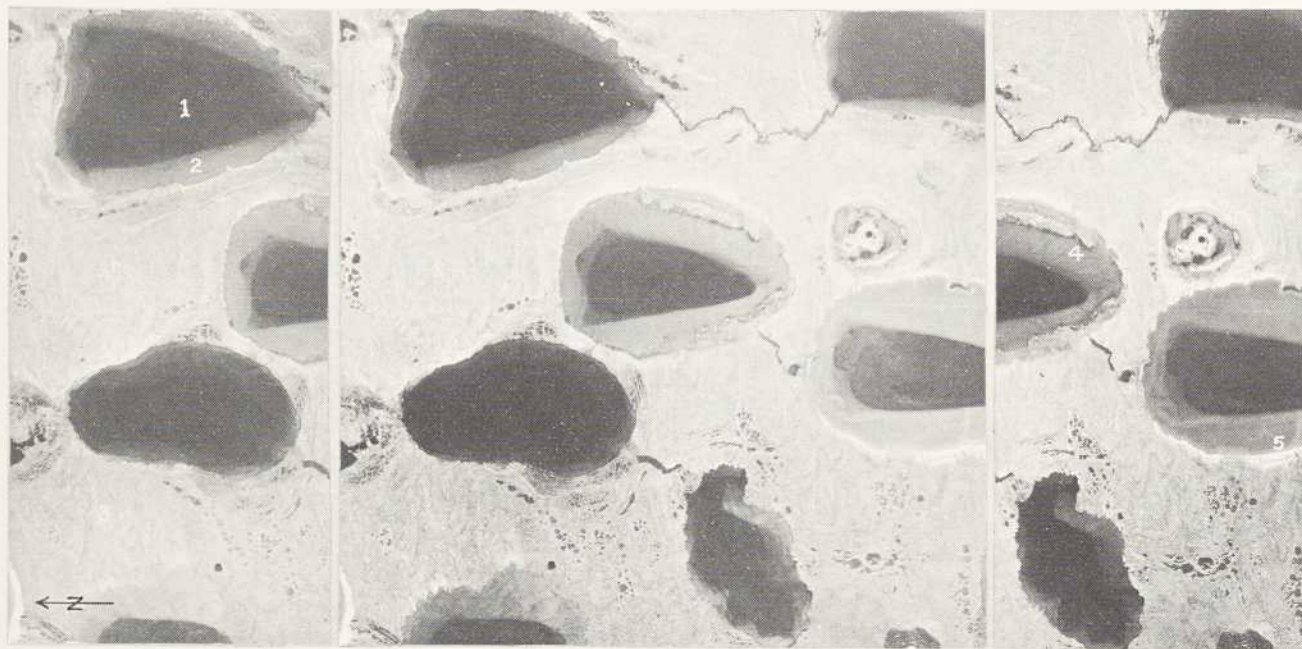
Dans les pays nordiques, certaines dépressions lacustres tiennent leur orientation des glaciers (lacs entre drumlins) ou de modalités fluvioglaciaires (« chaudrons » en ligne) ; ici, il ne s'agit pas de ces phénomènes.

6-4 *Oriented lakes*

Oriented lakes are unique features of the Arctic coastal plain and have aroused considerable interest; their origin is not fully understood. They range in size from one half to 3 miles in length (800 m to 4.800 m), most fall between one and two miles (1.600 m and 3.200 m). Occasionally two or more coalesce forming exceptionally long or broad lakes. The ratio of width to length ranges from about 1:1.5 to 1:3 with 1:2 being a good average. The long axes trend south-west-northeast and are at right angles to the prevailing wind. Some lakes are pear shaped, with the tapering end invariably pointing south. They are characterized by a deep central trough and a shallow sub-lacustrine platform or bench which appears strongly "ripple-marked" on air photographs.

The shorelines of lakes developed in sediments tend to be smooth in general outline, but in detail the banks may be gently scalloped, with cusps 50 feet (15 m) or so apart. If the lakes are developed in broad shallow depressions covered with tundra polygons the shorelines tend to be either jagged or cusped, depending on whether the polygonal ground is temporarily encroaching upon the lake or receding before it. The eastern shorelines are slightly more regular and smoother than the western. Many hypotheses for the origin of the lakes have been advanced. However, they are probably related both to the strong prevailing winds blowing across the lakes and to tundra polygon structure.

There are two major concentrations of large elliptical oriented lakes on the Arctic coast; on the Alaska coastal plain in the vicinity of Point Barrow; and along the Arctic coast of the District of Mackenzie between Point Atkinson and Cape Bathurst. A smaller concentration exists near Old Crow River in the Yukon Territory. They are also found on the Great Plain of the Koukdjuak, Baffin Island, Canada. Of special interest is a third major concentration of similarly oriented lakes—the Carolina Bays of North Carolina, South Carolina and Georgia which may be relic oriented lakes of the Pleistocene.



6-4-1
Vue stéréoscopique de lacs orientés.

Stereo triplet of oriented lakes.

LOCALISATION
ET PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS

SOURCES
OF
FIGURES

6-1-1 « *Tafoni* » dans granite.

Tafoni in granite.

Versant sud, section aval de la vallée
de Victoria, Antarctique. 1961.
In CAILLEUX et CALKIN, 1963.

6-1-2 *Corrasion dans grès tendre et
résidu de déflation.*

*Corrasion in soft sandstone resulting
from wind action (blowing snow).*

Sud-Est, Baie de la Station, Ellef
Ringnes, Arctique insulaire, Canada.
1/7/1960 ; D. SAINT-ONGE.

6-2-1 *Paysage naturel et industriel
de lœss.*

Loessal deposits.

S.-E. de Budapest, Hongrie.
28/4/1964. *In* HAMELIN, 1965.

6-3-1 *Manteau nivéolien paragla-
ciaire.*

Periglacial niv-eolian mantle.

Glacier de Victoria, Antarctique.
1961 ; A. CAILLEUX.

6-4-1 *Vue stéréoscopique de lacs
orientés.*

Stereo triplet of oriented lakes.

Partie orientale de la péninsule
de Tuktoyaktuk, Mackenzie, Canada.
Aviation royale du Canada,
n° A-12699-418 à 420.
In MACKAY, 1963.

TROISIÈME PARTIE

FAMILLE
DE PHÉNOMÈNES
POLYGÉNÉTIQUES

PART THREE

PATTERNED GROUND,
SOLIFLUCTION
AND CRYOTURBATION

Chapitre sept : *Figuration périglaciaire*

INTRODUCTION

Les six premiers chapitres de cet ouvrage tiennent leur unité de l'activité dominante d'un agent particulier. D'abord, des facteurs périglaciaires stricts : 1° le froid prolongé au-dessous du seuil du gel (glace dans le sol) ; 2° le cycle gélival de l'air sur l'épiderme du sol (gélifraction) ; 3° la neige (nivation) et 4° les glaces flottantes (glaciellisation). Deux autres catégories, vues également génétiquement, se rapportent à des agents non périglaciaires en eux-mêmes mais pouvant néanmoins agir en milieux « froids » ; il s'agit, 5°, des eaux courantes (fluviatation) et, 6°, du vent (éolisation).

Le groupement des phénomènes des trois derniers chapitres est basé sur des critères différents. Ces chapitres rassemblent des formes et des sédiments dont l'origine, mal connue, semble être très polygénétique ; une classification à partir d'un seul agent devient alors impossible. Ces phénomènes possèdent néanmoins une certaine unité par l'intermédiaire d'un faciès très caractéristique (réticulation végétale ; turbation), faciès parfois pas trop hétérogène (figuration ; gélifluxion). Ces trois chapitres (7, 8 et 9) se trouvent en quelque sorte à recouper et à compléter les précédents.

Les motifs décoratifs de l'épiderme du sol sont les phénomènes les plus connus et les plus confus de toute la périglaciologie. Nous entendons par le néologisme de « figuration » (terme plus accueillant que celui de polygonation) l'installation, dans des conditions froides, de tout type de dessins relativement réduits et logés à la surface (ou dans des couches supérieures) des terrains, des masses organiques, même des tapis de neige ou de glace. Plusieurs de ces figures qui ne relèvent pas d'une géométrie rigoureuse comprennent, suivant A. L. WASHBURN, des cercles, des réseaux, des polygones proprement dits, des traînées et des gradins ; à cela s'ajoutent au moins des réticulations végétales, des croisants et des dallages. En profondeur, des géliturbations témoignent la plupart du temps des déplacements qui se font en surface.

Différents éléments ont été considérés dans la description de ces « sols cellulaires ». Dans des travaux classiques, A. L. WASHBURN a classifié ses *patterned ground* d'après le degré de triage des matériaux en surface et d'après le dessin des phénomènes. Plusieurs autres critères peuvent être examinés. Certains ne se rapportent qu'aux caractéristiques des côtés des figures : étude des fentes bordières (longueur totale, nombre des sections, angle de carrefour) ; d'autres critères rappellent les aspects des figures elles-mêmes : dimension (macro, méso et microformes permettant d'établir un indice figuratif) ; profil de surface (bourrelet ou sillon aux extrémités ; topographie plane, convexe ou concave au centre ; polygone négatif) ; figure (polygone proprement dit, cercle, réseau et amande) ; couverture végétale ; matériaux (boueux, caillouteux ; indice d'hétérométrie) ; coupe en profondeur (« polygone », flottant ou enraciné) ; types de contact entre le centre et les bordures ; disposition des matériaux (à plat, redressés, inclinés, déchaussés) ; rapport mutuel des formes (indépendance, jumelage, emboîtement) ; âge (phénomènes anciens, actuels) ; degré d'évolution (forme figée, de reprise, vive)...

Chapter seven : *Patterned ground*

INTRODUCTION

The study of patterned ground is very complex, and has been handicapped by great confusion in terminology, with many overlapping terms, and many different terms being used to describe the same feature.

The most widely adopted classification is that introduced by WASHBURN (1950, 1956) who used patterned ground as a group term for the more or less symmetrical forms, such as circles, polygons, nets, steps and stripes, that are characteristic of, but not necessarily confined to mantle subject to intensive frost action. In addition to pattern, the criterion of sorting and non sorting was incorporated. It is not possible to draw a sharp line dividing sorted from non sorted forms since both have common elements with transitional forms between them. The arrangement of the classification is in the direction of increasing gradient. Sorted and non sorted circles, polygons and nets are forms developing on horizontal ground, stripes and associated forms become more attenuated as slope increases.

Les mécanismes responsables de ces figures polygénétiques sont très nombreux et ils sont étudiés aussi bien sur le terrain qu'en laboratoire. Voici comment B. ROBITAILLE (1957) a fait la revue des hypothèses mentionnées dans WASHBURN : « éjection des éléments grossiers hors des matériaux fins sous l'effet de la « multigélation », soulèvement d'ensemble de la masse des matériaux, soulèvement local différentiel, mouvements cryostatiques, circulation déterminée par la poussée des ségrégations de glace contenues dans le sol, coins de glace, absorption de l'eau du sol par les colloïdes, météorisation, contraction due à la dessiccation, contraction due à de basses températures, convexion causée par la pression intergranulaire reliée à l'humidité du sol, convexion due aux différences de densité introduites par les températures, dégel différentiel et éluviation, vibrations, eaux artésiennes, rigoles de ruissellement et solifluxion ». De son côté, LUNDQVIST a distingué 17 types génétiques en considérant la topographie, les fentes, le sol, la végétation, le manteau nival et les rigolets de ruissellement. Les mécanismes périglaciaires essentiels semblent être la fissuration, le triage et les modifications de volume du sol ; les conditions locales — granulométrie, végétation, niveau hydrostatique, pente — jouent aussi un rôle capital.

Les figurations se produisent dans les pays polaires et de haute montagne. Cependant, durant la saison froide, des fissures se créent même dans les pays tempérés. Toute polygonation n'est pas d'origine périglaciaire car, par exemple, la simple dessiccation et la cristallisation en fabriquent.

La figuration n'est pas qu'un phénomène contemporain qui se crée ou qui se dégrade. De nombreux paléopolygones à fente de gel (avec ou sans glace) se trouvent dans la partie de l'Europe qui, au Pléistocène, a été périglaciée.

Les principaux phénomènes de réticulation végétale — mare et lanière, île arbustive, arc de végétation, thufur, « tourbière » réticulée, polygone de végétation ou de couronne végétale — sont le résultat de processus qui tiennent à la fois à la polygonation et à des mécanismes particuliers. Ces phénomènes se produisent surtout dans les pays subarctiques.

Patterned ground is polygenetic; many different processes may operate at the same time in the development of the various forms. Probably three frost processes are most important: (1) changes in the volume of the soil caused by alternate freezing and thawing; (2) sorting; and (3) cracking. Gravitational action shares in these processes since it results in mass movements which supplement and modify frost structures.

Patterned ground occurs principally in polar, sub-polar and alpine regions. The polar and sub-polar forms tend to be much larger than alpine forms, as a consequence of the large annual range in temperature; alpine forms are miniature and related to diurnal frost cycles of much smaller amplitude. These phenomena are usually active, or still developing today. In warmer temperate regions to the south, inactive, or fossil forms, may be found, relating to colder periods of the past when the area was under periglacial conditions, as during the Pleistocene Period.

7-1 *Macropolygonation*

En 7-1-1, des macropolygones concaves et quadrangulaires sont limités par des sillons installés dans des bourrelets périphériques aux fentes de glace ; de petites figures géométriques de reprise sont développées à l'intérieur de ces polygones « de toundra » ; la pente générale est de sept degrés. La photo 7-1-2 montre que des arbres isolés profitent de l'humidité et d'autres conditions microclimatiques pour s'enraciner dans les sillons ou couloirs. Le plus vaste polygone représenté sur l'illustration 7-1-4 a 27 m de diamètre.

Généralement, le polygone de toundra varie en dimension de quelques mètres à plus de cent (mégapolygone). Le centre de ces figures est relativement élevé ou déprimé ; l'aspect concave est relatif et il tient au bombement périphérique qui, en surface, exprime le redressement des matériaux sous-jacents lors de l'expansion de la glace dans la fente bordière (bombement de fente de glace). Au contraire, un polygone à centre convexe peut indiquer qu'une certaine fonte se produit en bordure ; il se crée donc un sillon qui s'inscrit au travers du bourrelet périphérique ; l'élargissement et l'approfondissement de ce canal de bordure par fusion progressive de la glace et par dénudation progressive de l'enflure bordière rendent le centre de la figure relativement domique. Vue transversalement, une telle forme de transition (7-1-1), convexe-concave-convexe, se présente assez fréquemment.



7-1-1
Polygones de « toundra ».

*Non sorted toundra polygons
(depressed centre type).*

7-1 *Tundra polygons*

Tundra or "ice-wedge" polygons form a network of micro-relief on the ground surface. They are the most conspicuous surface feature over tens of thousands of square miles of arctic terrain, and are often brilliantly illustrated on air photographs. The troughs delineating the polygons are generally underlain by ice wedges 3 to 6 feet (1 to 2 m) wide at the top and from several to 30 feet (1 to 10 m) wide tapering downward. The polygons may range from several feet to more than 300 feet (1 m to 100 m) in width.

The polygons may have low or high centres. The upturning of the strata adjacent to the ice wedge may make a ridge of ground on the surface on each side of the wedge, thus enclosing the polygons.

Such polygons are lower in the centre and are called low-centre polygons. They indicate that the ice wedges are actually growing and that the sediments are actively being upturned. If erosion, deposition, or thawing is more prevalent than the up-pushing of the sediments along the side of the wedge, the low ridges will be absent, and there may either be no polygons at the surface or the polygons may be higher in the centre than the troughs over the ice wedges that enclose them. Such polygons are high centre polygons.

7-1-2
*Polygones
et végétation.*

*Polygonal
ground
as seen flying
over a plain.*



Les polygones de toundra sont très répandus sur les plaines côtières des Arctiques américain et sibérien où l'on trouve de nombreux exemples de formes vives et figées. Par ailleurs, dans les zones actuellement subarctiques et tempérées, des paléopolygones de toundra ont été étudiés non à partir de la surface où l'on voit rarement le tracé des figures (7-6-4) mais par l'examen de la structure interne (1-5-3).

Comme toute glace dans le sol, les fentes de glace qui encerclent les polygones de toundra posent divers problèmes à l'habitat.

En 7-1-4, le raccourcissement d'une nappe nivo-glaciaire a mis à jour un réseau macropolygonal. A première vue, cette situation peut laisser supposer que le glacier ne modifie en rien le relief, vu qu'il laisse intacts des polygones. En fait, la glace d'occupation a dû être mince, endogène, de courte durée et sans grand mouvement.



7-1-3
Paléopolygones.

Fossil tundra polygons.

The origin of tundra polygons is intimately associated with the formation of ice wedges through thermal contraction (*see* discussion in section on ice wedges).

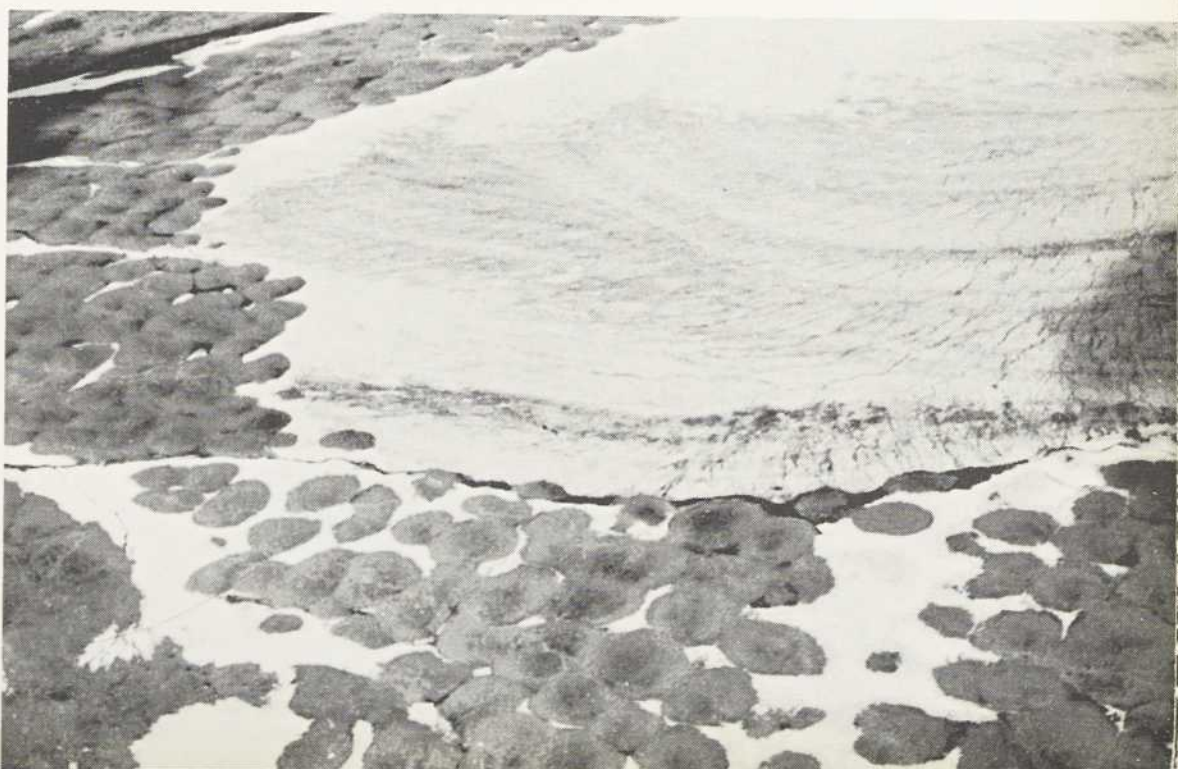
Tundra polygons occur over wide areas of the arctic and sub-arctic regions of the world. They are especially well developed on coastal plains of North America bordering arctic waters and along the Siberian coast. A considerable literature on them has developed.

Most tundra polygons are either active or recently inactive. Fossil tundra polygons have been reported but generally when the ice wedge melts the space is filled with sediment and with time the surface pattern disappears.

The tundra polygons in 7-1-4 are emerging from beneath a retreating glacier. There is no evidence of erosion or sortation, and presumably the polygons pre-date the formation of the glacier.

7-1-4
*Polygones
paraglaciales.*

*Glacially covered
tundra polygons.*



7-2 Mésofiguration circulaire

7-2-4. Sur une pente de cinq degrés, voici des cellules polygonales allongées. Elles sont localisées entre de basses crêtes de plage là où, durant l'été, le niveau hydrostatique correspond au niveau topographique. Le matériel central est constitué d'éléments fins dont 53% ont un diamètre de moins de 0,1 mm. Par contre, les matériaux périphériques sont composés de petits gélifracts, de galets littoraux et de cailloux glaciaires. Les bourrelets simples ont 15 cm de large alors que la cloison siamoise en a 37. Vue en plan, à partir de la surface, la température décroît de 11°C jusqu'au point de congélation. La profondeur du champ des particules fines — qui est inégale le long de la droite AB — dépasse 50 cm.

Les cercles avec triage — ou anneau ou cercle de pierres — peuvent être géométriquement parfaits. Ils sont fondamentalement constitués d'un bourrelet pierreux, haut parfois de 30 cm, entourant un espace médian, bombé ou non, composé d'éléments plus fins. En diamètre, ces formes ceinturées peuvent avoir environ de 10 cm à 10 m ; on les rencontre isolées ou en groupe ; certaines sont même jumelées (7-2-2). Les cercles et les amandes (formes allongées fermées) ne s'expliquent pas par une seule hypothèse ; parmi les processus polygénétiques, le triage semble jouer un rôle prépondérant. La figuration « circulaire » ou curviligne est l'un des faciès les plus spectaculaires de tout le périglaciaire. On en trouve de nombreux exemples, actuels ou anciens, dans les micromilieus arctiques, subarctiques ou montagneux qui sont favorables à leur développement.



7-2-1
Cercle isolé.

Isolated sorted circle.

7-2 *Sorted circles*

Sorted circles are among the most symmetrical periglacial forms found in nature. They have been variously described as stone rings, stone circles or stone polygons. They are characterized by a dominantly circular form and a border of stones surrounding a central area of finer material that gives rise to their sorted aspect. The finer material may be transitional in sorting from border to centre or fines may abut sharply against the border. Dimensions of sorted circles vary from miniature forms a few inches (6-8 cm) in diameter to large ones 10 yards (10 m) or more across. They may occur as isolated circles or lie contiguous to one another. The stone ring or border may stand a foot ($\frac{1}{3}$ m) or more above the centre of the circle, and be many inches (8-12 cm) in width.

The origin of sorted circles is not completely understood, and probably they result from a number of processes operating together, although undoubtedly mechanical sorting by frost action is of prime importance.

Sorted circles have a wide distribution throughout all periglacial regions. They are found both on coastal areas and in high mountain areas and are especially well developed in Spitzbergen and in the Canadian Eastern Arctic. Most are active forms, although numerous inactive forms are found adjacent to present periglacial areas. Fossil forms have been reported from southern areas previously periglacial in climate, but they do not preserve well as they are rather superficial features.

Debris islands are a form of sorted circles occurring amid blocks of frost-shattered boulders. The island consists of fine material varying from clay to a coarse mixture of fines, gravels and pebbles, and occasionally larger rocks. Sometimes there may be a border of flat stones surrounding the central area of finer material.

In the spring debris islands remain frozen much longer than the surrounding rock. During the melting period they may become supersaturated, but usually become very dry later in the summer when the centre tends to become a compact mass which can be moved as a unit.

The origin of debris islands like all patterned ground is not fully understood. Although sorting due to alternate freezing and thawing is probably of prime importance, other processes may be involved. Debris islands have a wide distribution and may be found as both active and inactive forms.

7-2-2
*Cercles
jumelés.*

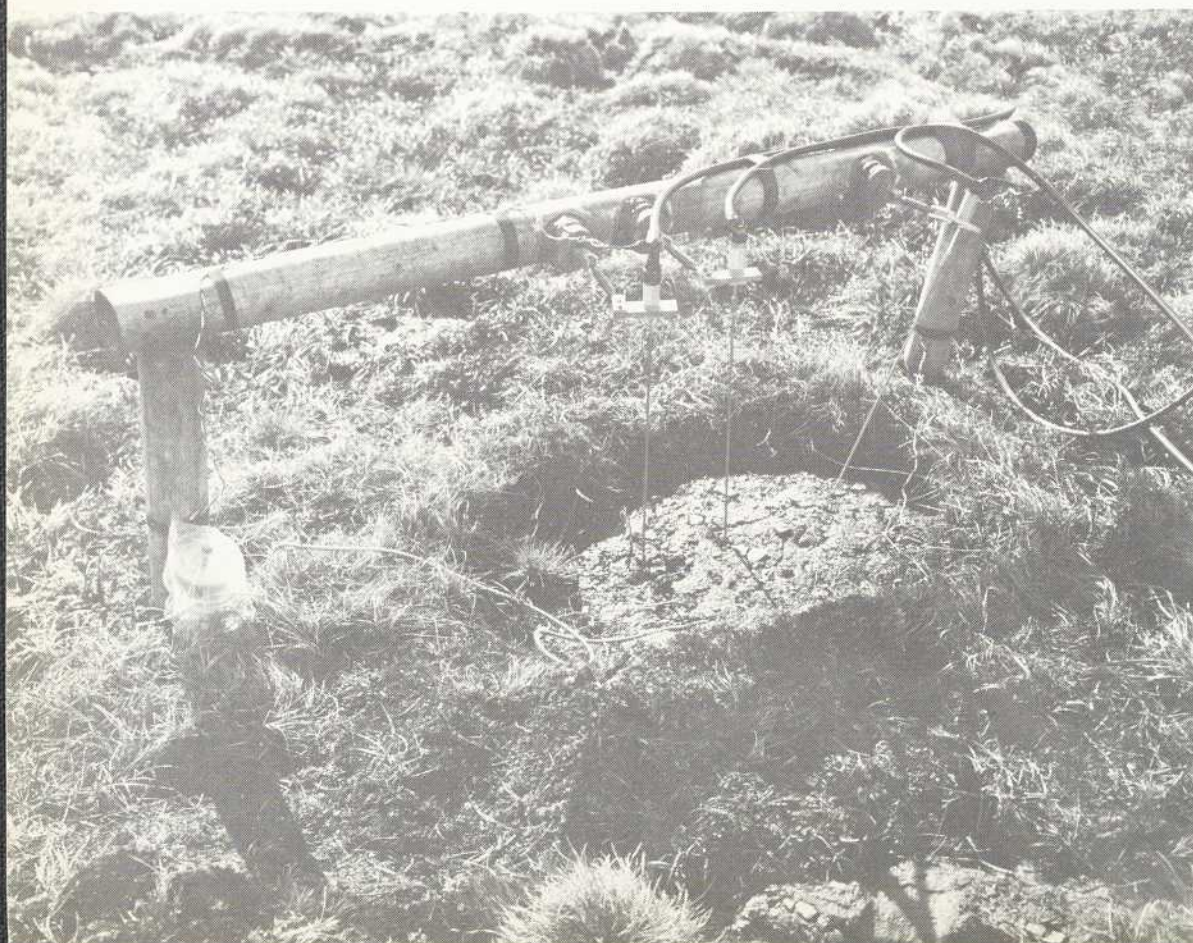
*Continuous
sorted circles.*



7-2-3. L'« ostiole » (J. ROUSSEAU, 1949) est créé par un vomissement superficiel d'éléments à l'état semi-liquide. Ostiole ou « poussée de mollisol » ou « éruption de boue ». Ces phénomènes de forme vaguement circulaire peuvent avoir un diamètre d'un mètre et dominer la surface environnante de 20 cm. Ils sont constitués d'éléments fins auxquels peuvent être incorporés quelques cailloux. Ces « plaies » se présentent isolées ou en groupes ; dans ce dernier cas, leur répartition est régulière ou non. Les limites de cet îlot boueux peuvent être soulignées par une ceinture de cailloux disposés verticalement. Souvent une auréole légèrement déprimée entoure la formation. On a rapporté des exemples d'ostioles dans deux types de dépôts de surface ; on parle d'« ostiole avec triage » quand, par exemple, la pustule se développe dans une mer de gélifractions ; ce phénomène peut être confondu avec le cercle de pierres. Par contre, lorsque les sédiments de surface sont partout homogènes, il s'agirait, d'après la terminologie de A. L. WASHBURN, d'« ostiole sans triage » ; ici, ce n'est plus la granulométrie (et la couleur) qui peut distinguer cet ostiole de la matière encaissante ; c'est le couvert végétal et la dynamique gélivale.

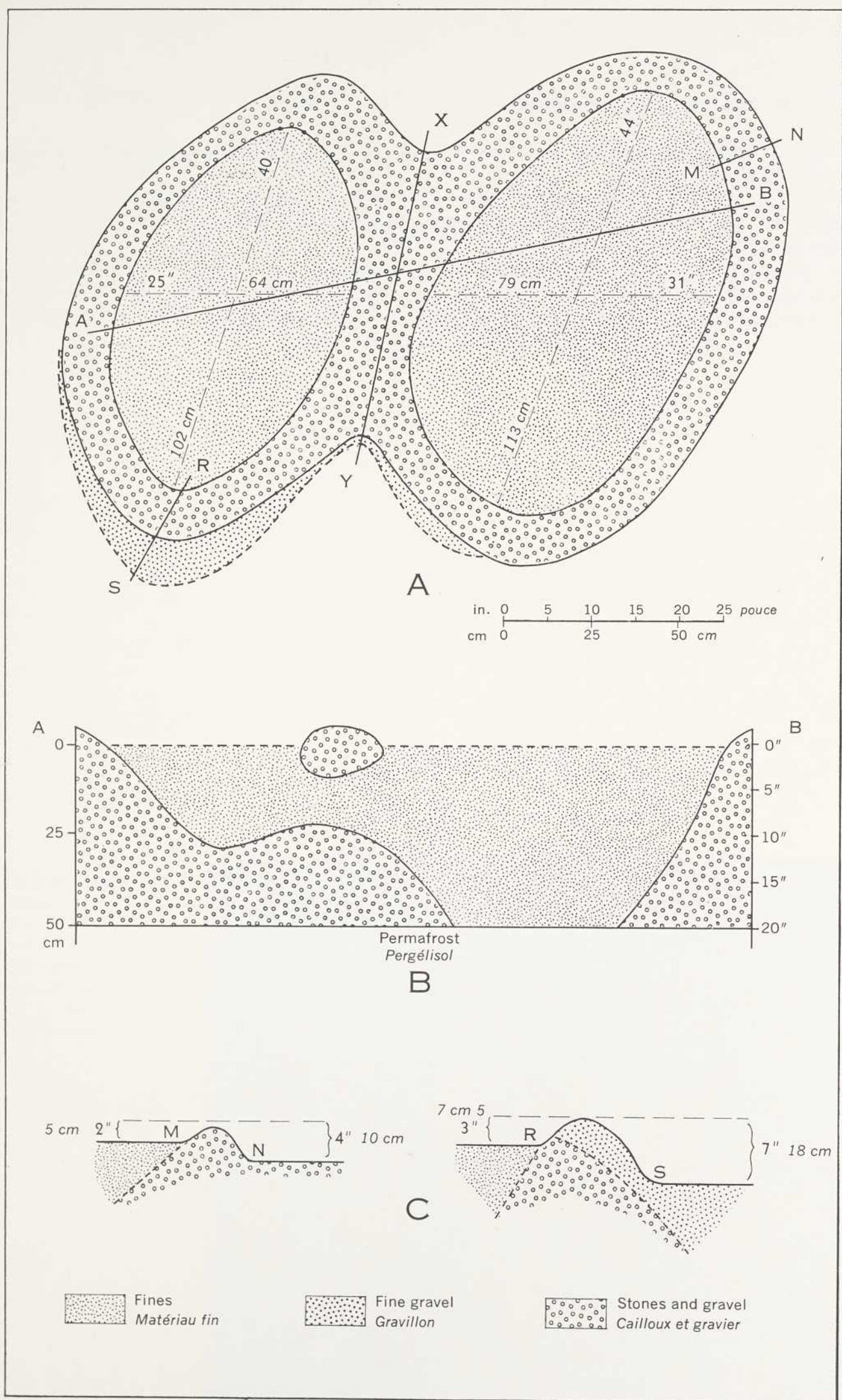
Les ostioles avec triage seraient liés 1° à la couverture de cailloux qui font poids sur les dépôts sous-jacents ; 2° au substratum d'éléments fins qui répondent à la compression supérieure et à la « périglaciation » par une injection verticale ; 3° à une abondante humidité qui sature, par moments, les dépôts fins ; 4° à des cycles gélivaux comportant de basses températures et provoquant des fissures et des pressions gélistatiques ; 5° à une lente colonisation végétale sur le cercle de boue.

Une fois créé, l'ostiole se comporte différemment des environs immédiats lors des engels et dégels postérieurs. Quand, au cours du printemps, les ostioles (« ventres-de-bœufs », au Canada français) se développent dans des chemins boueux, ils créent de grands ennuis à la circulation.



7-2-3
*Étude des
variations
d'un ostiole.*

*Instrumentation
for measuring
movement
in sorted circle.*



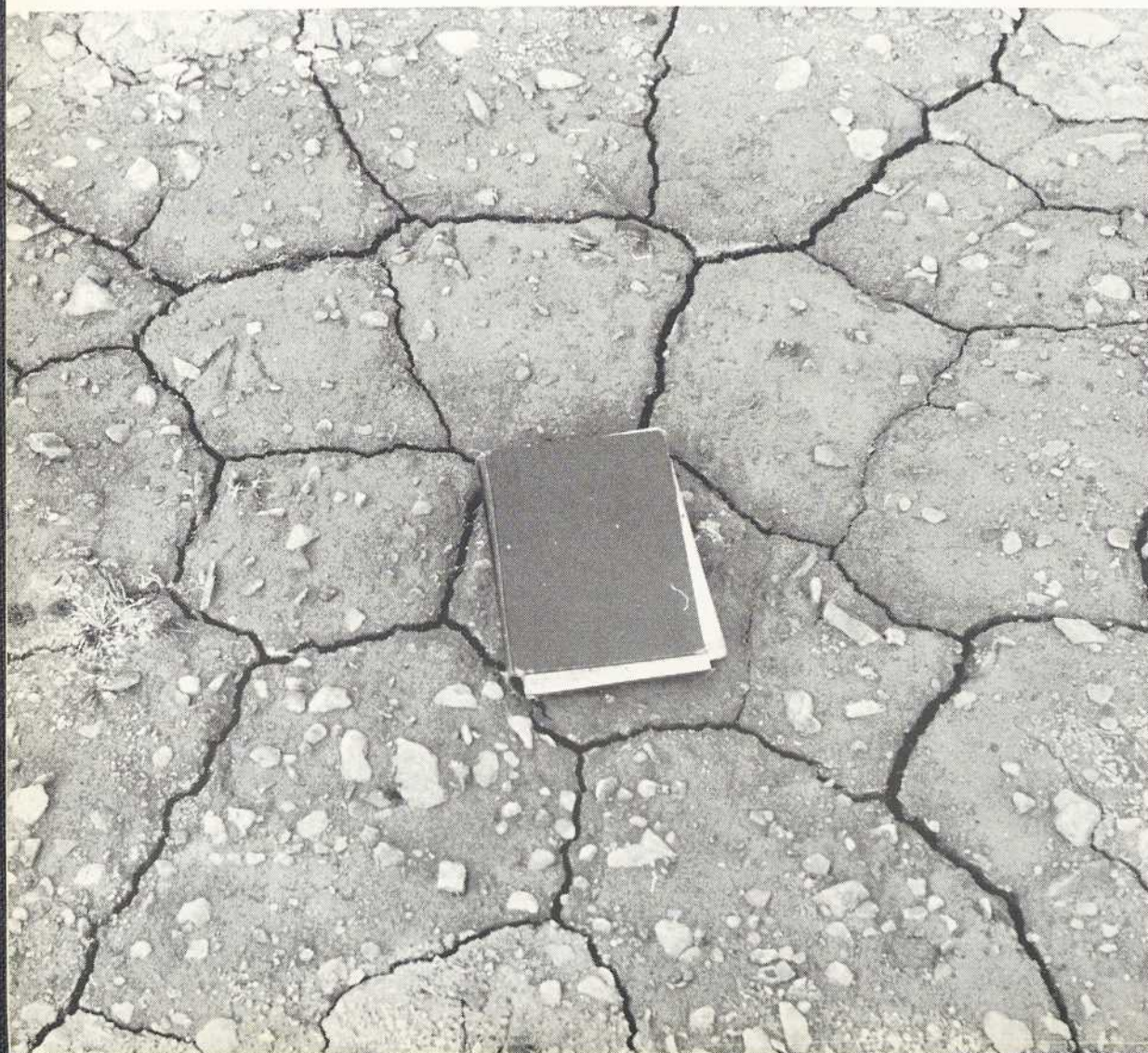
7-2-4
Amandes jumelées (vue en plan et en coupe).
Schematic drawing of two contiguous sorted circles.

7-3 *Micropolygonation*

7-3-1. Fissures très récentes de dessiccation limitant un type de polygones « flottants ».

7-3-2. Phase postérieure à la fissure initiale ; les couloirs interpolygonaux ont été élargis et les cellules, à angles maintenant convexes, sont légèrement bombées.

Des études faites en laboratoire sur la polygonation générale ont montré que la fissuration était à la fois fonction de la température, de l'humidité et de la profondeur du sol (A. CORTE). La dessiccation semble jouer un rôle initial important (A. PISSARD). (*Voir aussi J. TRICART, 1950.*)



7-3-1
*Polygones frais
sans triage.*

*New non sorted
desiccation
polygons.*

7-3 *Desiccation polygons*

Although desiccation may be a factor in the formation of sorted polygons, and other types of patterned ground, it is most commonly observed in small non sorted polygons. Drying of the soil, generally of high clay content, produces contraction which results in cracking. These cracks constitute zones of weakness and thus the pattern tends to persist, gradually extending downward as the process is repeated. In time, stones may accumulate in the fissures or vegetation develop which stabilizes the polygonal pattern. It is not uncommon to see miniature desiccation polygons within larger sorted or non sorted polygons.

7-3-2
*Polygones
subactuels
sans triage.*

*Non sorted
polygons
in process
of formation.*



7-4 *Gradins*

Les gradins consistent en une alternance de bandes dissemblables, étagées et allongées d'une façon parallèle (ou subparallèle) aux courbes de niveau ; en principe, leur orientation est donc opposée à celle des traînées. Gradin se rapporte ici à tous types de banquettes périglaciaires, d'érosion ou d'accumulation, envahis ou non par la végétation, inscrits dans la roche en place ou simplement développés dans des matériaux meubles.

Micro et mésoreplat polygénétique. Dans le cas des « gradins avec triage » (WASHBURN, 1956), une première lisière, étroite, pentueuse, convexe, grossière, sert de contremarche ou de talus ; l'autre lisière, contenue en amont de la précédente, faiblement inclinée, constituée d'éléments fins, forme le plancher de la terrasse. Le gradin végétal ou « marche de végétation », de même dimension, a son talus recouvert d'une pelouse et son replat dénudé — ou l'inverse ; les terrassettes, les « sentiers de vaches » (de moutons, de rennes ou de caribous) et certains « arcs de végétation », peu ou pas périglaciaires, se rattacheront à ce dernier sous-type.

Macroreplat de géliplanation. Les replats-goletz et les terrasses d'altiplanation, formes plus vastes — plusieurs dizaines de mètres en profondeur et encore plus en longueur — sont, en surface du moins, composés de blocs hétérogènes, anguleux ou non ; un moyau de roche en place localise parfois ces replats à talus pierreux. En Tchécoslovaquie, J. DEMEK a décrit une terrasse longue de près de 3 km. La gélifraction et la nivation jouent un rôle important dans leur formation ; le mur amont recule par perte de matière alors que le plancher s'élargit par accumulation ; des tors peuvent être associés à l'évolution de ces gradins (TE PUNGA, 1956 ; R. S. Water, 1962). Les éléments fins du plancher sont souvent soumis à la figuration et aux turbations.

Replat d'étalement. La simple descente ou promotion vers l'aval de matériaux fins à l'état plastique ou visqueux sur une pente sensiblement forte peut créer, à des points d'arrêt, des marches appelées parfois replat de solifluxion ; le talus est lâchement festonné. De telles formes peuvent être « géantes » en présentant un front de 500 mètres de long et haut parfois de 15 mètres (7-4-1).

En général, pour avoir des gradins, il faut une inclinaison certaine, des matériaux comportant des éléments fins, des déplacements différentiels, un couvert végétal optimum et des évacuations de type solifluidal.

7-4-1
*Front festonné
de macroréplats
de solifluxion.*

*Lobate soils
(non sorted).*



7-4 *Lobate soils (Steps)*

Steps are a form of patterned ground that occurs on sloping terrain. They may be either sorted or non sorted and are transitional in form between polygons and stripes.

Sorted steps are characterized by a downslope border of stones embanking an area of finer material upslope, thus giving them a sorted appearance. Sorted steps form in groups; rarely, if ever singly. Vegetation, if present, does not emphasize the pattern as strongly as in non sorted forms. They may be wider than 10 feet (3 m), parallel to the contour and up to 25 feet (8 m) long in a downslope direction. The stone borders are most pronounced at the downslope end where they form distinct embankments that are convex downslope. The material inside the stone borders may be of several kinds, gravelly sand, silt or clay containing boulders.

Non sorted steps owe their appearance to a downslope border of vegetation embanking an area of relatively bare ground upslope. Like sorted steps, they appear in groups and have lower borders convex downslope. Non sorted steps are generally considerably smaller than sorted steps.

7-5 *Trainées minérales et végétales*

Depuis la classification proposée par A. L. WASHBURN en 1950, les trainées font partie des *patterned ground*. On distingue les trainées « terrestres » ou minérales (éléments fins et pierres) des trainées végétales (d'origine ou d'apparence).

Les trainées, appelées aussi dans des sens un peu différents : bandes, sols striés, alignements de cailloux, lits de pierres, sols rayés, arcs de végétation, sont constituées de rangées alternatives de faciès différents et allongées dans le sens de la pente ; généralement, ces lignes zébrées restent parallèles mais sans être rigoureusement rectilignes ; certains champs d'alignements sont obliques à l'axe principal de la pente. L'inclinaison est inférieure à 30 degrés. Ces lanières intermittentes ont une largeur variable, souvent de l'ordre du mètre ; KLATKA a distingué des macro et des microtrainées. Par rapport à la topographie de surface, elles peuvent se présenter en sillon, en bourrelet ou à niveau.



7-5-1
*Trainées
de végétation.*

*Vegetation
stripes.*

7-5-2a
*Trainées
minérales.*

*Sorted stone
stripes.*



7-5 *Stripes*

Stripes are a type of patterned ground that may be either sorted or non sorted.

Sorted stripes form a pattern characterized by alternating rows of stones and fines oriented down the steepest available slope (up to 30°). The width of the rows ranges from a few inches (6-8 cm) to a yard (1 m) or more and the length is commonly determined by the length of the slope. The stones of the sorted stripes range in size from gravel, in the narrow stripes, to boulders in the largest ones.

7-5-2b
*Trainées
minérales.*

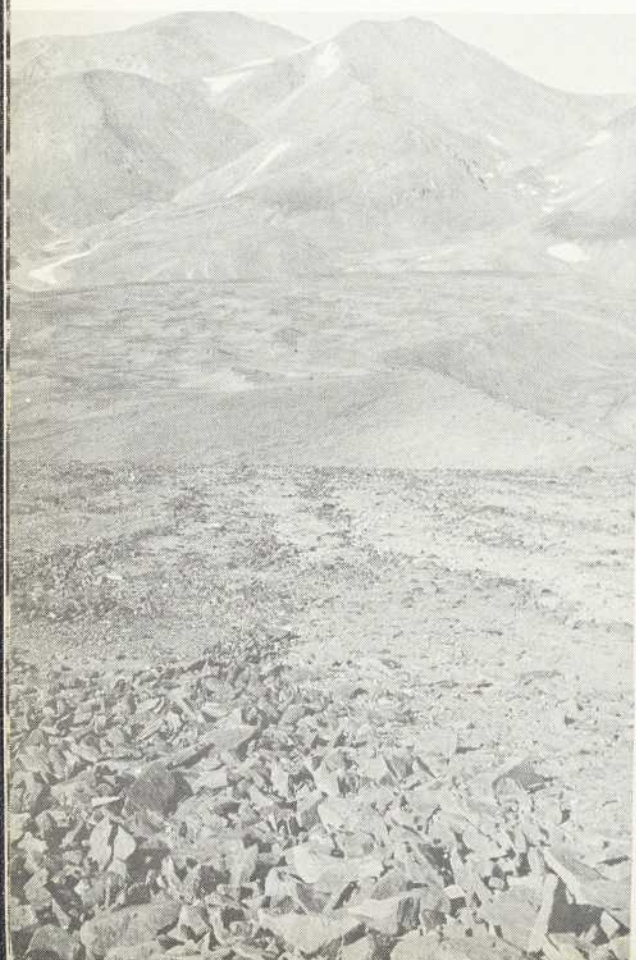
*Stone stripes
in Alpine
Valley.*



Fondamentalement, les traînées sont un phénomène « pairé », composé d'une bande rectangulaire présentant un aspect différent de celui de la bande voisine ; il est souvent difficile de déterminer lequel des deux termes est l'élément prédominant. Les traînées « terrestres » sont parfois superposées de traînées végétales. Le binôme montre alors diverses combinaisons ; en voici quelques-unes vues transversalement : 1° rangée de cailloux, rangée de particules fines ; 2° bourrelet de blocs nus, interfluve plat et végétal ; 3° lisière bombée de cailloux, lisière déprimée de végétation ; 4° alternance en terrain plat de rangées d'arbustes et de rangées d'herbes. Dans les traînées minérales, les cailloux sont surtout des gélifraacts mais l'on trouve aussi des blocs non anguleux trahissant diverses influences antérieures ; la plupart des cailloux eux-mêmes sont allongés dans le sens de la pente et plusieurs sont redressés sur leur tranche par suite des frottements latéraux. Certaines traînées participent à une séquence hiérarchique comprenant des talus d'éboulis en amont et des polygones (de pierres) en aval ; vers le centre, les coulées s'amincissent et leurs caractéristiques sont plus pures. Les traînées végétales sont « flottantes » ou « de rappel » suivant qu'elles répondent ou non à une traînée minérale sous-jacente ; certaines « arabesques de végétation » ont des formes intermédiaires entre les polygones fermés et la traînée rectiligne.

Les conditions de formation des traînées minérales sont aussi diverses que les types eux-mêmes ; un terrain pierreux et hétérométrique, un tapis végétal plutôt pauvre et une pente généreuse leur sont favorables ; des fissures de contraction, des sillons interpolygonaux, des talwegs temporaires, des lessivages, des glissements secs, des levées d'avalanche, des déplacements différentiels solifluidaux, des soulèvements de blocs semblent participer à la création ou à l'évolution des diverses traînées « terrestres ». La granulométrie et le microclimat (humidité, vent, neige) sont les principaux facteurs de « surimposition » de traînées végétales sur des traînées minérales. Quant à l'origine des traînées « flottantes » de végétation, elle tient soit à des déchirures fluidales, fluviales ou anthropiques, soit à une colonisation spontanée exploitant des microconditions.

Les exemples ne sont pas tous récents ; des traînées terrestres anciennes influencent encore la végétation actuelle dans le nord-est de l'Angleterre (7-5-1 et 7-6-4).



7-5-2c
Traînées minérales.

Soil stripes in Andes.

7-5-3
*Trainées
 de gélifracts
 limitées
 par des sillons.*

Sorted stripes.



Non sorted stripes form a pattern similar to stone stripes but differ in being characterized by alternating rows of bare ground and vegetation rather than rows of stones and fines. The vegetation-free ground consists of fines or of a non sorted mixture of fines and stones. Dimensions are similar to sorted stripes.

It is generally agreed that patterns on sloping ground such as stripes are the result of solifluction acting in conjunction with one or two other processes. Rillwork, for example, may play a contributory role in places. Stripes have a wide geographical distribution.

7-5-4
*Trainées
 sans triage.*

*Non sorted
 stripes.*



7-6 *Figuration végétale fermée*

L'expression générique « polygone de végétation » englobe plusieurs phénomènes. Il ne sera question ici que des figurations fermées (et non ouvertes, comme les traînées). Généralement, ce genre de phénomène est à la fois végétal et minéral.

Dans les pays à toundra riche, la sécheresse momentanée de l'air peut amener une contraction polygonale du tapis de lichen, événement souvent diurne (7-6-1) ; figuration uniquement végétale.

Certains polygones ne sont pas strictement végétaux ; nous pensons à la couverture de végétation sur une figuration initiale terrestre ; ce tapis végétal peut occuper par exemple le centre limoneux d'un ancien polygone que limitent des blocs grossiers, c'est le « polygone à centre végétal ». Au contraire, en d'autres cas, la colonisation végétale n'envahit que le pourtour du polygone (7-6-2, 7-6-3) quand l'humidité y est suffisante et laurbation gélivale faible ; la forme et les dimensions de ces clôtures végétales ne sont pas originales mais elles respectent la plupart du temps la polygonation terrestre sous-jacente.



7-6-1
Polygones de lichen.

Lichen polygons.

7-6 *Vegetation polygons*

Vegetation polygons are a non sorted form similar to other polygonal structures, but having outlines with vegetation. They are generally small forms, ranging up to a yard (1 m) or more in diameter, although larger forms are not uncommon. They normally appear as nets and their centres may consist of fines or a mixture of fines and stones, and often are supersaturated.

7-6-2
*Ceinture
végétale.*

*Vegetation
polygon.*



Cependant, une fois installée au centre ou sur les bordures de la figure, la végétation influencera désormais l'évolution de la figuration minérale locale en modifiant, dans le couloir périphérique, les conditions d'exposition, d'humidité, d'isolement et de retenue nivale. « La végétation souligne les structures du sol et tend à les renforcer » (Jean TRICART, 1963). La végétation est donc à la fois résultat et facteur de la figuration.

Les « arabesques de végétation » (7-6-4) sont une figuration intermédiaire entre les polygones et les traînées végétales.



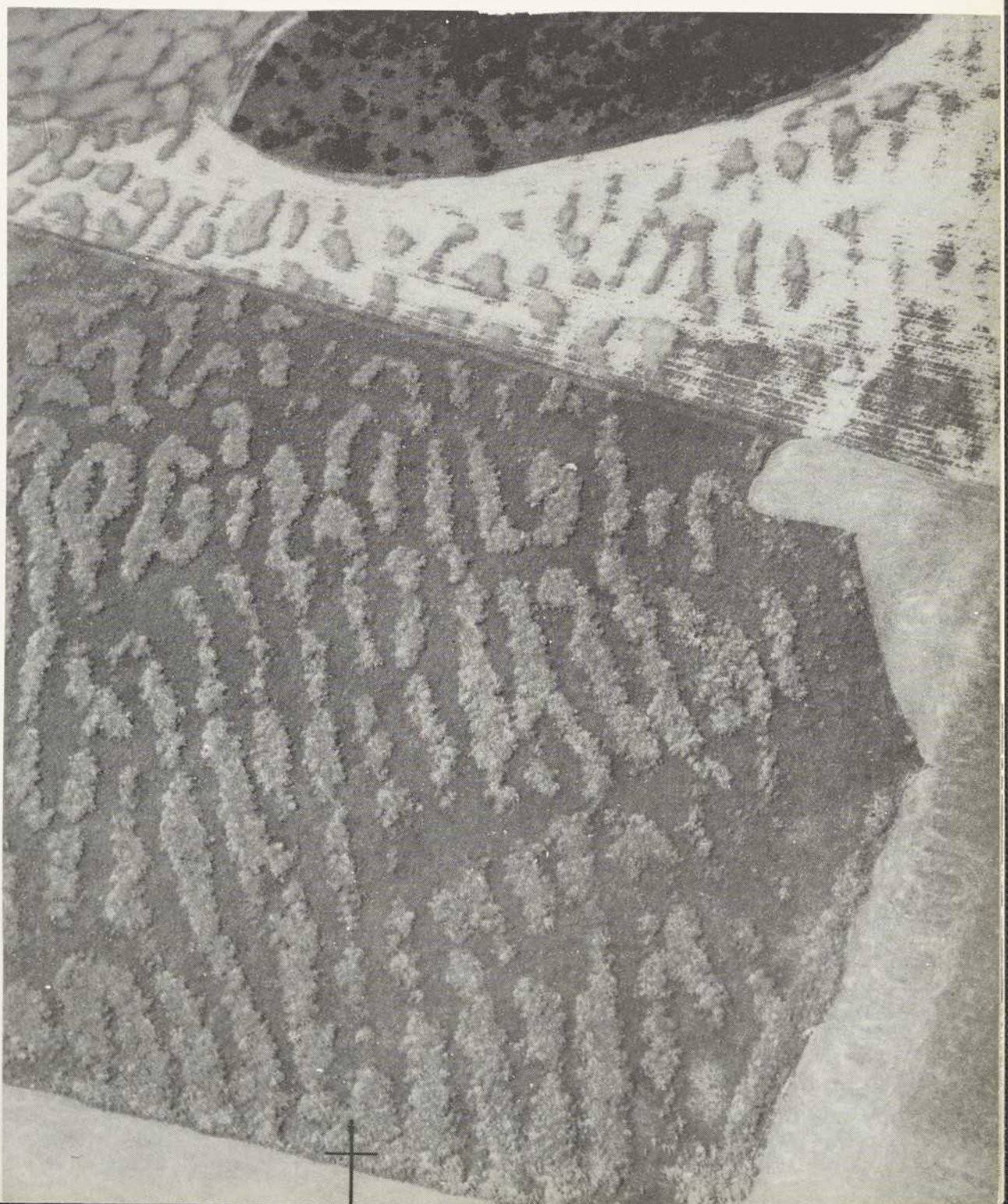
7-6-3
Mince
colonisation
lichénique
sur fentes
tétraogonales
de glace.

Network
of vegetation
polygons.

The vegetative growth is encouraged by moisture in the furrows that outline the polygons and the furrows are often drainage runnels. In high arctic areas the vegetation is usually moss. In the sub-arctic, however, willows, lichen, and other forms of vegetation may develop (see Tundra polygons).

7-6-4
*Arabesques
de végétation.*

*Vegetation
arabesques.*



7-7 «*Tourbières*» réticulées

Le paysage schématique d'une «*tourbière*» réticulée (ou «*cordée*») est constitué d'un faisceau d'éléments pairés comprenant des «*lanières de végétation*» et de légères dépressions généralement remplies d'eau, les «*mares*». Les tracés très divers sont fondamentalement de trois types : concentriques, linéaires et anastomosés. La tourbière, surtout l'ombrothropique, est peu ou n'est pas arbustive ; toutefois, certaines sections peuvent comporter des «*îles arbustives*» et une «*forêt réticulée*». Au Canada, d'après N. W. RADFORTH, on distingue neuf types de terrains organiques.

Le «*muskeg*» (mot indien) est constitué d'une matière plastique et dynamique issue de la décomposition de matières organiques, souvent les sphaignes. C'est un milieu surhydraté et à faible gradient thermique. L'explication de la réticulation est triple : 1° si le point de départ est un tapis végétal continu, la croissance de lentilles de glace sous-jacentes peut fissurer la couverture organique qui soliflue par la suite ; 2° récemment, on a pensé que cette figuration végétale est le résultat du déplacement superficiel de la matière organique que pourrait occasionner la fonte des lentilles de glace dans le sol ; 3° si le point de départ est une surface hydrographique, certaines lanières peuvent se former par adjonction de «*touffes de pelouse*» détachées des rives par la gélivation et poussées à la dérive par le vent ; les cycles gélivaux saisonniers, la neige et les glaces flottantes participent à l'évolution de la réticulation. Des turbations dans le matériau végétal se produisent. C'est donc un phénomène polygénétique dont l'étude relève à la fois de la morphologie, de la limnologie et de la biologie végétale.



7-7-1
Tourbière réticulée
(photo aérienne).

String bogs
(air photo).

7-7 *String bogs*

The string bog landscape consists of thin stripes of vegetation in shallow depressions generally filled with water. In plan, fundamentally they fall into two types, concentric or linear. The bog vegetation itself, particularly the ombrothropic type, is rarely a shrub.

There is considerable controversy over the origin and development of string bogs. It has been stated that they are related to melting of permafrost under fen or moss, providing a basin for deposition of mud, muck, peat and turf, and in which the string bog and other vegetative cover develops. It has been related to solifluction, to seasonally frozen ground rather than permafrost, and to other processes. Its development is related to climatic, morphologic and biologic (vegetative) factors.

7-7-2
*Mares et
lanières de
réticulation
végétale.
(vue au sol).*

String bogs.



Dans l'Est de l'Amérique du Nord, le phénomène existe surtout entre les 50° et 55° latitude, c'est-à-dire au sud de la zone franchement pergélisolée. A l'intérieur de l'Arctique, W. E. HENOCH en a également signalé. Les deux principales régions mondiales sont les Basses-Terres de la Sibérie occidentale et celles de la mer d'Hudson.



7-7-3
Mares,
lanières,
touffes de
pelouse et îles
arbustives
dans un
« muskeg ».

*Floating
islands
of vegetation.*

In eastern North America the phenomenon exists almost entirely between the 50th and 55th parallels of latitude, that is to say, south of the zone of permafrost. It is also found in the interior of the arctic. The two principal world regions are in western Siberia and in the Hudson Bay area.

7-7-4

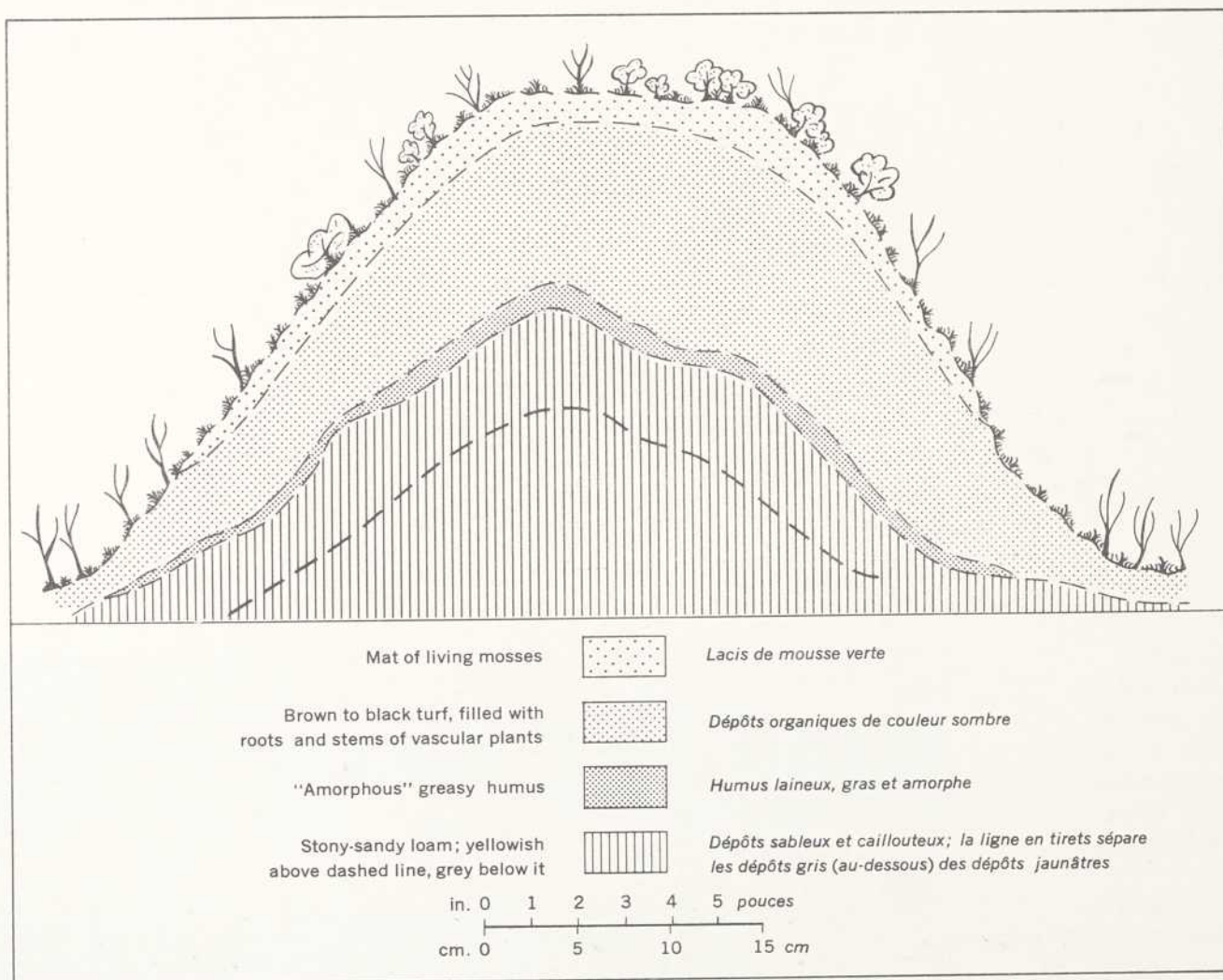
Mares à fond pierreux.

Stone pit in bogs.



7-8 Thufur

Les thufurs sont des tertres hémisphériques qui dominent la topographie de 12 cm à 1 mètre environ. Le monticule a une légère tendance à être plus large que haut. Les petites formes de quelques centimètres peuvent être qualifiées de « mottes », et les macrothufurs (2 m de large), de « buttes ». Ils se développent dans des endroits humides, par exemple, dans l'Arctique au-dessus du pergélisol et dans les régions tempérées, au pied d'une pente ou dans des marécages ; les terrains dont la granulométrie fine aggrave les mauvaises conditions de drainage semblent être un milieu favorable ; cette humidité locale permet une croissance végétale relativement riche au niveau des mousses, des herbes hydrophiles et même des éricacées. Les étendues peu inclinées favorisent également leur développement. Les thufurs se présentent en champs à l'intérieur desquels ils sont répartis en ordre serré ou lâche. En coupe, le thufur est surtout composé de matière végétale plus ou moins décomposée et dont la structure peut être perturbée ; au centre, un cœur de terre. Chimiquement, un milieu acide.



7-8-1
Thufur (vue en coupe).

Cross-section of a mature hummock developed on fine-textured soil and containing an earth core.

7-8-2

Champ de mottes en coupole.

*A close-up of field of
earth hummocks.*



7-8. *Earth hummocks*

Earth hummocks are a particular type of non sorted net with a mesh characterized by a three-dimensional knob-like shape and a cover of vegetation. The term is synonymous with thufur. They are very common surface features of arctic, sub-arctic and alpine regions. They may be found on any kind of soil from gravel to clayey silt and loam and on slopes, from 1° to 15° , and tend to elongate downslope as the angle increases. Earth hummocks, in general, are of two kinds. The first are those formed of single species, usually of grasses and sedges. Though widespread in the world, this kind is especially well developed

7-8-3

*Champ
de thufurs
dispersés.*

*Isolated
clumps
of earth
hummocks.*



On ne connaît pas la première étape de cette ségrégation. On explique cependant l'entretien de ces buttes organico-terreuses à la fois par la croissance végétale et par l'action gélivale différentielle ; l'une des modalités pourrait être la suivante : l'engel qui se ferait plus sévèrement et plus hâtivement dans les sillons périphériques que dans la moitié supérieure de la butte provoquerait à l'intérieur de celle-ci un certain redressement des matériaux. Une fois élevé, le monticule peut subir des érosions, par exemple par fluviation dans les sillons et, dans l'Arctique, par éolisation des sommets non enneigés.

Sur pente, on passe des thufurs hémisphériques à des « buttes allongées », parfois même à des types de traînées de végétation courtes. En volume, il y a aussi des formes de passage des thufurs aux paises.

Les « buttes à blocs » en 7-8-4 sont un cas particulier ; il s'agit de blocs glaciels qui après avoir été fossilisés remontent à la surface sous l'action des cycles gélivaux ; ces cailloux percent ainsi la couverture végétale.

Les thufurs sont très répandus dans tous les pays froids et même en dehors des zones pergélisolées. Ils sont, comme les tourbières réticulées, un phénomène mixte où la végétation est un élément capital dans l'évolution du relief.

Avec raison, R. E. BESCHEL a souligné la différence entre les buttes minérales d'érosion résiduelle et les buttes végétales venues par croissance.



7-8-4
Buttes à blocs.

*Earth and
block hummocks.*

in western arctic Canada and in Alaska, where studies by HOPKINS and SIGAFOOS (1950) are definitive. The second type is composed primarily of various species of mosses, and is by far the commonest type. In size, earth hummocks average perhaps 5 inches (120 mm) in height and 25 inches (635 mm) in diameter, although there is a wide range on either side of the mean. In structure the hummocks usually consist of an earthen core with a hull of humus, moss or plant roots (7-8-1). They form in groups rather than singly (7-8-2), although small isolated clusters are not uncommon (7-8-3).

Earth hummocks are often found in alpine valleys throughout the world.

7-8-5
Buttes.

Thufurs.



7-9 *Dallage de pierres*

Le dallage pierreux, moins strictement nival qu'on l'a dit, consiste en une étendue faiblement inclinée comprenant des pierres espacées et disposées à plat. Ces blocs qui sont généralement des plaquettes minces et relativement petites (moins de 50 cm) reposent sur un substratum d'éléments fins aptes à l'aventure de la géliturbation. La répartition des dalles individuelles est indifférenciée ou imparfaitement polygonée. Les blocs viennent de dépôts glaciaires ou de formations de pente (par exemple, de gélifraacts soliflués). Le dallage semble préférer les endroits humides ; le lit de certains cours d'eau arctiques est « dallé ».

Pour expliquer ce dallage qui doit exprimer une certaine disposition préférentielle des pierres face aux frottements et aux déplacements, nous pensons aux effets différentiels : 1° de la gélifluxion fine des blocs, 2° de la fluviation sous et entre les pierres, 3° de la géliturbation des éléments fins sous-jacents, 4° du poids de la neige saisonnière, 5° de l'englacement des espaces entre les cailloux et, enfin, 6° de l'action des pipkrakes. Pour les dallages littoraux et riverains, il faut ajouter l'action des glaces flottantes.

Vers 1900 déjà, DELABARRE avait signalé l'existence de dallages dans le Labrador septentrional.

7-9 *Boulder pavement*

Boulder pavement consists of a slightly inclined surface composed of randomly-spaced blocks, usually frost-shattered. They have a flat surface similar to a pavement. The rocks are characteristic of the bedrock of the area, and produce a thin layer without pattern (polygonal, for example) over a substratum of finer material. They are relatively small (less than 20 inches) ($\frac{1}{2}$ m) and may have been glacially deposited, or result from solifluction or other mass movement.

An examination of the orientation of the blocks may help to explain the origin of the pattern. Many processes may be involved: congeliturbation (frost-churning); congelifraction (frost-shattering); ice formation in spaces between the blocks; needle ice or nivation.

7-9-1
*Dallage
par gélifluxion
et fluviation.*

*Boulder
pavement.*



LOCALISATION
ET PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS

SOURCES
OF
FIGURES

- 7-1-1 *Polygones de « toundra ».* *Non sorted toundra polygons (depressed centre type).*
Péninsule de Fosheim, Ellesmere, Arctique insulaire, Canada. 1955 ; Direction de la Géographie ; V. W. SIM. In COOK, 1959.
- 7-1-2 *Polygones et végétation.* *Polygonal ground as seen flying over a plain.*
Old Crow, Yukon, Canada continental. 1962 ; Commission géologique du Canada ; n° 8-1-62 ; R. A. PRICE.
- 7-1-3 *Paléopolygones.* *Fossil toundra polygons.*
Région d'Edmonton, Alberta, Canada. 8/1958 ; R. Spence-Taylor. In HAMELIN, 1961.
- 7-1-4 *Polygones paraglaciaires.* *Glacially covered toundra polygons.*
Baffin, Arctique insulaire, Canada. 1962 ; Direction de la Géographie, Ottawa. Voir G. FALCONER, 1966.
- 7-2-1 *Cercle isolé.* *Isolated sorted circle.*
Resolute, Cornwallis, Arctique insulaire, Canada. 1955. In COOK, 1959.
- 7-2-2 *Cercles jumelés.* *Contiguous sorted circles.*
Ny-Alesund, Spitzberg occidental, Svalbard. 7/1960. In HAMELIN, 1962.
- 7-2-3 *Étude des variations d'un ostiole.* *Instrumentation for measuring movement in sorted circle.*
Ogotoruk, Alaska du Nord. 6/1962. In K. R. EVERETT, 1965.
- 7-2-4 *Amandes jumelées (vue en plan et en coupe).* *Schematic drawing of two contiguous sorted circles.*
Resolute, Cornwallis, Arctique insulaire, Canada. In COOK, 1958.

- 7-3-1 *Polygones frais sans triage.* *New non sorted desiccation polygons.*
 Bassin du Havre de l'Hivernement,
 île de Melville, Arctique insulaire, Ca-
 nada. 7/1963; L.-E. HAMELIN.
- 7-3-2 *Polygones subactuels sans triage.* *Non sorted polygons in process of formation.*
 Est du dôme Hoodoo, Ellef Ringnes,
 Arctique insulaire, Canada. 7/1960 ;
 Direction de la Géographie. In SAINT-
 ONGE, 1965.
- 7-4-1 *Front festonné de macrore-plats de solifluxion.* *Lobate soils (non sorted).*
 Pays de Galles, Grande-Bretagne.
 In PISSARD, 1963.
- 7-5-1 *Trainées de végétation.* *Vegetation stripes.*
 Norfolk, East Anglia, Grande-Breta-
 gne. Photographie aérienne, Collec-
 tion de l'université de Cambridge,
 V-AJ-70 ; J. K. ST. JOSEPH. Voir
 R. B. G. WILLIAMS, 1964.
- 7-5-2a *Trainées minérales.* *Sorted stone stripes.*
 Spitzberg. 1959 ; W. BLAKE.
- 7-5-2b *Trainées minérales.* *Stone stripes in Alpine Valley.*
 Col du Nivolet, Gran Paradiso, Alpes,
 Italie. In CAPELLO, 1963.
- 7-5-2c *Trainées minérales.* *Soil stripes in Andes.*
 Andes de Mendoza, Argentine.
 A. CORTE.
- 7-5-3 *Trainées de gélifracis limitées par des sillons.* *Sorted stripes.*
 Arctique insulaire, Canada. 1952 ;
 Commission géologique du Canada,
 n° 5-5-52 ; R. THORSTEINSSON.
- 7-5-4 *Trainées sans triage.* *Non sorted stripes.*
 Mont de Pelly, Cambridge Bay, île de
 Victoria, Arctique insulaire, Canada.
 Circa 1945. In WASHBURN, 1950.

- 7-6-1 *Polygones de lichen.* *Lichen polygons.*
 Bassin de la George, Ungava, Québec,
 Canada. 21/7/1947.
 Voir Jacques ROUSSEAU, 1949.
- 7-6-2 *Ceinture végétale.* *Vegetation polygon.*
 Resolute, Cornwallis, Arctique insu-
 laire, Canada. 1954 ; Direction de la
 Géographie. In COOK, 1959.
- 7-6-3 *Mince colonisation lichénique
 sur fentes tétraogonales de
 glace.* *Network of vegetation polygons.*
 Île de Melville, Arctique insulaire,
 Canada. 7/1963 ; L.-E. HAMELIN.
- 7-6-4 *Arabesques de végétation.* *Vegetation arabesques.*
 East Anglia, Grande-Bretagne. Pho-
 tographie aérienne, Collection de
 l'université de Cambridge, VT50 ;
 J. W. ST. JOSEPH. Voir R. B. G. WIL-
 LIAMS, 1964.
- 7-7-1 *Tourbière réticulée
 (vue d'avion).* *String bogs (air photo).*
 Lac-Saint-Joseph, près de Québec,
 Canada. Aviation royale du Canada,
 n° A-11715319. Voir L.-E. HAMELIN,
 1957.
- 7-7-2 *Mares et lanières de réticula-
 tion végétale (vue au sol).* *String bogs.*
 Source du Véraet (Gizzard), affluent
 du Bell, Nord de l'Abitibi, Québec,
 Canada. 21/6/1954 ; Service provin-
 cial de géographie ; Bernard CHOUI-
 NARD. In HAMELIN, 1957.
- 7-7-3 *Mares, lanières, touffes de pe-
 louse et îles arbustives dans
 un « muskeg ».* *Floating islands of vegetation.*
 Bassin méridional du Mistassini, Qué-
 bec, Canada. 8/1963 ; B. DUMONT.
- 7-7-4 *Mares à fond pierreux.* *Stone pit in bogs.*
 Rekkaslako, Lappland, Suède. 1957 ;
 S. RUDBERG.

- 7-8-1 *Thufur* (vue en coupe). *Cross-section of a mature hummock developed on fine-textured soil and containing an earth core.*
In RAUP, 1965.
- 7-8-2 *Champ de mottes en coupole.* *A close-up of field of earth hummocks.*
Ouest du cap Belknap, extrémité septentrionale d'Ellesmere, Arctique insulaire, Canada. 1952 ; Direction de la Géographie ; Pierre GADBOIS.
In LAVERDIÈRE et GADBOIS, 1952.
In COOK, 1959.
- 7-8-3 *Champ de thufurs dispersés.* *Isolated clumps of earth hummocks.*
Terrasse du Nordfjord, Spitzberg occidentale, Svalbard. 7/1960.
In HAMELIN, 1962.
- 7-8-4 *Buttes à blocaux.* *Earth and block hummocks.*
Terrasse de Mic Mac, Grand Métis, Bas-estuaire du Saint-Laurent, Québec, Canada. 8/1964 ; J.-C. DIONNE.
- 7-8-5 *Buttes.* *Thufurs.*
Kysyl-Su ; Alai. 1961. In SEKYRA, 1964.
- 7-9-1 *Dallage par gélifluxion et fluviation.* *Boulder pavement.*
Bassin du petit Bramant, massif des Rousses, Alpes, France. 8/1957 : L.-E. HAMELIN.

Chapitre huit : *Gélifluxion périglaciaire* (autre que celle mentionnée précédemment)

INTRODUCTION

En 1906, ANDERSSON a suggéré le terme de *solifluction*. Comme tel, le phénomène est universel ; dans les pays froids, il vaudrait mieux dire « solifluxion périglaciaire » ou « gélifluxion » (*congelifluction*, K. BRYAN, 1946 ; *congelifluction*, J. DYLIK, 1951 ; gélifluxion, Henri BAULIG, 1956). Gélifluxion ou gélifluxion. Le *head* (de LA BECHE, 1839) britannique est souvent un dépôt soliflué. La gélifluxion est un phénomène original qui se distingue de l'éboulis, de l'écroulement, du glissement à sec, du *creeping*, des grèzes et autres formations de pente.

La gélifluxion consiste en un déplacement lent sur pentes plutôt faibles d'une masse de matériaux saturés et comportant des éléments fins, sous l'action de divers processus « froids » ; le mouvement est le résultat de la diminution de la force de cohésion de la matière, affaiblissement causé par un changement dans la pression hydrostatique ; ce relâchement ne permet plus à la masse de retenir son propre poids. La solifluxion périglaciaire se fait en fonction des lignes de flux (qui ne correspondent pas nécessairement aux inclinaisons les plus fortes), de l'épaisseur de la couche dégelée, de la poussée venant de l'amont, de la quantité d'eau libre contenue dans le matériel, de l'efficacité des cycles gélivaux, de l'aptitude des matériaux à fluer sur des plans de glissement et tout cela malgré la retenue végétale. GUILLIEN a distingué la solifluxion « plastique » de la solifluxion « visqueuse ». En fait, les modes de gélifluxion sont multiples. De plus, en fonction du matériau, il y a une gélifluxion « minérale » et une gélifluxion « végétale » (voir « tourbières » réticulées).

Sur le plan topographique, les deux principaux groupes de formes sont 1° la « gélifluxion générale » (« amorphe », « uniformisante », en vaste nappe) et 2° la « gélifluxion locale » (ou en langues, loupes, coulées, terrasses et lobes individualisés). Généralement, les dépôts de gélifluxion se terminent par un bourrelet ou du moins un talus ; ce rebord est chevauchant, doublement convexe et ourlé de festons ou guirlandes.

La gélifluxion représente dans les aires périglaciaires un groupe de processus très actifs ; ceux-ci participent notamment à la polygonation et à la réticulation végétale ; ils sont associés étroitement à certains mécanismes de fluviatation et de nivation ; pour une part, ils expliquent les « niches-coulées ». De plus, le déplacement solifluidal se traduit en profondeur par une certaine turbation stratigraphique et moléculaire des matériaux. Mais la gélifluxion n'est pas le périglaciaire et ce mot ne peut être utilisé pour titrer une monographie traitant de tous les phénomènes « froids ».

Le mouvement en surface, très variable d'un point à l'autre, se fixe à quelques centimètres par an. Le rythme de la solifluxion périglaciaire n'est pas uniforme même à l'intérieur d'une seule saison froide ; le finival et la période de dégélisation superficielle lui sont le plus favorables. BÜDEL a distingué la solifluxion « saisonnière » de la solifluxion « épisodique » ; cette dernière intéresse une tranche plus épaisse de sédiments et elle ne se produit pas à intervalles réguliers. Au Quaternaire, en bordure des indlandsis, la gélifluxion a été très active.

Chapter eight : *Solifluction*

INTRODUCTION

The term "solifluction" was introduced by ANDERSSON in 1906 following studies of mass movement on Bear Island, Svalbard. He defined it as "the slow flowing from higher to lower ground of masses saturated with water." WASHBURN (1950) further defined it as "the viscous flowage by gravity of unhomogeneous material." Unconsolidated debris containing rocks, mud, clay and liberal amounts of water behaves as a plastic solid. Flowage sets in over the permafrost table when gravitational shear stress exceeds the yield limit of the mass, and ceases when the yield limit has increased above previous limits (as decrease in water content increases consistency of the material) or when stress has fallen below yield limit (because of mass reaching slope of smaller angle). Solifluction may take place on slopes of as little as two to three degrees. It is one of the more important denudational processes in high latitudes, although there has been a tendency in the past to overestimate it. Movement is slow, usually one or two inches (2-5 cm) a year, although the rate will vary according to gradient and structure of the ground. In addition, most of the movement is probably limited to a short period in the spring when water from snow and the melting active layer is available.

Undoubtedly the most important action of solifluction is the masking of the underlying topography, the rounding of hills, giving the periglacial landscape its smooth appearance. However, individual features are common: such as solifluction lobes where, because of variations in gradient, movement is more rapid in certain sections of the slope than elsewhere; solifluction fronts; terraces; stone rivers. It plays a part in the development of other forms, such as patterned ground.

Solifluction is bounded by definite climatic limits which, like the snowline rise toward the equator and from the coast inland the lower limit, for example is at approximately 4,000 feet (1,220 m) in northern Scandinavia, and at 8,000 feet (2,440 m) in the central Alps and the Balkans. It characterizes polar and sub-polar lands and high mountains in lower latitudes, and has a global distribution.

8-1 *Gélifluxion et fluviation*

Il n'est pas facile de déterminer la responsabilité respective des mouvements lents de masse et du fin ruissellement qui s'exercent en même temps au détriment de ces dépôts meubles, marins et littoraux ; il semble qu'au fininival la fluviation en filets l'emporte, alors qu'à la fin de l'été, avec l'épaississement du mollisol, la gélifluxion devient prépondérante.

8-1 *Solifluction flow*

The figure from the slope of Signal Hill, Resolute Bay, N.W.T., shows the burying of a series of beach ridges by solifluction flow; the process is assisted to a lesser degree by soil movement associated with fluvial action resulting from melting in the spring from snow accumulations at the foot of the cliff. Observations from near-by solifluction lobes indicate movement downslope of from one to two inches (2-5 cm) per year.

8-1-1

Modification d'anciennes lignes de rivage par la gélifluxion et la fluviatation périglaciaires.

Burying of beach ridges by solifluction and fluvial action.





8-2-1
Coulée avec blocs.

Solifluction slope with blocks.

8-2 *Nappes et coulées*

8-2-2. Sur une pente de 10 degrés, cette nappe est constituée d'une pâte de sable et de limon dans laquelle sont enchâssés des blocs de 50 cm environ. Les cailloux anguleux viennent d'une cuesta de quartzite située en amont. La descente libre, sans triage et généralisée, des matériaux uniformise en quelque sorte le versant. Le mouvement est cependant freiné par le fait que la base des blocs à 50 cm de profondeur est à peine libérée de l'étage supérieur du pergélisol. Dans ces conditions, la majorité des gélifracsts ne prennent pas facilement une orientation parallèle à l'axe principal d'inclinaison des terrains. La vitesse réduite du mouvement de descente permet l'installation d'une certaine figuration très superficielle.

8-2-3. Vers 2.700 mètres d'altitude. Le Houiller se défait en abondantes plaquettes qui s'amenuisent et qui se déplacent rapidement vers le bas en donnant un relief doux et régularisé. Matériel favorable au glissement sec.



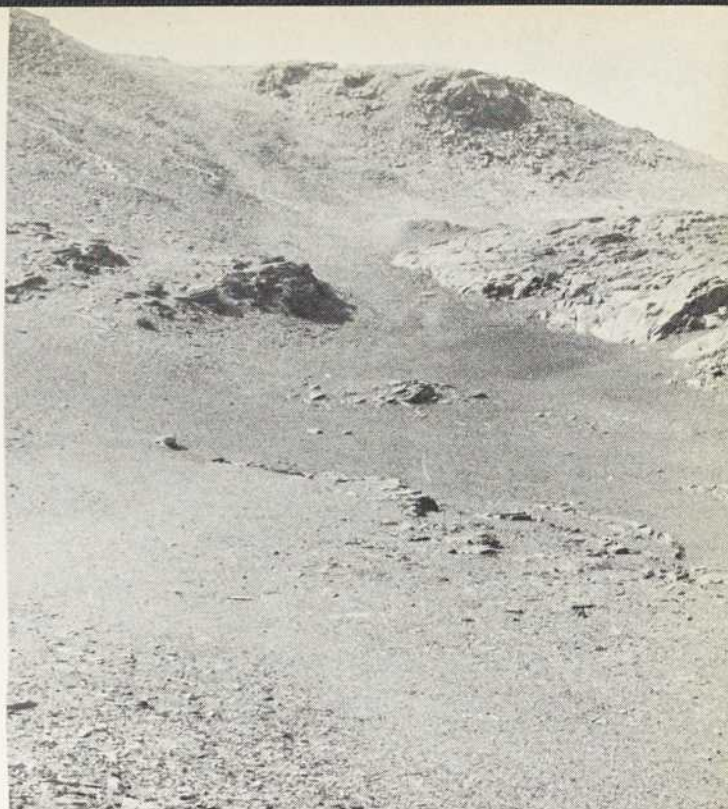
8-2-2
Nappe de gélifluxion.

Solifluction sheet under dissection.

8-2-3

*Fossilisation de chicots résiduels
de gélifraction par des plaquettes solifluées.*

Slide of plates.



8-2 Solifluction slopes

The first figure from southeastern Ellef Ringnes Island, N.W.T., shows a solifluction flow over a slight slope incorporating variously sized blocks. In this form of mass movement blocks weighting several hundreds of pounds, on even tons, can be carried downslope in the general flow. The second figure from the Hudson Strait area illustrates a solifluction sheet under active dissection by fluvial action which has produced many small coulees. The third figure from the eastern French Alps demonstrates an active feature: *i.e.* a mechanical flow of thin blocks over a fossil rock barrier.

8-2-4

*Solifluxion
de matériel
grossier.*

*Solifluction
and
gelifracts.*



8-3 *Profil de dépôts soliflués*

Le head — dépôts de couverture — est l'un des premiers phénomènes périglaciaires à avoir été décrits. Ici, une gangue pâteuse enveloppe de petits gélifracts ; l'ensemble de la formation montre une certaine irrégularité stratigraphique qu'expliquent le mode de mise en place et, peut-être, des géliturbations postérieures.

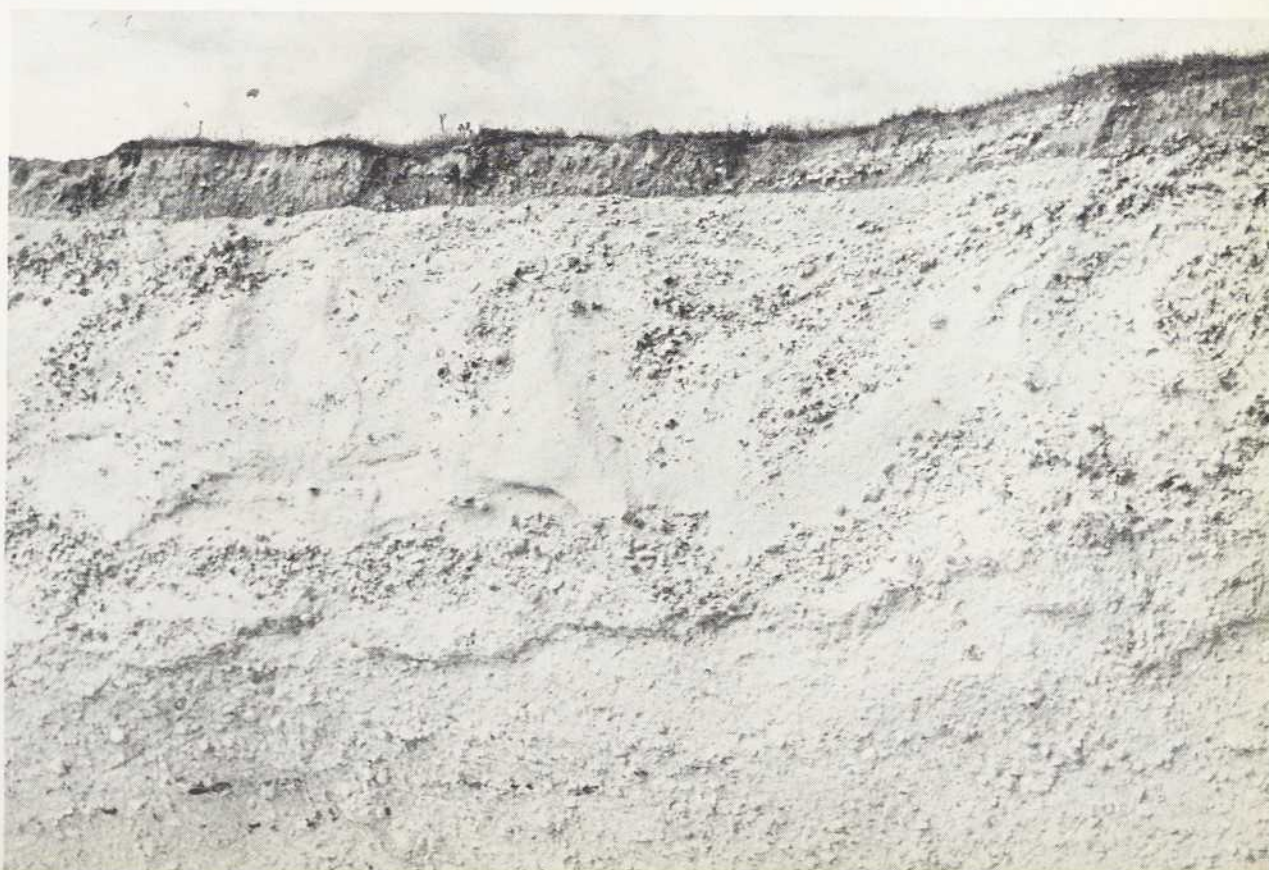
8-3 *Head deposits*

CHARLESWORTH (1957) has defined 'head' as an accumulation of local rocks, sharp and angular, which is coarse close to the hills but farther away becomes smaller and mixed with fine material. It spreads irregularly over low ground, sheeting the side of floors and valleys in areas of England which were ice-free during the later phases of Pleistocene glaciation. Its subaerial origin under cold solifluction conditions was early recognized and is proved by the angularity of its constituents and by distortions in the underlying strata.

Head probably originated during each major increase in the glacial cold and two horizons are known in Cornwall, England. It can be classed as a periglacial phenomenon related to solifluction.

8-3-1
*Coupe dans
le head.*

*Valley
infill-cliff
section through
the head.*



8-4 *Glacio-solifluxion*

L'expression de glacio-solifluxion, croyons-nous, vient de J. SEKYRA à propos du glissement de matériel hétérogène humide sur les glaciers fondants du Pamir (*Biuletyn Peryglacjalny*, n° 14). De tels déplacements des matériaux de surface se font à une vitesse beaucoup plus élevée que celle qui correspond à l'entraînement des dépôts par l'avancée du glacier lui-même. Généralement, le matériel ainsi évacué s'engouffre dans les crevasses. Un plan de glace, le dégel de la moraine, une granulométrie comportant des éléments fins, la présence d'eau et l'appel de la gravité sont des conditions essentielles.

En 8-4-1, le phénomène se produit à l'extrémité d'une langue glaciaire dans deux « entonnoirs de glissement » à fond sale et séparés par une crête étroite et rectiligne (située au centre de la photo) ; un homme dans le coin gauche donne l'échelle. Les matériaux de la moraine d'en haut se retrouvent en bas comme dépôts de solifluxion « visqueuse » quant à son type et « amorphe » dans sa topographie. De plus, cette masse solifluée peut être postérieurement lavée par des eaux de fonte. A la fin de cette évolution, les dépôts glaciaires ont perdu totalement leur structure originelle ; on ne peut donc plus parler de « moraine » frontale.

Le mécanisme de ces glissements morainiques sur glace de glacier ressemble beaucoup à celui des déplacements marginaux des dépressions thermokarstiques.

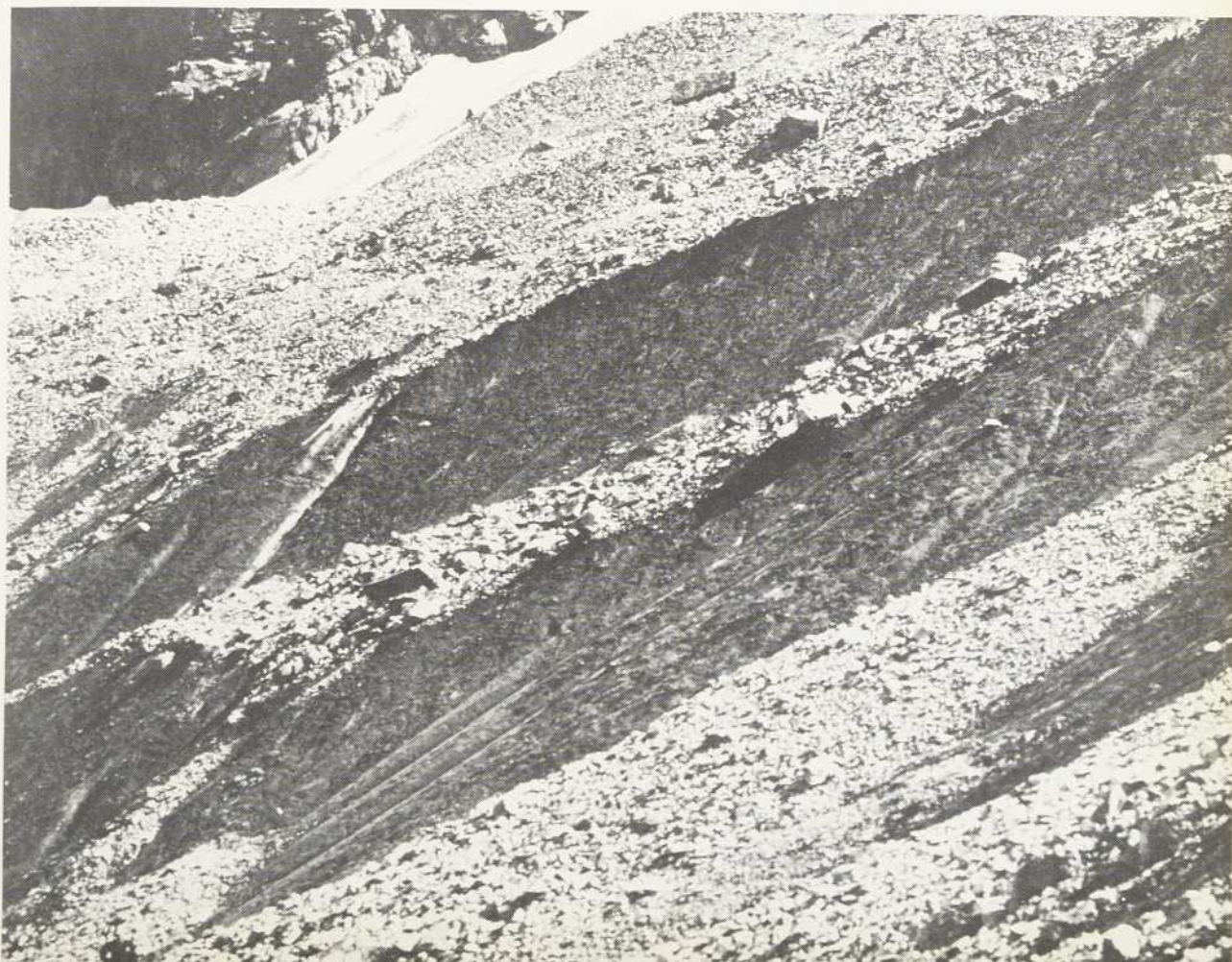
8-4 *Glacio-solifluction*

The definition concerning the sliding of heterogeneous material appears to have originated on melting glaciers in the Pamir (SEKYRA, 1964). This surface material advances at a greater speed than the corresponding movement of deposits by the advancing glacier itself. Generally, the material so carried slumps into crevasses, depositing much fine material, gravity and the presence of water being the essential conditions.

The above figure occurs at the extremity of a glacial tongue in two funnels separated by a narrow rectilinear ridge. The morainic material on top is found as viscous solifluction deposits at the bottom and is amorphous. It can be washed by melting waters and has lost its structure, so cannot be called a glacial deposit. It is thus an example of a periglacial deposit in the narrowest definition of the term (at the periphery of a glacier).

8-4-1
*Glissement
de dépôts
glaciaires.*

*Sliding
of moraine
on surface
in front
of glacier.*





8-5-1
Cours d'eau à berges festonnées.
River with cusped banks.

LOCALISATION
ET PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS

SOURCES
OF
FIGURES

- 8-1-1 *Modification d'anciennes lignes de rivage par la gélifluxion et la fluviatation péri-glaciaires.* *Burying of beach ridges by solifluction and fluvial action.*
Baie de Resolute, Cornwallis, Canada.
1955. In COOK, 1959.
- 8-2-1 *Coulée avec blocs.* *Solifluction slope with blocks.*
S.-E. d'Ellef Ringnes, Arctique insulaire, Canada. 25/6/1960 ; D. SAINT-ONGE.
- 8-2-2 *Nappe de gélifluxion.* *Solifluction sheet under dissection.*
Affluent, façade du détroit d'Hudson, Québec, Canada. 8/1963. In BIAIS, 1964.
- 8-2-3 *Fossilisation de chicots résiduels de gélifraction par des plaquettes solifluées.* *Slide of plates.*
Grande Lauzière, massif de Belledonne, Alpes occidentales, France.
25/8/1964 : L.-E. HAMELIN.
- 8-2-4 *Solifluxion de matériel grossier.* *Solifluction and gelifracts.*
Isthme d'Avalon, île de Terre-Neuve, Canada. 26/7/1966 ; L.-E. HAMELIN.
- 8-3-1 *Coupe dans le head.* *Valley infill-cliff section through the head.*
Birling Gap, près de Beachy Head, Sussex, Angleterre. 1963 ;
M. J. CLARK.
- 8-4-1 *Glissement de dépôts glaciaires.* *Sliding of moraine on surface in front of glacier.*
Glacier Noir. Versant sud des Alpes, France. 6/1964. In HAMELIN, 1965.
- 8-5-1 *Cours d'eau à berges festonnées.* *River with cusped banks.*
Véract (Gizzard). Nord de l'Abitibi, Canada. Aviation royale du Canada, n° A-11149-261.

Chapitre neuf : *Turbation périglaciaire* (autre que celle mentionnée précédemment)

INTRODUCTION

Au cours de leur histoire, les mots géliturbation et cryoturbation ont défini trois choses différentes. 1° Dans un sens très large, ils eurent la prétention d'exprimer le périglaciaire total. 2° Par ailleurs, certains auteurs ont utilisé cryo(ou géli)turbation pour ne désigner que l'action spécifique du gel dans le sol. 3° Enfin, dans le sens plus restreint que nous adoptons ici, ces mots peuvent s'appliquer aux dispositions stratigraphiques des dépôts mis en place ou remaniés dans des conditions périglaciaires ; il s'agit donc d'une vue en coupe et « interne » des phénomènes.

L'analyse sédimentologique complète est la meilleure méthode d'étude des « turbations froides ». Sur le terrain, les profils doivent montrer le phénomène dans ses trois dimensions.

Les turbations qui indiquent des déplacements de matière minérale fine ou végétale en toute direction et en tout sens (même inverse à la gravité) se traduisent par une multitude de « structures », simples ou compliquées : étirement, effilochage, déchiquetage, décrochement, circonvolution, courbure, fauchage, voire renversement des couches ; destruction ou même absence des horizons pédologiques ; redressement de blocs ; diffusion de matériaux (par exemple, de matière organique) ; gonflement de masse ; remplissage initial ou de remplacement. Les formes de turbation interne sont diverses : pli, loupe, cheminée, pilier, chaudron, coin, anneau, coupole, champignon.

Génétiquement, les types de turbations sont également nombreux. La plupart de ces phénomènes relevant d'anomalies dans la stratigraphie normale sont rattachés de près ou de loin à la présence de la glace pérenne dans le sol. Notons d'abord des turbations liées à l'englacement soit par des coins, soit par des champs, soit par les glaces d'injection ; ces dernières, mues par la pression gélistatique, donneront les cheminées si caractéristiques. Non moins originales, les turbations associées aux types de déglacement ; le remplissage des dépressions thermokarstiques créent des poches de dépôts dont le contenant, d'après des chercheurs hongrois, peut avoir la forme d'une « rôtissoire ». La glace dans le sol agit également dans les turbations liées à certains modes de polygonation et de gélifluxion (diffusion du matériel, dallage, loupes internes, plications fines). Il est probable que la transmission de l'onde saisonnière du froid atmosphérique produit à la surface supérieure du pergélisol (parfois, à 8 mètres de profondeur) de petits plis à grand rayon de courbure. Quand le ou les cycles de glace dans le sol sont terminés, le mollisol et même la couche plus profonde, qui n'est que partiellement touchée par les variations saisonnières de l'air, montrent des dispositions stratigraphiques qui ne sont plus originelles mais profondément perturbées.

Parmi les groupes génétiques de turbation périglaciaire qui n'exigent pas le pergélisol, il faut mentionner ceux qui sont reliés au gonflement vertical du sol par le gel, aux fissures de contraction sans glace, à d'autres manifestations des cycles gélivaux, au labourage d'icebergs sur de hauts fonds, aux avalanches.

Des cas particuliers se rapportent aux turbations créées par les glaciers eux-mêmes lorsqu'ils réavancent et bousculent leurs dépôts frontaux souvent gélisolés (glacio-turbation). Des phénomènes semblables se produisent lorsque les glaces flottantes, notamment le pack, envahissent les parties basses du littoral (« turbation glacielle »).

Chapter nine: *Congeliturvation (Frost churning)*

INTRODUCTION

A group of features result from congeliturvation or frost churning which generally do not have surface expression, but are apparent only with exposure of a vertical cross-section of the soil. These periglacial forms have received little attention in North America, although they have been extensively studied in Europe, especially in Poland, where fossil forms are abundant.

The forms are the result of differential movement within the soil, and may be due to a number of causes. Alternate freezing and thawing of water, for example, produces pressures in all directions and all varieties of ground affected

Les turbations constatées dans les pays froids ne sont pas toutes d'origine périglaciaire ; certaines ne sont dues qu'au déracinement brutal des arbres, à la simple solifluxion, à l'hydrographie sous-aquatique, au tassement pénécotemporain. Si, dans les couches, les turbations sont générales et, surtout, si elles sont accompagnées d'autres phénomènes périglaciaires indiscutables comme les polygones à coin de glace, l'on peut penser qu'il s'agit de déformations créées par le froid.

Les turbations les plus caractéristiques se rencontrent à la dimension même de l'aire périglaciaire mais surtout dans les régions à pergélisol et à profond mollisol. Elles sont également de tout âge comme peuvent l'indiquer des paléosols et les types syngénétiques ou épigénétiques des turbations elles-mêmes.

Les modifications stratigraphiques périglaciaires causent des problèmes aux archéologues en interférant parfois les séries chronologiques des outils.

Seuls quelques exemples sont donnés ici ; pour compléter, on se reportera particulièrement aux chapitres 1 et 7.

by it are stirred up or disturbed. Solifluction movement downslope is faster at the surface than at depth, and the differential movement produces drag folds and other forms, such as involutions and plications. The peripheral outside the glacier is subjected to intense periglacial activity, and the movement of the glacier may cause overturning or warping of frozen or unfrozen soil. Among features illustrated in this chapter are frost-heaved congelifraacts, involutions and injection plugs.

9-1 *Mouvements vers le haut*

9-1-1. A l'intérieur d'un polygone caillouteux à centre bombé, une plaque anguleuse a été redressée presque à la verticale. Cette disposition apparente à la surface, tout comme le triage, traduit généralement les dérangements stratigraphiques internes que la gélivation, sous toute forme, peut provoquer à l'intérieur du « sol » ; les gros éléments ont tendance à se superposer aux plus petits. Certaines pressions s'exercent d'abord à l'occasion de l'engel ; les modalités de celui-ci décident de déplacements verticaux et horizontaux qui dépassent le seul accroissement de volume pris par l'eau en gelant (SCHEIDEGGER). La simple remontée des cailloux par le gel fait dire au paysan des pays froids de moyenne latitude que les « pierres poussent ». A son tour, la libération provoquée par le dégel superficiel va favoriser des déchaussements, des dérangements, des relocalisations et des fluxions de matériel. Le redressement des blocs ne tient pas qu'aux cycles gélivaux mais à des conditions optimums d'humidité et de granulométrie ; on pense qu'il faut 4% d'éléments fins (diamètre inférieur à 0,074 mm) dans un mollisol pour que ce genre deurbation se produise le mieux. La répétition de ce cycle gélival et surtout le fait que l'engel et le dégel s'exercent d'une façon très différentielle dans le temps et dans l'espace restructurent le sol et expliquent en partie la figuration.

Des conditions très favorables aux injections (9-1-2) sont celles d'une coupe verticale montrant en surface le regel du mollisol, au centre des éléments fins, humides et encore libres et, en profondeur, un pergélisol rigide.

Tous les cailloux redressés ne sont pas d'origine périglaciaire ; sur les littoraux, certains le sont par les vagues (C. LAVERDIÈRE).



9-1-1
*Statue par
soulèvement gélival.*

*Frost-heaved
congelifrac.*

9-1 *Frost-heaved congelifRACTS*

Fragments resulting from congelifraction (frost-shattering) may range from very large blocks to finely-communited material. The individual fragments are called congelifRACTS.

The larger rock particles, especially if they are angular, lend themselves to frost-heaving as they have a maximum surface exposed to pressures set up during congeliturbation. They may be heaved and stand as individual blocks or sometimes encase forms of patterned ground as, for example, circles.

9-1-2

Cheminée d'injection.

Injection plug.



9-2 *Mouvements vers le bas*

L'analyse pédologique indique une pénétration d'éléments de la couche supérieure dans les horizons sous-jacents. Ce phénomène d'entraînement n'est peut-être pas périglaciaire.

9-2 *Involutions*

The above illustration from Surrey, England, is a typical example of involutions of the sack-like type. These are fossil periglacial forms. Formerly ice wedges, which have since been infilled with finer material, the involutions have a sack-like appearance, with the folds downward. Normally they occur in groups and are seen in newly exposed cuts or excavations where previously a polygonal network existed (since covered by till or other surface material).

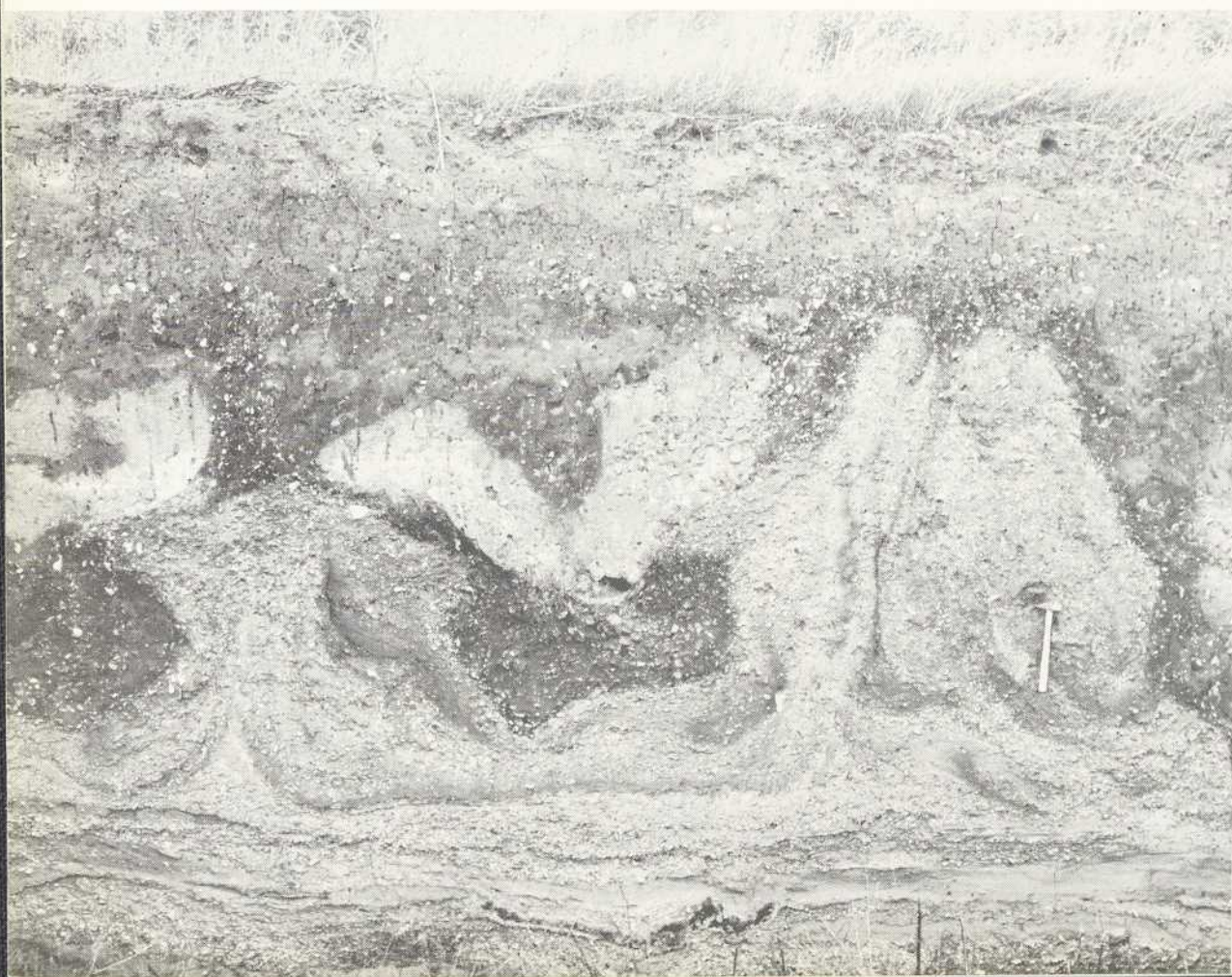
9-2-1
*Involutions
en sac.*

*Involutions of
sack-like type.*



9-3 *Mouvements multidirectionnels*

9-3-2. Cette coupe montre une injection subhorizontale, de droite vers la gauche, de matériel fin dans une masse hétérométrique amorphe. Les bandes foncées contiennent de l'humus venant d'un paléosol. Cette loupe ressemble à un pli couché comprenant étranglement au col, étirement du plan inférieur et dilatation à la périphérie supérieure. Un caillou est emprisonné à l'intérieur du noyau. Des « lamelles remplies » traversent le tout. Un paquet de cigarettes donne l'échelle. Cette (con)géfluxion daterait de la dernière période froide.



9-3-1
*Involutions
en champignon.*

*Involutions of
dumb-bell type.*

9-3-2
*Lobe interne
 dans des dépôts
 de « congélifluction ».*

*Internal lobe
 in solifluction deposits.*



9-3 Congeliturbation (*Frost churning*)

Congeliturbation has been suggested by BRYAN (1946) as a collective term to describe all movement due to frost action. It is synonymous with cryoturbation. It includes frost-heaving and all differential and mass movement. Congeliturbation is one of the most important processes in periglacial geomorphology and is intimately connected with all phenomena resulting from periglacial processes.

9-3-3
*« Involutions » dans
 les dépôts de la
 Trainée mosane.*

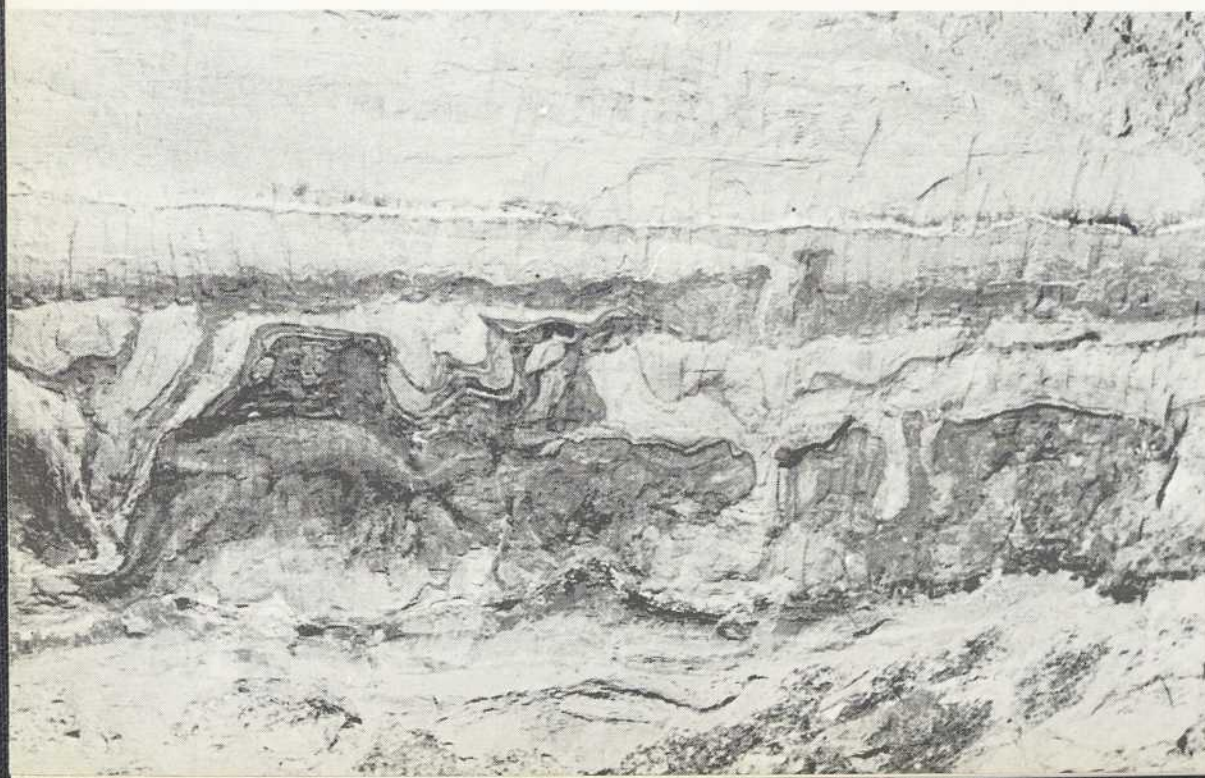
*Involutions in
 stripe deposits.*



En 9-3-3 et 9-3-4, on note que des couches à peine déformées recouvrent des dérangements situés en profondeur ; géliturbation probablement syngénétique.

En général, le plafond souvent tronqué de la couche géliturbée est plus horizontal que son plancher ; en dehors des turbations par injection, on constate aussi une diminution de l'intensité des déformations en profondeur.

9-3-4
« Cryoturbations » dans des sables rissiens cimentés
et comportant de minces intercalations d'argile.



*Cryoturbations
in Riss sands,
cemented and
composed of
intercalations
of clay.*

All materials moved by frost action are moved differentially, and movement may be in any direction, up, down or sideways. The actual processes are not fully understood. Low temperatures themselves are not enough to produce congeliturbation ; the presence of water is necessary. It has been shown that a body of freezing ground, provided with capillary pores and connected to unfrozen water-bearing ground, will attract moisture and ice will crystallize in layers and masses. Expansion of the frozen layer ensues and results in thrusts in all directions. Both horizontal and vertical pressures are set up and heaving and sorting occur.

9-3-5
*Involutions dans
du matériel éolien
et glaciaire.*

*Involutions
in gravel
and wind deposits.*



9-4 *Glacio-turbation*

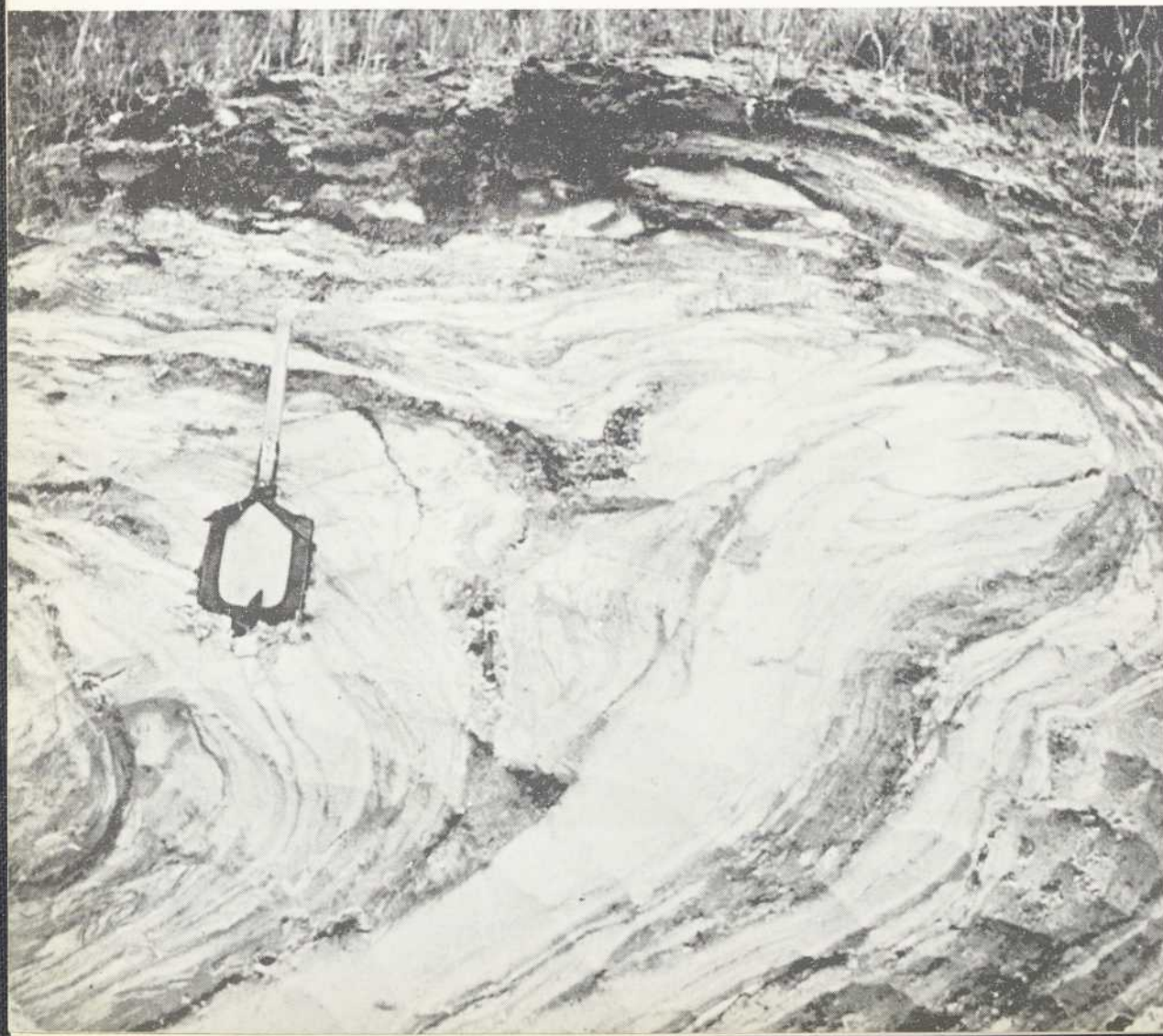
En 9-4-1, des sables et argiles miocènes ont été bousculés par la glaciation continentale rissienne.

De telles manifestations de « glacitectonique » ou « pseudotectonique » ou « géli(cryo)tectonique » ou mieux de glacio-turbation se rencontrent en bordure latérale et frontale des glaciers (même sous eux), surtout des glaciers de type polaire. Elles sont étroitement associées aux « bourrelets de poussée glaciaire ». On constate que des masses de dépôts ont été basculées, renversées, plissées et charriées ; certaines couches sont étirées, dilatées, télescopées, cassées ou tronquées. La « glacitectonique » déplace même de la glace dans le sol (Bas-Mackenzie, d'après MACKAY, 1964). La structure finale devient donc très compliquée. Le style des modifications stratigraphiques de même que l'ampleur des dérangements causés par les glaciers permettent de distinguer les turbations d'origine glaciaire de celles qui ont une autre genèse.

Conditions de glacio-turbation : état de gélisation récente ou plurannuelle des matériaux frontaux, avance ou récurrence glaciaire. RUTTEN ajoute qu'en Allemagne du Nord la progression de la glace se faisait à contre-pente.

En plus des exemples anciens dont certains sont antérieurs à la toute dernière glaciation, des glacio-turbations presque actuelles ont été observées notamment au front des glaciers de Thompson (9-4-2) au Canada et de Penck au Spitzberg.

Périglaciaire de stricte situation.



9-4-1
*Structure
consécutive à
une progression
glaciaire.*

*Deranged
stratigraphy due
to movement
of glacier (fossil).*

9-4 *Deranged stratigraphy*

Glacio-tectonic, or more precisely, cryotectonic features, are found at the border of glaciers, especially polar type glaciers. They are narrow glacially-shoved ridges consisting of masses of deposits that have been overturned, inverted, folded and transported; the beds being extended, contracted, telescoped, broken or truncated. The final structure is thus very complicated.

The first figure from Poland was formed during the last glacial advance and may be considered fossil. The last figure from the Thompson Glacier on Axel Heiberg Island, N.W.T., Arctic Canada, is presently being formed and is thus an active periglacial feature.

9-4-2
Glacio-turbation.

*Deranged stratigraphy at
border of active glacier.*



LOCALISATION
ET PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS

SOURCES
OF
FIGURES

- 9-1-1 *Statue par soulèvement géolival.* *Frost-heaved congelifracts.*
Resolute, Cornwallis, Arctique insulaire, Canada. 1960 ; Direction de la Géographie, Ottawa ; F. A. COOK.
- 9-1-2 *Cheminée d'injection.* *Injection plug.*
Terrasses du Danube, Autriche. 4/1964 ; L.-E. HAMELIN.
- 9-2-1 *Involutions en sac.* *Involutions of sack-like type.*
Guilford, Surrey, Grande-Bretagne, 5/1964 ; R. B. G. WILLIAMS.
- 9-3-1 *Involutions en champignon.* *Involutions of dumb-bell type.*
Angleterre méridionale. Commission géologique de Grande-Bretagne, n° A5312. « By Permission of Her Majesty's Stationery Office ».
- 9-3-2 *Lobe interne dans des dépôts de «congélifluction».* *Internal lobe in solifluction deposits.*
Góra Małgorzaty, près de Łęczycza, Pologne, 1960 ; J. DYLIK.
- 9-3-3 *« Involutions » dans les dépôts de la Trainée mosane.* *Involutions in stripe deposits.*
Carrière de Vincel, Monz-lez-Liège, Belgique. 1948 ; P. MACAR. In VAN LECKWIJCK et MACAR, 1949.
- 9-3-4 *« Cryoturbations » dans des sables rissiens cimentés et comportant de minces intercalations d'argile.* *Cryoturbations in Riss sands, cemented and composed of intercalations of clay.*
Dammheim, N.-E. de Landau, Palatinat, Allemagne. C. TROLL.

- 9-3-5 *Involutions dans du matériel éolien et glaciaire.* *Involutions in gravel and wind deposits.*

Rive nord de Pawcatuk, S.-E. de
North Storrington, Connecticut,
U.S.A., 30/8/1956 ; J. P. SCHAFER.

- 9-4-1 *Structure consécutive à une progression glaciaire.* *Deranged stratigraphy due to movement of glacier (fossil).*

Région de Rejowiec-Pawłów, Pologne,
Europe centrale. 25/9/1958.
In HAMELIN, 1965.

- 9-4-2 *Glacio-turbation.* *Deranged stratigraphy at border of active glacier.*

Bordure du glacier Thompson, Axel
Heiberg, Arctique insulaire, Canada.
6/1960 ; Direction de la Géographie.
In ROBITAILLE et GREFFARD, 1962.



BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

SELECTED BIBLIOGRAPHY

Liste des abréviations et des sigles — List of abbreviations

AAAG	<i>Annals, Association of American Geographer.</i>
AG	<i>Annales de Géographie, Paris.</i>
AGS	American Geographical Society.
AIHS	<i>Association internationale d'Hydrologie scientifique (International Association of Scientific Hydrology).</i>
AINA	Arctic Institute of North America.
AJS	<i>American Journal of Science.</i>
AS	Academy of Sciences. Académie des Sciences.
ASGB	<i>Annales de la Société géologique de Belgique.</i>
BAGF	<i>Bulletin de l'Association de géographes français.</i>
BGSA	<i>Bulletin of the Geological Society of America.</i>
BP	<i>Biuletyn Peryglacjalny.</i>
Bull.	Bulletin.
CDU	Centre de Documentation universitaire, Paris.
CG — GC	<i>The Canadian Geographer — Le Géographe canadien.</i>
CGP	Commission de Géomorphologie périglaciaire, Union géographique internationale.
CGQ	<i>Cahiers de géographie de Québec.</i>
CNFRA	Comité national français pour les Recherches antarctiques.
Conf.	Conférence — Conference.
CR	Comptes rendus.
CRREL	Cold Regions Research and Engineering Laboratory.
DMTS	Department of Mines and Technical Surveys (Ministère des Mines et des Relevés techniques).
Éd. — Ed.	Éditeur — Edited by.
Eng.	Engineering.
EPF	Expéditions polaires françaises.
Ex.	Extrait — Excerpt.
GB	<i>Geographical Bulletin, Ottawa.</i>
GBR	Geographical Branch (Direction de la Géographie).
Géogr. — Geog.	Géographie — Geography.
Géol. — Geol.	Géologie — Geology.
GJ	<i>Geographical Journal.</i>
GM	<i>Geological Magazine.</i>
GP	<i>Geographical Paper (Étude géographique).</i>
GR	<i>Geographical Review.</i>
GSA	<i>Geological Society of America.</i>
GSC	Geological Survey of Canada (Commission géologique du Canada).

INQUA	<i>International Quaternary.</i>
Inst.	Institut — Institute.
Int.	International.
JG	<i>Journal of Geology.</i>
Man.	Manuscrit — Manuscript.
Mém. — Mem.	Mémoire — Memoir.
Min.	Ministère.
NAS — NRC	National Academy of Sciences — National Research Council (Washington).
NRCC	National Research Council of Canada — Conseil national des Recherches.
NZ	Nouvelle-Zélande — New Zealand.
P.	Page.
Proc.	Proceedings.
Publ. — Pub.	Publications.
RCG et RGM	<i>Revue canadienne de Géographie, Montréal, devenue Revue de Géographie de Montréal.</i>
Rept.	Report.
RGA	<i>Revue de Géographie alpine.</i>
RGD	<i>Revue de Géomorphologie dynamique, Strasbourg.</i>
RGL	<i>Revue de Géographie de Lyon.</i>
RGPGD	<i>Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique.</i>
RGPSO	<i>Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest.</i>
Roy. Soc.	Royal Society.
Sc.	Sciences.
Sect. — Sec.	Section.
Sér. — Ser.	Série — Series.
SGF	Société géologique de France, Paris.
SIPRE	Snow, Ice, Permafrost Research Establishment.
Soc.	Société — Society.
T.	Tome.
Trans.	Transactions (mémoires, travaux).
Un.	Université — University.
USA	United States of America.
USGS	<i>United States Geological Survey.</i>
USSR	Union of Socialist Soviet Republics.
Vol. — V.	Volume.
ZG	<i>Zeitschrift für Geomorphologie.</i>

1. AITKEN, G. W. *Ground-temperature observations at Big Delta, Alaska*. CRREL, Hanover, USA, 1964. 15p.
2. ALIMEN, H. *Le Quaternaire des Pyrénées de la Bigorre*. Mém. Carte géol. détaillée de la France, 1964. 286p.
3. AKADEMIYA NAUK USSR. *Principles of geocryology*. By A. P. TYRTIKOV, P. F. SHVETSOV, P. A. SHUMSKII, I. BARANOV, V. M. PONOMAREV, N. I. TOLSTIKHIN, S. P. KACHURIN, G. A. MARTYNOV, N. A. TSYTOVICH, V. A. KUDRYAVTSEV and *al.*, 8 vol., translated by National Research Council of Canada, Ottawa, 1963-1965.
4. ALEXANDRE, J. « Le modelé quaternaire de l'Ardenne Centrale ». *ASGB*, 81, 1958 : M213-331.
5. ALEXANDRE, J. « Phénomènes périglaciaires dans le Basoutoland et le Drakensberg du Natal ». *BP*, 11, 1962 : 11-15.
6. ALLIX, A. « L'action morphologique de la glace et celle des coulées de neige ». *Mélanges Bénévent*, Aix, 1954 : 11-17.
7. ANDERSSON, J. G. « Solifluction, a component of subaerial denudation ». *JG*, 14, 1906 : 91-112.
8. ANDREWS, J. T. « The development of scree slopes in the English Lake District and central Québec-Labrador ». *CGQ*, 10, 1961 : 219-230.
9. ANDREWS, J. T. « So called « Vallons de gélivation » in central Labrador-Ungava ». *BP*, 12, 1963 : 137-143.
10. *Antarctic soils and soil forming processes*. Antarctic Research Series. Vol. 8, Washington, 1966. 200p.
11. ARCTIC INSTITUTE OF NORTH AMERICA. *Arctic bibliography*. AINA, Montréal, 11 vol.
12. AVENARD, J. M. *La solifluxion*. CDU, Paris, 1961. 164p.
13. BAECKEROOT, G. « Le système niche-coulée et son rôle dans la formation du modelé (Monts de Lacauze et Sidobre de Castres) ». *BAGF*, 265-266, 1957 : 40-48.
14. BARANOV, I. J. « Problems of zonal relationships in the development of permafrost ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 178-180.
15. BARANOV, I. J., KUDRYAVTSEV, V. A. « Permafrost of Eurasia ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 98-102.
16. BAULIG, H. *Vocabulaire franco-anglo-allemand de géomorphologie*. Paris, 1956. 230p.
17. BENNINGHOFF, W. S. « Relationships between vegetation and frost in soils ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 9-13.
18. BIAYS, P. *Observations préliminaires sur la morphologie périglaciaire de la côte québécoise du détroit d'Hudson*. Un. de Rennes, 1964. 189p. man.
19. BIRD, J. B. « Recent contributions to the physiography of northern Canada ». *ZG*, 2, 1959 : 151-174.
- 19a. BIRD, J. Brian. *The Physiography of Arctic Canada with special reference to the Area South of Parry Channel*. The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1967. 336p.
20. BIROT, P. « Le cycle d'érosion en climat périglaciaire ». In *Le cycle d'érosion sous les différents climats*, Rio de Janeiro, Brasil, 1960 : 127-136.
21. BLACK, R. F. « Permafrost — a review ». *BGSA*, 65, 1954 : 839-856.
22. BLACK, R. F. « Les coins de glace et le gel permanent dans le nord de l'Alaska ». *AG*, 391, LXXII, 1963 : 257-271.
23. BLACK, R. F. « Periglacial studies in the United States, 1959-1963 ». *BP*, 14, 1964 : 5-31.
24. BLACK, R. F., BERG, T. E. « Patterned ground in Antarctica ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 121-128.
25. BOURDIER, F. *Le bassin du Rhône au Quaternaire*. Paris, 1962, 2 vol., 364p. et 295p.
26. BOUT, P., CORBEL, J., DERRUAU, M., GARAVEL, L., PÉGUY, Ch. P. « Géomorphologie et glaciologie en Islande Centrale ». *Noröis*, 8, 2, 1955 : 461-575.

27. BOYÉ, M. *Glaciaire et périglaciaire de l'Ata Sund nord-oriental, Groenland*. Hermann, Paris, 1950. 176p.
28. BROCHU, M. « Canada ». *BP*, 4, 1956 : 9-15.
29. BROCHU, M. *Déplacement de blocs par la glace le long du Saint-Laurent*. DMTS, GP, Ottawa, 1961. 27p.
30. BROCHU, B. « Essai de définition des grandes zones périglaciaires du globe ». *ZG*, 8, 1964 : 32-39.
31. BROWN, J. *Soils of the Okpilak river region, Alaska*. US, CRREL, Hanover, 1966, 49p.
32. BROWN, R. J. E. « The distribution of permafrost and its relation to air temperature in Canada and the USSR ». *Arctic*, 13, 1960 : 163-178.
33. BROWN, R. J. E. « Influence of vegetation on permafrost ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 20-25.
34. BROWN, R. J. E. « Relation between mean annual air and ground temperatures in the permafrost region of Canada ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 241-247.
35. BRÜNING, H. *Vorkommen und entwicklungsrythmus oberpleistozäner periglazialerscheinungen und ihr wert für pleistozäne hangformung*. Forschungen zur deutschen Landeskunde. Band 156, Bad Godesberg, 1966, 97p.
36. BRUNNSCHWEILER, D. « The periglacial realm in North America during the Wisconsin glaciation ». *BP*, 11, 1962 : 15-27.
37. BRYAN, K. « Glacial climate in non-glaciated regions ». *AGS*, 16, 1928 : 162-164.
38. BRYAN, K. « Cryopedology — the study of frozen ground and intensive frost action with suggestions on nomenclature ». *AGS*, 244, 1946 : 622-642.
39. BÜDEL, J. « Die klima-morphologischen zonen der palärländer ». *Erdkunde*, 2, 1948 : 22-53.
40. BÜDEL, J. « Die... periglazialen... Mitteleuropa ». CR, INQUA, Wien, 1936.
41. BÜDEL, J. « The « periglacial » morphologic effects of the pleistocene climate over the entire world ». *Int. Geology Review*, 1, 1959 : 1-16.
42. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*. Paris, 1964-.
43. BUTRYM, J. et al. *New interpretation of « periglacial structures »*. Folia Quaternaria, Krakow, 1964. 34p.
44. CAILLEUX, A. « Les actions éoliennes périglaciaires en Europe ». *SGF*, Mém. 46, 1942 : 1-176.
45. CAILLEUX, A. *Études de géologie au détroit de McMurdo (Antarctique)*. CNFRA, Paris, 1, 1962. 41p.
46. CAILLEUX, A. et al. « Observations et études à l'Itatiaia (Brésil) ». *ZG*, 1, 1957 : 277-312.
47. CAILLEUX, A., CALKIN, P. « Orientation of hollows in cavernously weathered boulders in Antarctica ». *BP*, 12, 1963 : 147-150.
48. CAILLEUX, A., HAMELIN, L.-E. « Périglaciaire actuel sur le littoral du Bic (Bas Saint-Laurent, Canada) ». *CGQ*, 23, 1967 (sous presse).
49. CAILLEUX, A., TAYLOR, G. *Cryopédologie...* Hermann, Paris, 1954. 218p.
50. CANADA, GEOGRAPHICAL BRANCH, DEPARTMENT OF MINES. « Glaciology in the Geographical Branch 1961-65. La glaciologie à la Direction de la Géographie, 1961-65 ». *GB*, 8, 1, 1966 : 3-112.
51. CAPELLO, C. F. *Terminologia e sistematica dei fenomeni dovuti al gelo discontinuo*. Pubblicazioni della Facoltà di Magistero, Università di Torino, 1960. 320p.
52. CAPELLO, C. F. *Le morfologie crionivali (periglaciali) nelle Alpi Graie Meridionali italiane*. Pubblicazioni dell'Istituto di Geografia Alpina, 3, 1963. 126p.
53. CARSON, C. E., KEITH, M. H. « The oriented lakes of arctic Alaska ». *JG*, 70, 1962 : 417-439.

54. CHAMBERS, M. J. G. « Investigations of patterned ground at Signy island, south Orkney islands : I. Interpretation of mechanical analyses ». *British Antarctic Survey Bull.* 9, 1966 : 21-40 ; II. « Temperature Regimes in the Active Layer ». *Ibid.* 10, 1966 : 17-83 ; « Miniature Patterns Frost Heaving and General Conclusions », *Ibid.* 12, 1967 : 1-22.
55. CHARLESWORTH, J. K. *The quaternary era*. Arnold, London, 1957, 2 vol. 1601p.
56. CLAYTON, K. M., ed. *Geo abstracts. A-Geomorphology*. 1960-.
57. CLAYTON, K. M., ed. *A bibliography of british geomorphology*. British Geomorphological Research Group, London, 1964. 211p.
58. COMMISSION DE GÉOMORPHOLOGIE PÉRIGLACIAIRE — UNION GÉOGRAPHIQUE INTERNATIONALE. *Rapport de Congrès*. Washington, 1952, 24p. — *BP*, 4, 1956 : 5-169 ; 11, 1962 : 5-360 ; 14, 1964 : 5-110. (Français ou anglais.)
59. COMMISSION DE GÉOMORPHOLOGIE PÉRIGLACIAIRE. *Colloque sur le périglaciaire pré-wurmien*. Liège, 1959. *BP*, 9, 1960. 197p. Colloque organisé par P. Macar.
60. COMMISSION DE GÉOMORPHOLOGIE PÉRIGLACIAIRE. *Compte rendu de la réunion... octobre 1959*. Université Mohammed V, Rabat, Maroc. 168p.
61. CONSEIL NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. *Spitsberg 1964 et premières observations 1965*. Audin, Lyon, 1966. 350p.
62. COOK, F. A. « Temperatures in permafrost at Resolute, N.W.T. ». *GB*, 12, 1958 : 5-18.
63. COOK, F. A. « Sorted circles at Resolute, N.W.T. ». *GB*, 11, 1958 : 78-81.
64. COOK, F. A. « A review of the study of periglacial phenomena in Canada — Revue des études canadiennes de périglaciaire ». *GB*, 13, 1959 : 22-53.
65. COOK, F. A. « Some types of patterned ground in Canada ». *GB*, 13, 1959 : 73-81.
66. COOK, F. A. « Periglacial research in Canada : 1954-63. A selected bibliography ». *BP*, 14, 1964 : 31-41.
67. COOK, F. A. « Patterned-ground research in Canada ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 128-130.
68. COOK, F. A., RAICHE, V. G. « Freeze-thaw cycles at Resolute, N.W.T. ». *GB*, 18, 1962 : 67-78.
69. COOK, F. A., RAICHE, V. G. « Simple transverse nivation hollows at Resolute, N.W.T. ». *GB*, 18, 1962 : 79-85.
70. CORBEL, J. *Sols polygonaux et « terrasses marines » du Spitzberg*. Ex. *RGL*, XXIX, 1954. 28p.
71. CORBEL, J. « Climats et morphologie dans la Cordillère canadienne ». *RCG*, XII, 1958 : 15-47.
72. CORBEL, J. « Les karsts de l'Est canadien ». *CGQ*, 4, 1958 : 193-216.
73. CORBEL, J. « Morphologie périglaciaire dans l'Arctique ». *AG*, 377, LXX, 1961 : 1-24.
74. CORTE, A. E. *Relationship between four ground patterns, structure of the active layer, and type and distribution of ice in permafrost — Thule, Greenland*. CRREL, Hanover, USA, 1962. 79p.
75. COTTON, C. A., TE PUNGA, M. T. « Solifluction and periglacially modified landforms at Wellington, New Zealand ». *Trans. Roy. Soc. NZ*, 82, 1955 : 1001-1031.
76. CRAIG, B. C., FYLES, J. G. *Pleistocene geology of a arctic Canada*. DMTS, GSC, Ottawa, 10, 1960. 21p.
77. COLD REGIONS RESEARCH AND ENGINEERING LABORATORY. *Bibliography on snow, ice and permafrost with abstracts*. CRREL, Hanover, N. H., rept. 12, 1964. 273p.
78. CURREY, D. R. « A preliminary study of valley asymmetry in the Ogotoruk creek area, northwestern Alaska ». *Arctic*, 17, 2, 1964 : 85-98.
79. CZEPE, Z. *Roczny przebieg mrozowych Ruchów Gruntu (Spitsbergen) 1957-1958*. Krakow, 1961. 74p.

80. CZUDEK, T. « Periglacial slope development in the area of the Bohemian Massif in northern Moravia ». *BP*, 14, 1964 : 169-193.
81. DAHL, R. « Block fields and other weathering forms in the Narvik mountains ». *Geografiska Annaler*, 48, Ser. A, 1966 : 224-227.
82. DE JONG, J. D. « Quaternary sedimentation in the Netherlands ». *GSA*, Special Paper, 84, 1965 : 95-123.
83. DE MARTONNE, Emm. « Le rôle morphologique de la neige en montagne ». *La Géographie*, Paris, 11, 1920 : 255-267.
84. DEMEK, J. « Castle koppies and tors in the Bohemian Highland (Czechoslovakia) ». *BP*, 14, 1964 : 195-216.
85. DE QUERVAIN, M. R. « Avalanche classification ». *AIHS*, tome IV (neiges et glaces), Gentbrugge, 1958 : 387-392.
86. DERRUAU, M. *Précis de géomorphologie*. Masson, Paris, 1956. 393p.
87. DERRUAU, M. « Les formes périglaciaires du Labrador-Ungava central comparées à celles de l'Islande centrale ». *RGD*, VII, 1956 : 12-16.
88. DINES, H. G. *et al.* « The mapping of head deposits ». *GM*, 77, 1940 : 198-226.
89. DIONNE, J.-C. « Note sur les blocs d'estran du littoral sud du Saint-Laurent ». *CG-GC*, VI, 2, 1962 : 69-77.
90. DIONNE, J.-C. « Formes de cryoturbation fossiles dans le sud-est du Québec ». *CGQ*, 19, 1966 : 89-100.
91. DOV NIR. « Indices de gélivation récente et pléistocène en Israël ». *BP*, 12, 1963 : 161-165.
92. DRESCH, J. « Observations sur les formes périglaciaires dans le massif d'Elbourz et son piémont au nord de Téhéran ». *BP*, 10, 1961 : 97-104.
93. DYLIK, J. « Some periglacial structures in pleistocene deposits of Middle Poland ». *Bull. Soc. Sc. Lettres de Łódź*, 3, 2, 1951.
94. DYLIK, J. « Esquisse des problèmes périglaciaires en Pologne ». *BP*, 4, 1956 : 57-71.
95. DYLIK, J. « Coup d'œil sur la Pologne périglaciaire ». *BP*, 4, 1956 : 195-238.
96. DYLIK, J. « Rhythmically stratified slope waste deposits ». *BP*, 8, 1960 : 31-42.
97. DYLIK, J. « Problèmes périglaciaires de Hongrie ». *BP*, 1963, 12 : 91-110.
98. DYLIK, J. « Le thermokarst, phénomène négligé dans les études du pléistocène ». *AG*, 399, 1964 : 513-524.
99. DYLIK, J. « Éléments essentiels de la notion de « périglaciaire ». Réponse à l'enquête ». *BP*, 14, 1964 : 111-133.
100. DYLIK, J. « Traces fossiles de l'évolution descendant des polygones de fentes de gel ». *Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, Deel LXXXIII, 3, 1966 : 227-237.
101. DYLIK, J., RAYNAL, R. « Programme de travail de la Commission de géomorphologie périglaciaire ». *BP*, 6, 1958 : 177-193.
102. DYLIKOWA, A. « Notion et terme « périglaciaire » ». *BP*, 11, 1962 : 149-163.
103. DYLIKOWA, A. « État des recherches périglaciaires en Pologne ». *BP*, 14, 1964 : 41-60.
104. EAKIN, H. « The Yukon-Koyukuk region, Alaska ». *USGS*, bull. 631, 1916 : 76-82.
105. EDELMAN, C. H. « Periglaciaire verschijnselen in Nederland ». *Ned. Nad. Geneesk. Congrès*, 247, 1939.
106. ELSON, J. A. « Lake Agassiz and the Mankato-Valders problem ». *Science*, 126, 1957 : 999-1002.
107. ENJALBERT, H. « La vallée moyenne de la Charente. Esquisse géomorphologique ». *AG*, Paris, 61, 1952 : 16-33.
108. EVERETT, K. R. « Instruments for measuring mass-wasting ». *Proc. Permafrost Int. Conf.* at Purdue, NAS-NRC, Washington, 1965 : 136-139.

109. FEDEROFF, N. « Les sols du Spitsberg occidental... ». Ex. de *Spitsberg 1964*, CNRS, Paris, 1965 : 111-228.
110. FÉNELON, P. « Le modelé périglaciaire en Périgord (France) ». *BP*, 11, 1962 : 35-48.
111. FINK, J. « The Pleistocene of Eastern Austria ». *GSA*, Special Paper, 84, 1965 : 179-199.
112. FITZPATRICK, E. A. « Progress report on the observations of periglacial phenomena in the British Isles ». *BP*, 4, 1956 : 99-115.
113. FLINT, R. F. « Frozen-ground phenomena ». *Glacial and pleistocene geology*, New York, 1956 : 195-207.
114. FLINT, R. F. « The pliocene-pleistocene boundary ». *GSA*, Special Paper, 84, 1965 : 497-533.
115. FLINT, R. F., DENNY, C. S. « Quaternary geology of Boulder Mountain, Aquarius Plateau, Utah ». *USGS*, bull. 1061-D, 1958 : 103-164.
116. FORTIER, Y. O. *et al.* *Geology of the north-central part of the arctic Archipelago, N.W.T. (operation Franklin)*. DMTS, Ottawa, Mem. 320, 1963. 671p.
117. FRANZLE, O. « Glaziale und periglaziale formbildung un östlichen kastilischen scheidegebirge (Zentralspanien) ». *Bonner Geographische Abhandlungen*, 26, 1959 : 1-80.
118. FRASER, C. *The avalanche enigma*. John Murray, London, 1966. 301p.
119. FRASER, J. K. « Freeze-thaw frequencies and mechanical weathering in Canada ». *Arctic*, 12, 1, 1959 : 40-53.
120. FROST, R. E., McLERRAN, J. H., LEIGHTY, R. D. « Photointerpretation in the Arctic and Subarctic ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 343-348.
121. FRYE, J. C. *et al.* « Late pleistocene loesses of Midwestern United States of America ». *BP*, 12, 1963 : 111-119.
122. GABERT, P. *Les plaines occidentales du Pô et leurs piedmonts*. Gap, 1962. 531p.
123. GADBOIS, P., LAVERDIÈRE, C. « Esquisse géographique de la région de Floeberg Beach, nord de l'île Ellesmere ». *GB*, 6, 1954 : 17-44.
124. GAJDA, R. T. « Cryoconite phenomena on the Greenland ice cap in the Thulé area ». *CG-GC*, 12, 1958 : 35-44.
125. GALLOWAY, R. F. « Ice wedges and involutions in Scotland ». *BP*, 10, 1961 : 169-193.
126. GALON, R. « On the geomorphology of Northern Poland ». *Geographica Polonica*, 1, 1964 : 23-39.
127. GARNIER, H. « Contribution à l'étude des gelées en France ». *La Météorologie*, 1954 : 369-378.
128. GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA. *Application of geology to engineering practice*. GSA, 1962. 330p.
- 128a. *Geographical Abstracts A, Geomorphology*. London, 1960-.
129. GRIGORIEV, N. [*Frozen ground of the northern Yakutia*]. Moscou, 1966. 180p. (En russe.)
130. GUILLIEN, Y. « Les grèzes litées de Charente ». *RGPSO*, 22, 1951 : 154-162.
131. GUILLIEN, Y. « De quelques données sur les périodes froides du Pléistocène français : carte, commentaire ». *BAGF*, 265-266, 1957 : 21-40.
132. GUILLIEN, Y. « Néoglaciale et Tardiglaciale : géochimie, palynologie, préhistoire ». *AG*, 383, 1962 : 1-35.
133. GULLENTOPS, F. « Quelques indices de cycles climatiques au Pléistocène inférieur et moyen en Belgique ». *BP*, 9, 1960 : 91-97.
134. HAEFELI, R. « Creep and progressive failure in snow, soil, rock and ice — Fluage et rupture progressive dans la neige, le sol, le roc et la glace ». *Proc. sixth Int. Conf. on soil mechanics and foundation engineering*, vol. III, Toronto, 1966 : 134-148.

135. HAMELIN, L.-E. « Les tourbières réticulées du Québec-Labrador subarctique. Interprétation morpho-climatique ». *CGQ*, 3, 1957 : 87-106.
136. HAMELIN, L.-E. « Matériaux de géomorphologie périglaciaire dans l'Espagne du Nord ». *RGPSO*, XXIX, 1958 : 241-256.
137. HAMELIN, L.-E. « Périglaciaire du Canada : idées nouvelles et perspectives globales ». *CGQ*, 10, 1961 : 141-203.
138. HAMELIN, L.-E. « Notes sur le périglaciaire du Spitzberg ». *CG-GC*, VI, 1, 1962 : 1-11.
139. HAMELIN, L.-E. « Cartographie géomorphologique appliquée au périglaciaire ». *CGQ*, 14, 1963 : 193-209.
140. HAMELIN, L.-E. « La famille du mot « périglaciaire » ». *BP*, 14, 1964 : 133-152.
141. HAMELIN, L.-E. « Études périglaciaires mondiales en 1964 ». *CG-GC*, IX, 1, 1965 : 50-61.
142. HAMELIN, L.-E. « Glaciers et modelé périglaciaire ». *CGQ*, 18, 1965 : 239-243.
143. HAMELIN, L.-E., CLIBBON, P. « Vocabulaire périglaciaire bilingue ». *CGQ*, 12, 1962 : 201-226.
144. HARWOOD, T. A. « Dew line site selection and exploration ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 359-363.
145. HELMREICH, F. M., CLARK, O. H. « Effects of vegetative cover on frost penetration ». *Michigan AS*, XLVII, 1962 : 393-403.
146. HENDERSON, E. P. « Large nivation hollows near Knob Lake, Quebec ». *JG*, 64, 1956 : 607-617.
147. HENDERSON, E. P. *Surficial geology of Sturgeon Lake map-area, Alberta*. DMTS, GSC, mem. 303, 1959. 108p.
148. HENIN, S. « Étude sur le gel du sol ». *AIHS*, tome IV (neiges et glaces), Gentbrugge, Belgique, 1958 : 259-266.
149. HENNION, F. *Frost and permafrost definitions*. NAS-NRC, Highway Research Board, bull. 111, 1955. 110p.
150. HEUSSER, C. J. *Late-pleistocene environments of North Pacific North America ; an elaboration of late-glacial and postglacial climatic, physiographic and biotic changes*. AGS, New York, 1960. 308p.
151. HILL, D. E., TEDROW, J. C. F. « Weathering and soil formation in the arctic environment ». *AJS*, 259, 2, 1961 : 84-101.
152. HÖGBORN, B. « Über die geologische betendung des frostes ». *Geol. Inst. Bull.*, 12, 1914 : 257-389.
153. HOPKINS, D. M., KARLSTROM, T. N. V. *et al.* « Permafrost and ground water in Alaska ». *USGS*, paper 264-F, 1955 : 133-146.
154. HOPKINS, D. M., SIGAFOOS, R. S. « Frost action and vegetative patterns on Seward Peninsula, Alaska ». *USGS*, bull. 974-C, Washington, 1951 : 51-101.
155. HOVERMANN, J. « Über verlauf und gesetzmässigkeit der strukturbödingrenze ». *BP*, 11, 1962 : 201-208.
156. HUME, J. D., SCHALK, M. « The effects of ice-push on arctic beaches ». *AJS*, 262, 1964 : 267-273.
157. HUSSEY, K. M., ANDERSON, G. S. *Environment and distribution of thermal relief features in the northern Foothills section, Alaska*. Iowa State Un., 1963. 76p.
158. HUSSEY, K. M., MICHELSON, R. W. « Tundra relief features near Point Barrow, Alaska ». *Arctic*, 19, 2, 1966 : 162-184.
159. HUXLEY, J. S. « Les sols polygonaux et l'évolution des phénomènes de dénudation dans les pays arctiques ». *AG*, 34, 1952 : 60-62.
160. INQUA. *Report of the VIth International Congress on Quaternary*. Warsaw 1961. Łódź, 4 vol., 1963-1965.
161. INQUA. *Abstracts. VIIth International Congress*. Boulder Colorado, USA, 1965. 532p.

162. INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SCIENTIFIC HYDROLOGY — ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE (Travaux en diverses langues).
163. INTERNATIONAL GEOGRAPHICAL UNION — UNION GÉOGRAPHIQUE INTERNATIONALE. Commission de géomorphologie périglaciaire — Commission of periglacial morphology (Travaux en diverses langues).
164. INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS (Travaux en diverses langues).
165. INTERNATIONAL SOCIETY OF SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING — SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DE MÉCANIQUE DES SOLS ET TRAVAUX DE FONDATIONS (Travaux en diverses langues), 6^e congrès, 1965 (Toronto), 3 vol.
166. INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS (Travaux en diverses langues).
167. IVES, J. D. « Mountain-top detritus and the extent of the last glaciation in north-eastern Labrador-Ungava ». *CG-GC*, 12, 1957 : 25-31.
168. IVES, J. D. *A pilot project for permafrost investigations in central Labrador-Ungava*. DMTS, GP, 28, Ottawa, 1961. 22p.
169. JAHN, A. « Walery Łoziński's merits for the advancement of periglacial studies ». *BP*, 1, 1954 : 117-125. (En polonais 7-19.)
170. JAHN, A. « Some periglacial problems in Poland ». *BP*, 4, 1956 : 169-183.
171. JENNESS, J. L. « Permafrost in Canada... ». *Arctic*, 2, 1, 1949 : 13-27.
172. JENNINGS, J. N. « A note on periglacial morphology in Australia ». *BP*, 4, 1956 : 163-168.
173. JOHNSON, A. W. *Frost action in roads and airfields. A review of the literature 1765-1951*. Highway Research Board, Special Report, 1, NAS-NRC, Washington, 1952. 287p.
174. JOHNSON, G. « Periglacial phenomena in southern Sweden ». *Geografiska Annaler*, XLIV, 3-4, 1962 : 378-404.
175. JOHNSTON, G. H. « Pile construction in permafrost ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 477-481.
176. JOHNSTON, W. A. « Frozen grounds in the glaciated parts of northern Canada ». *Roy. Soc. Canada Trans.*, 1930, sect. 4 : 31-40.
177. JOLY, F., RAYNAL, R. « Originalité des phénomènes périglaciaires au sud de la Méditerranée ». *BP*, 10, 1961 : 31-33.
178. JORRE, G. « Le problème des « terrasses goletz » sibériennes ». *RGA*, 21, 1933 : 347-371.
179. JOURNAL OF GLACIOLOGY. *Glaciological literature*. Cambridge, England (periodical).
180. JOYCE, J. R. F. « Notes on ice foot development, Neny Fjord, Graham Land, Antarctica ». *JG*, 58, 1950 : 646-649.
181. JUNGERIUS, P. D. « Age and origin of the Cypress Hills plateau surface in Alberta ». *GB*, 8, 1966 : 307-318.
182. JUST, T. « Postglacial vegetation of the North-Central United States: a review ». *JG*, 67, 1959 : 228-239.
183. KACHURIN, S. P. « Thermokarst within the territory of the USSR ». *BP*, 11, 1962 : 49-55.
184. KÁDÁR, L. « Die abhangigkeit der terrassen-und lossbildung von quartären klimaveränderungen in Ungarn ». *BP*, 4, 1956 : 371-405.
185. KAR, N. R. « Investigations on a piedmont drift deposit in the foot-hills of the eastern Himalayas and its glacial and periglacial significance ». *BP*, 11, 1962 : 211-227.
186. KESSELL, J. E. « Rock streams in Sierra Nevada California ». *GR*, 31, 1941 : 203-227.
187. KINDLE, G. M. « Observations on ice-borne sediments by the canadian and other arctic expeditions ». *AJS*, ser. 5, 1924 : 251-286.
188. KINGERY, W. D., ed. *Ice and snow — properties, processes, and applications*. Proc. Conf. Massachusetts Institute of Technology, 1962. Cambridge, 1963. 684p.

189. KŁATKA, T. « Problèmes des sols striés de la partie septentrionale de la presqu'île de Sörkapp (Spitsbergen) ». *BP*, 10, 1961 : 291-320.
190. KOBAYASHI, Kunio. « Periglacial morphology in Japan ». *BP*, 4, 1956 : 15-37.
191. KOZARSKI, S. « Fossil congelifluction covers in the northern part of the Lushan (Central China) ». *BP*, 10, 1961 : 195-207.
192. KRASNOV, I. I. « Regional unified and correlative stratigraphic scheme for the Quaternary of european USSR ». *GSA*, Special Paper, 84, 1965 : 247-271.
193. LACHENBRUCH, A. H. *Mechanics of thermal contraction cracks and ice-wedge polygons in permafrost*. New York, *GSA*, Special Paper, 70, 1962. 69p.
194. LACHENBRUCH, A. H. « Contraction theory of ice-wedge polygons : a qualitative discussion ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 63-71.
195. LACHENBRUCH, A. H., BREWER, M. C., GREENE, G. W. MARSHALL, B. V. *Temperatures in permafrost*. Reprinted from : *Temperature — its measurement and control in science and industry*, vol. 3, Reinhold Publishing Corp., New York, 1962 : 791-803.
196. LAMOTHE, C., SAINT-ONGE, D. « A note on a periglacial process in the Isachsen area, N.W.T. Observations d'un processus d'érosion périglaciaire dans la région d'Isachsen (T. N.-O.) ». *GB*, 16, 1961 : 104-119 (Texte anglais et français).
197. LAVERDIÈRE, C., GADBOIS, P. *Les terrains réticulés de la région d'Alert, nord de l'île d'Ellesmere, Archipel arctique canadien*. Min. Mines, Ottawa, 1952. 45p. man.
198. LEE, H. A. « Method of deglaciation, age of submergence, and rate of uplift west and east of Hudson Bay, Canada ». *BP*, 11, 1962 : 239-245.
199. LEFFINGWELL, E. de K. « Ground-ice wedges : the dominant form of ground-ice on the north coast of Alaska ». *JG*, 23, 1915 : 635-654.
200. LEFFINGWELL, E. de K. *The Canning river region, northern Alaska*. USGS, Prof. paper, 109, 1919. 251p.
201. LIESTÖL, O. « Talus terraces in arctic regions ». *Norsk Polarinstitutt*. Oslo, 1961 : 102-105.
202. LINELL, K. A., KAPLAR, C. W. « Description and classification of frozen soils ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 481-487.
203. LINTON, D. L. « The origin of the Pennine tors. An essay in analysis ». *ZG*, 8, 1964 : 1-24.
204. LLIBOUTRY, L. « Phénomènes cryonivaux dans les Andes de Santiago (Chili) ». *BP*, 10, 1961 : 209-224.
205. LLIBOUTRY, L. *Traité de glaciologie*. Masson, Paris, Tome I, 1964. 428p. Tome II, 1965. 616p.
206. LØKEN, O. « On the vertical extent of glaciation in northeastern Labrador-Ungava ». *CG-GC*, VI, 3-4, 1962 : 106-115.
207. ŁOZIŃSKI, W. « Die periglaziale fazies der mechanischen verwitterung ». *CR, Congrès Géol. Int.*, XI, Stockholm, 1910 : 1039-1053.
208. LUNDQVIST, J. « Glacial geology in northeastern Newfoundland ». Reprinted from *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, Stockholm, 87, 1965 : 285-306.
209. LUNDQVIST, J. *Patterned ground and related frost phenomena in Sweden. Sveriges Geologiska Undersökning*, Stockholm, ser. C, 583, 1962. 88p.
210. MAARLEVELD, G. C. « Les phénomènes périglaciaires au Pléistocène ancien et moyen aux Pays-Bas ». *BP*, 9, 1960 : 135-141.
211. MAARLEVELD, G. C. *Frost mounds. A summary of the literature of the past decade. Ex. Mededelingen van de Geologische, Nieuwe Serie*, Maastricht, 17, 1965. 16p.
212. MACAR, P. « Observations sur les dépôts quaternaires de la région Beaupré-Saint-Férol (Province de Québec) ». *CGQ*, 15, 1964 : 95-98.
213. MACFARLANE, I. C. « Muskeg research: a canadian approach ». *Proc. Highway Research Board*, Washington, vol. 38, 1959.

214. MACKAY, J. R. « Fissures and mud circles on Cornwallis Island, N.W.T. ». *CG-GC*, 3, 1953 : 31-37.
215. MACKAY, J. R. « Notes on oriented lakes of the Liverpool Bay area, N.W.T. ». *RCG*, 10, 4, 1956 : 169-173.
216. MACKAY, J. R. *Anderson river map area, N.W.T.* DMTS, GBR, mem. 5, 1958. 137p.
217. MACKAY, J. R. *The Mackenzie delta area, N.W.T.* DMTS, GBR, mem. 8, 1963. 202p.
218. MACKAY, J. R. « Pingos in Canada ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 71-76.
219. MALAURIE, J., GUILLIEN, Y. « Le modelé cryo-nival des versants meubles de Skansen (Groenland)... ». *Bull. SGF*, ser. 6, T. 3, 1953 : 703-721.
220. MANIL, G. « Observations sur le remplissage des fentes de gel ». *BP*, 9, 1960 : 127-135.
221. MARÉCHAL, R., MAARLEVELD, G. C. « L'extension des phénomènes périglaciaires en Belgique et aux Pays-Bas ». *Mé. Geol. Stichting*, [Nouvelle série], 8, 1955 : 77-86.
222. MARKOV, K. K. « Zonalité des phénomènes périglaciaires en Antarctide ». *BP*, 8, 1960 : 43-48.
223. MARKOV, K. K. « Sur les phénomènes périglaciaires du Pléistocène dans le territoire de l'URSS ». *BP*, 10, 1961 : 75-85.
224. MARUSZCZAK, H. « Phénomènes périglaciaires dans le Pirin et sur la Nitocha (Bulgarie) ». *BP*, 10, 1961 : 225-234.
225. MATHEWS, W. H., MACKAY, J. R. « Deformation of soils by glacier ice and the influence of pore pressures and permafrost ». *Trans. Roy. Soc. Canada*, ser. 3, sect. 4, 1960 : 27-36.
226. MATTHES, F. E. « Glacial sculpture of the Bighorn Mountains, Wyoming ». *USGS*, 21, Annual Report, 2, 1900 : 167-190.
227. MERCER, J. H. « Geomorphology and glacial history of southernmost Baffin Island ». *BGSA*, 67, 5, 1956 : 553-570.
228. MILLER, M. M. *Memorandum on snow and avalanche research in Switzerland*. Int. Memorandum, 3, AGS, 1952. 13p.
229. MILLER, M. M. « The distribution study of abandoned cirques in the Alaska-Canada Boundary Range ». *Geology of the Arctic*, Toronto, 1961 : 833-848.
230. MILLETTE, J. F., HIGBEE, H. W. « Periglacial loess. I. Morphological properties ». *AJS*, 256, 4, 1958 : 284-293.
231. MITCHELL, G. F. « Littleton bay, Tipperary : an irish vegetational record ». *GSA*, Special Paper, 84, 1965 : 1-16.
232. MITCHELL, J. M. « Theoretical paleoclimatology ». *The Quaternary of the United States*, Princeton, 1965 : 881-901.
233. MIYAKAWA, I., KOYAMA, M., TAKAHASHI, T. « Frost-heave of roads in Hokkaido, Japan ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 497-502.
234. MOLLARD, J. D., PIHLAINEN, J. A. « Airphoto interpretation applied to road selection in the Arctic ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 381-387.
235. MORTENSEN, H. *Heutiger firnrückgang und Eiszeitklima*. *Erdkunde*, Bonn, VI, 2-3, 1952.
236. MÜLLER, F. *Observations on pingos*. NRCC, Technical Translation, 1073, 1963. 117p.
237. MULLER, S. *Permafrost or permanently frozen ground and related engineering problems*. U.S. Army, strategic eng. study 62, 1943, 1945, 1947. 231p.
238. NANGERONI, G. « Rapports sur les études et les travaux concernant les phénomènes périglaciaires apparus en Italie de 1956 à 1963 ». *BP*, 14, 1964 : 61-65.
239. NANGERONI, G. « I fenomeni periglaciali in Italia ». *Atti Dell'Accademia Roveretana degli Agiati*. 1960 : 43-62.

240. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES — NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. *Proc. Permafrost Int. Conf. ... November 1963. Indiana. Building Research Advisory Board. Washington, D. C. NAS Publ. 1287. 563p.*
241. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. *Permafrost. A digest of current information. Ottawa, 1957. 48p.*
242. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. *Proceedings of the first Canadian conference on permafrost, 17 and 18 April 1962. Associate Committee on Soil and Snow Mechanics, Ottawa, 1963. 231p.*
243. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. *Proceedings of the Muskeg Research Conference. Ottawa, 11, 1965. 219p.*
244. NEFED'YEVA, Ye. A., RIKHTER, G. D. « Snow-cover dynamics as one of the factors of formation of landscapes of the Moscow region ». *Soviet Geography : Review & translation*, III, 6, 1962 : 47-52.
245. NICHOLS, D. A. « Solifluction and other features in northern Canada shown by photographs from the air ». *Trans. Roy. Soc. Canada, ser. 3, sect. 4, 1932 : 267-275.*
246. NICHOLS, R. L. « ... beaches... polar climate ». *AJS*, 259, 1961 : 694-708.
247. OSLER, J. C. *Studies of the engineering properties of frozen soils. Soil mechanics laboratory, McGill University, Montréal, 1966. 35p.*
248. PALMER, J., NEILSON, R. A. « The origin of granite tors on Dartmoor, Devonshire ». *Proc. Yorkshire Geol. Soc.*, 33, 1962 : 315-340.
249. PATERSON, T. T. « The effects of frost action and solifluxion around Baffin Bay and in the Cambridge district ». *Journal Geol. Soc.*, London, 96, 1940 : 99-130.
250. PÉCSI, M. « Chronological problems of the patterned soils of Hungary ». *BP*, 14, 1964 : 279-294.
251. PÉGUY, Ch. P., *et al.* « Études sur le glacier de Saint-Sorlin ». *RGA*, XLVI, III, 1958 : 405-463.
252. PELTIER, L. C. « The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology ». *AAAG*, 40, 1950 : 214-236.
253. PÉWÉ, T. L. « Permafrost and its effect on life in the North ». *Arctic Biology*, Oregon state college, 1957 : 12-26.
254. PÉWÉ, T. L. « Sand-wedge polygons (tessellations) in the McMurdo Sound region, Antarctica — a progress report ». *AJS*, 257, 1959 : 545-552.
255. PÉWÉ, T. L. « Ice wedges in permafrost. Lower Yukon river area near Galena, Alaska ». *BP*, 11, 1962 : 65-76.
256. PÉWÉ, T. L. « Ice-wedges in Alaska — classification, distribution, and climatic significance ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 76-81.
257. PÉWÉ, T. L., PAIGE, R. A. « Frost heaving of piles with an example from Fairbanks, Alaska ». *USGS, bull.*, 1111-1, Washington, 1963 : 334-407.
258. PHILBERTH, K. « Recherches sur les sols polygonaux et striés ». *BP*, 13, 1964 : 99-199.
259. PIHLAINEN, J. A. « An approximation of probable permafrost occurrence ». *Arctic*, 15, 2, 1962 : 151-154.
260. PIHLAINEN, J. A., JOHNSTON, G. H. *Guide to a field description of permafrost for engineering purposes. NRCC, 1963. 23p.*
261. PISSART, A. « Des replats de cryoturbation au Pays de Galles... ». *BP*, 12, 1963 : 119-136.
262. PISSART, A. « Avancement des recherches périglaciaires en Belgique de 1956 à 1963 ». *BP*, 14, 1964 : 67-74.
263. PISSART, A. « Le rôle géomorphologique du vent dans la région de Mould Bay (Île Prince Patrick — N.W.T. — Canada) ». *Zeitschrift für Geomorphologie*, 10, 1966 : 226-236.
264. POGGI, A., PLAS, J. « Conditions météorologiques critiques pour le déclenchement des avalanches ». *AIHS*, 69, 1964 : 25-34.

265. POLUNIN, N. « The vegetation of Akpatok island ». *Journal Ecology*, 22, 1934 : 337-395.
266. POPOV, A. I. « Le thermokarst ». *BP*, 4, 1956 : 319-330.
267. POPOV, A. I. « Cartes des formations périglaciaires actuelles et pléistocènes en territoire de l'URSS ». *BP*, 10, 1961 : 87-97.
268. POPOV, A. I. « Periglacial phenomena and the laws of their distribution in the USSR ». *BP*, 11, 1962 : 77-83.
269. PORSILD, A. E. « Earth mounds in unglaciated arctic northwestern America ». *GR*, 28, 1938 : 46-58.
270. POSER, H. « Klimamorphologische probleme auf Kreta ». *ZG*, 1, 1957 : 113-142.
271. POTTER, J. C. *Soil temperature records at eight localities in Canada 1959-1960*. Canada, Agriculture Department, Research Branch, Ottawa, 1962. 31p.
272. POTZGER, J. E., COURTEMACHE, A. « Permafrost and some characteristics of bogs and vegetation in northern Quebec ». *RCG*, 9, 1955 : 107-114.
273. PRICE, W. A. « The oriented lakes of arctic Alaska ; a discussion ». *JG*, 71, 1963 : 530-533.
274. PRITCHARD, G. B. « Foundations in permafrost areas ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 515-519.
275. PRYER, R. W. J. « Mine railroads in Labrador-Ungava ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 503-508.
276. PUJOS, A. « Deux aspects de la végétation du Moyen Atlas en liaison avec les conditions périglaciaires ». *BP*, 10, 1961 : 53-56.
277. RAASCH, G. O., ed. *Geology of the Arctic...* Un. Toronto Press, 1961, 2 vol. 1230p.
278. RADFORTH, N. W. « The ice factor in muskeg ». First Canadian Conference on Permafrost, NRCC, Associate Committee on soil and Snow Mechanics, *Technical Memorandum*, 76, 1963 : 57-79.
279. RADFORTH, N. W. « Organic terrain and geomorphology ». *CG-GC*, VI, 3-4, 1962 : 166-171.
280. RAPP, A. *Talus slopes and mountain walls at Tempelfjorden, Spitsbergen*. Norsk Polarinstitut Skrifter, 119, Oslo, 1960. 97p.
281. RAPP, A. « Kärkevage. Some recordings of mass-movements in the northern scandinavian mountains ». *BP*, 11, 1962 : 287-309.
282. RAPP, A. « Solifluction and avalanches in the scandinavian mountains ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 150-154.
283. RAPP, A., RUDBERG, S. « Studies on periglacial phenomena in Scandinavia. 1960-1963 ». *BP*, 14, 1964 : 75-90.
284. RAUP, H. M. « Turf hummocks in the Mesters Vig district, Northeast Greenland ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 43-50.
285. RAYNAL, R. « Les phénomènes périglaciaires au Maroc et leur place dans l'évolution morphologique ». *BP*, 4, 1956 : 143-162.
286. RAYNAL, R. « Recherches de géomorphologie périglaciaire en Afrique du Nord ». *BP*, 14, 1964 : 91-98.
287. *Revue de Géomorphologie dynamique*. Strasbourg, France, 1949-.
288. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. « Morphologie périglaciaire et sols dans le bassin d'Aquitaine et sur ses bordures ». 22, 1951 : 113-232.
289. *Revue roumaine... Série de Géographie*. 8, 1964. Travaux de T. MORARIU, Al. SAVU, P. COTET, E. NEDELCU, V. TUFESCU.
290. RICHMOND, G. M. « Stone nets, stone stripes and soil stripes in the Wind river mountains, Wyoming ». *JG*, 57, 1949 : 143-153.
291. RICHTER, H. et al. « Die golèzterrassen ». *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 10, 1963 : 183-192.
292. RIGSBY, G. P. *Studies of the physical characteristics of arctic terrain*. AINA, 1961. 52p.

- 292a. RITCHOT, G. « Problèmes géomorphologiques du Québec méridional : le mont Royal (2^e partie) ». *RGM*, 21, 1967 (sous presse).
293. ROBITAILLE, B. « Aperçu géomorphologique de la rive québécoise du détroit d'Hudson ». *RCG*, XIII, 3-4, 1959 : 147-155.
294. ROBITAILLE, B. *Géomorphologie du sud-est de l'île Cornwallis, Territoires du Nord-Ouest*. Québec, 1959. 235p. man.
295. ROBITAILLE, B. « Présentation d'une carte géomorphologique de la région de Mould Bay, Île du Prince-Patrick, T. N.-O. ». *CG-GC*, 15, 1960 : 39-43.
296. ROBITAILLE, B., GREFFARD, C. « Notes sur les matériaux terminaux du glacier Thompson, Canada arctique ». *DMTS, GB*, 17, 1962 : 85-94.
297. ROBITAILLE, Gilles. *Observations sur le dégel saisonnier. Région de Fort-Chimo (Québec)*. Travaux divers, n° 15, Centre d'Études Nordiques, université Laval, Québec, 1967. 60p.
298. ROMANOVSKY, N. N. « Veneering frost structures ». *BP*, 7, 1960 : 125-137.
299. ROUSSEAU, J. « Modifications de la surface de la toundra sous l'action d'agents climatiques ». *RCG*, 3, 1949 : 43-51.
300. RÓZYCKI, S. Z. « Strefowość rzeźby i zjawiska peryglacjalne na Ziemi Torella (Spitsbergen). Zones du modelé et phénomènes périglaciaires de la Terre de Torell (Spitsbergen) ». *BP*, 5, 1957 : 51-89 et 187-225.
301. RUDBERG, S. « A report on some field observations concerning periglacial geomorphology and mass movement on slopes in Sweden ». *BP*, 11, 1962 : 311-323.
302. RUDBERG, S. *A geomorphological map from Axel Heiberg, Canada, N.W.T.* Göteborg, 1963. 28p.
303. RUTTEN, M. G. « Ice-pushed ridges, permafrost and drainage ». *AJS*, 258, 4, 1960 : 293-297.
304. RYDQUIST, F. « Studies on polygonal fields in Öland : movement of stones in polygons and the role of plants during different stages of development (Swedish) ». *Ymer*, 1, 1960 : 50-74.
305. RZHANITSIN, B. A., GORBUNOV, B. P., KURDENKOV, L. I., ZHUKOV, V. F., KURYACHIN, A. N. « Thawing and consolidation of permafrost prior to construction ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 538-541.
306. SAINT-ONGE, D. « Les formes de nivation de l'île Ellef Ringnes. Territoires du Nord-Ouest ». Volume jubilaire M. A. Lefebvre, 1964 : 287-304.
307. SAINT-ONGE, D. *La géomorphologie de l'île Ellef Ringnes, Territoires du Nord-Ouest, Canada arctique*. DMTS, Direction de la Géogr., Ottawa, Études géographiques, 38, 1965. 46p.
308. SCHAEERER, P. *Avalanches defences for the Trans-Canada Highway at Rogers Pass*. Canada, NAS, Division of Building Research, Ottawa, 1962. 35p.
309. SCHAFER, J. P. « Some periglacial features in central Montana ». *JG*, 57, 1949 : 154-174.
310. SCHEIDEGGER, A. E. *Theoretical geomorphology*. New Jersey, 1961, 333p.
311. SCHENK, E. « Origin of string bogs ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 155-159.
312. SEKYRA, J. « The development of cryopedology in Czechoslovakia ». *BP*, 4, 1956 : 351-369.
313. SEKYRA, J. « La carte périglaciaire du Massif Bohémien ». *BP*, 10, 1961 : 43-52.
314. SEKYRA, J. « On the periglacial investigation in Czechoslovakia (1955-63) ». *BP*, 14, 1964 : 99-108.
315. SEKYRA, J. « Cryogeological phenomena in the North Pamir (Central Trans-Alai) ». *BP*, 14, 1964 : 311-319.
316. SERET, G. « La succession des épisodes fluviaux périglaciaires et fluvioglaciaires à l'aval des glaciers ». *ZG*, 9, 1965 : 305-320.
317. SHARP, R. F. « Soil structures in the St. Elias Range, Yukon territory ». *JG*, V, 1942 : 274-301.

318. SHARPE, C. F. S. *Landslides and related phenomena*. New York, 1938. 137p.
319. SHIKAMA, T. «The quaternary period in Manchuria». *International Geology Review*, 1, 1959 : 14-39.
320. SHOTTON, F. W. «The physical background of Britain in the Pleistocene». *Advancement of Science*, 19, 1962 : 193-206.
321. SHUMSKII, P. A., VTYURIN, B. I. «Underground ice». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 108-113.
322. SIGAFOOS, R. S., HOPKINS, D. M. «Frost-heaved tussocks in Massachusetts». *AJS*, 249, 4, 1951 : 312-318.
323. SJORS, H. «Bogs and fens in the Hudson Bay Lowlands». *Arctic*, 12, 1, 1959 : 3-20.
324. SMITH, H. T. U. «Physical effects of pleistocene climatic changes in nonglaciaded areas: Eolian phenomena, frost action and stream terracing». *BGSA*, 60, 1949 : 1485-1516.
325. SMITH, H. T. U. «Periglacial frost features and related phenomena in the United States». *BP*, 11, 1962 : 325-342.
326. SOONS, J. M. «A survey of periglacial features in New Zealand». *Livelihood.. George Jobberns*. Edited by M. McCaskill, New Zealand, Christchurch, 1962 : 74-88.
327. SOUCHEZ, B. «Réflexions sur l'évolution des versants sous climat froid». *RGP GD*, 8, 1966 : 317-334.
328. SPARROW. «Pleistocene Periglacial Topography in Southern Africa». *Journal of Glaciology*, 6, 46, 1967 : 551-559.
329. STAGER, J. K. «... Pingos east of the Mackenzie delta». *CG-GC*, 7, 1956 : 13-20.
330. STARKEL, L. «Periglacial covers in the Beskid Wyspowy (Carpathians)». *BP*, 8, 1960 : 155-169.
331. STEARNS, S. R. *Selected aspects of geology and physiography of the cold regions*. CRREL, Hanover, USA, 1965. 40p.
332. STICHT, J. H. *Geomorphology and glacial geology along the Alaska Highway in Yukon Territory and Alaska*. Cambridge (Mass.), 1951. 175p. man.
333. STRAW, Allan. «Periglacial mass movement on the Niagara Escarpment near Meaford, Grey County, Ontario». *GB*, 8, 1966 : 369-376.
334. SUTTON, R. F. «Involutions in surficial deposits, northwestern Ontario». *BGSA*, 74, 6, 1963 : 789-794.
335. SZILARD, J. «Fiches de publications hongroises». *BP*, 7, 1960 : 205-231.
336. TABER, S. «Frost heaving». *JG*, 37, 1929 : 428-461.
337. TABER, S. «Mechanics of frost heaving». *JG*, 38, 1930 : 303-317.
338. TABER, S. «Perennially frozen ground in Alaska : its origin and history». *Bull. Geol. Soc. Am.*, 54, 1943 : 1433-1548.
339. TAILLEFER, F. *Le piémont des Pyrénées françaises*. Toulouse, 1951. 383p.
340. TANAKA, K. «Periglacial study in the Patagonian Andes». *BP*, 11, 1962 : 85-89.
341. TARR, R. S. «The arctic sea ice as a geological agent». *AJS*, ser. 4, 3, 1897 : 223-229.
342. TEDROW, J. C. F. «Morphological evidence of frost action in arctic soils». *BP*, 11, 1962 : 343-352.
343. TE PUNGA, M. T. «Altiplanation terraces in southern England». *BP*, 4, 1956 : 331-338.
344. TE PUNGA, M. T. «Periglaciation in southern England». *Tijdschrift Nederlands...* 64, 1957 : 401-412.
345. TERZAGHI, K. «Permafrost». *Boston Soc. Civil Eng. Journal*, 39, 1952 : 1-50.
346. TERZAGHI, K., PECK, R. B. *Soil mechanics in engineering practice*. New York, 1948. 543p.
347. THOMPSON, H. A. «Freezing and thawing indices in northern Canada». *Proc. first Canadian Conference on Permafrost*, NRCC, Ottawa, 1963 : 18-37.

348. THOMPSON, H. A. « Air temperatures in northern Canada with emphasis on freezing and thawing indexes ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 272-281.
349. THORARINSSON, S. « Additional notes on patterned ground in iceland with a particular reference to ice-wedge polygons ». *BP*, 14, 1964, : 327-336.
350. THORLEY, A. « Review of a recent arctic soil investigation ». *Proc. First Canadian Conference on Permafrost*, 1962, NRCC, *Technical Memorandum*, 76, 1963 : 149-155.
351. TOLSTIKHIN, N. I., VEL'MINA, N. A., YEFIMOV, A. I. « Hydrogeology in permafrost regions of the USSR ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 458-461.
352. TOLSTOV, A. N. « The region of intensive erosion and thermokarst ». *Problems of the North*, 4, 1961 : 157-163.
353. TOZER, E. T., THORSTEINSSON, R. *Western Queen Elizabeth Islands, Arctic Archipelago*. DMTS, GSC, mem. 332, 1964. 242p.
354. TRICART, J. *Cartes des phénomènes périglaciaires quaternaires en France*. Paris, 1956. 40p.
355. TRICART, J. « Études expérimentales du problème de la gélivation ». *BP*, 4, 1956 : 285-318.
356. TRICART, J. *Géomorphologie des régions froides*. PUF, Paris, 1963. 289p.
357. TRICART, J., CAILLEUX, A. *Le modelé glaciaire et nival*. CDU, Paris, 1957. 410p.
358. TRICART, J., CAILLEUX, A. *Cours de géomorphologie. Le modelé périglaciaire*. CDU, Paris, 1961. 350p.
359. TROLL, C. « Strukturböden, solifluktion und frostklimat der Erde ». *Geol. Rundschau*, 34, 1944 : 545-694. SIPRE, 1958. 121p.
360. TSYTOVICH, N. A. « Permafrost in the USSR as foundations for structures — Étude sur le pergélisol en tant que fondations des édifices en URSS ». *Proc. Sixth Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. III, Toronto, 1966 : 155-167.
361. TWIDALE, C. R. « Vallons de gélivation dans le centre du Labrador ». *RGD*, 7, 1956 : 17-23.
362. TYRRELL, J. B. « « Rock glaciers » or cryostones ». *JG*, 28, 1910 : 549-553.
363. TYRTIKOV, A. P. *Principles of geocryology. Part I, General geocryology. Chapter XII, Perennially frozen ground and vegetation*. Moscou, 1959. NRCC, Technical Translation 1163, Ottawa, 1964, 34p. (Translated by R. J. E. Brown).
364. UNION GÉOGRAPHIQUE INTERNATIONALE. « The Abisko Symposium ». *BP*, 11, 1962 : 165-360.
365. UNION SOVIÉTIQUE. « Bibliographie concernant les formations périglaciaires et le pergélisol en URSS ». *BP*, 4, 1956 : 37-47.
366. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *Studies on the Quaternary 1963-1965*. Geol. Survey Professional Papers, Boulder, 1965. 210p.
367. UNIVERSITÉ DE ŁÓDŹ. *Biuletyn Peryglacjalny*. Łódź, Pologne, 1954-.
368. VAN AUTENBOER, T. « Ice mounds and melt phenomena in the Sor-Rondane, Antarctica ». *Journal of Glaciology*, 4, 33, 1962 : 349-355.
369. VAN LECKWIJCK, W., MACAR, P. « Phénomènes pseudo-tectoniques, la plupart d'origine périglaciaire, dans les dépôts sablo-graveleux dits « onx » et les terrasses fluviales de la région liégeoise ». *ASGB*, t. 73, 1949 : M3-78.
370. VERNON, P., HUGHES, O. L. *Surficial geology, Dawson, Larsen creek, and Nash creek map-areas. Yukon Territory*. GSC, Ottawa, Bull. 136, 1966. 23p.
371. VEYRET, P. « L'eau, la neige, la glace, le gel et la structure... Mont Blanc ». *RGA* (Grenoble), 47, 1959 : 5-36.
372. VIVIAN, R. « Glaces mortes et morphologie glaciaire ». *RGA*, 1965 : 371-401.

373. WAHRHAFTIG, C., COX, A. « Rock glaciers in the Alaska Range ». *BGSA*, 70, 1959 : 383-436.
374. WALKER, H. J., ARNBORG, L. « Permafrost and ice-wedge effect on riverbank erosion ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 164-171.
375. WASHBURN, A. L. *Reconnaissance... Victoria island...* GSA, mem. 22, 1947. 142p.
376. WASHBURN, A. L. « Classification of patterned ground and review of suggested origins ». *BGSA*, 67, 1956 : 823-866. En partie publiée dans *RCG*, 4, 1950 : 5-59.
377. WASHBURN, A. L. *et al.* « Frost cracking in a middle-latitude climate ». *BP*, 12, 1963 : 175-189.
378. WATERS, R. S. « Altiplanation terraces and slope development in Vest-Spitsbergen and South-West England ». *BP*, 11, 1962 : 89-101.
379. WATSON, E. « Periglacial structures in the Aberystwyth region of Central Wales ». *Proc. Geologists' Association*, 76, 4, 1965 : 443-462.
380. WEEDFALL, R. O. « Variation of soil temperatures in Ogotoruk valley, Alaska ». *Arctic*, 16, 3, 1963 : 181-194.
381. WEST, R. G. « Problems of interpretation of pleistocene periglacial conditions ». *INQUA*, Boulder, 1965.
382. WICHE, K. « Le périglaciaire dans le Karakorum de l'ouest ». *BP*, 11, 1961 : 103-110.
383. WILLIAMS, P. J. « Some investigations into solifluction features in Norway ». *GJ*, CXXIII, 1957 : 42-58.
384. WILLIAMS, P. J. *Solifluction and patterned ground in Rondane*. Oslo, 1959. 16p.
385. WILLIAMS, P. J. « Quantitative investigations of soil movements in frozen ground Phenomena ». *BP*, 11, 1962 : 353-360.
386. WILLIAMS, R. B. G. « Fossil patterned ground in eastern England ». *BP*, 14, 1964 : 337-349.
387. WILSON, C. *Cold regions climatology. Introduction. Northern Hemisphere 1*. CRREL, Hanover, 1967. 141p.
388. WIMAN, S. « A preliminary study of experimental frost weathering ». *Geografiska Annaler*, XLV, 2-3, 1963 : 113-121.
389. WORLD DATA CENTER A : GLACIOLOGY. *Glaciological notes*.
390. WRIGHT, H. E. « Late pleistocene climate of Europe : a review ». *BGSA*, 72, 6, 1961 : 933-984.
391. WRIGHT, H. E., FREY, D. G., ed. *International studies on the Quaternary*. *INQUA*, USA, 1965. Special GSA, 84, Boulder, 1965. 565p.
392. WRIGHT, H. E., FREY, D. G., ed. *The Quaternary of the United States... for INQUA*. Princeton, 1965. 922p.
393. YATES, A. B., STANLEY, D. R. « Domestic water supply and sewage disposal in the canadian North ». *Proc. Permafrost Int. Conf.*, NAS-NRC, Washington, 1965 : 413-419.
394. ZEITSCHRIFT FÜR GEOMORPHOLOGIE. *Contributions internationales à la morphologie des versants*. Édité par P. Birot et P. Macar, 1960. 240p.; 1964. 238p.
395. ZEUNER, F. *The pleistocene period...* London, 1959. 447p.



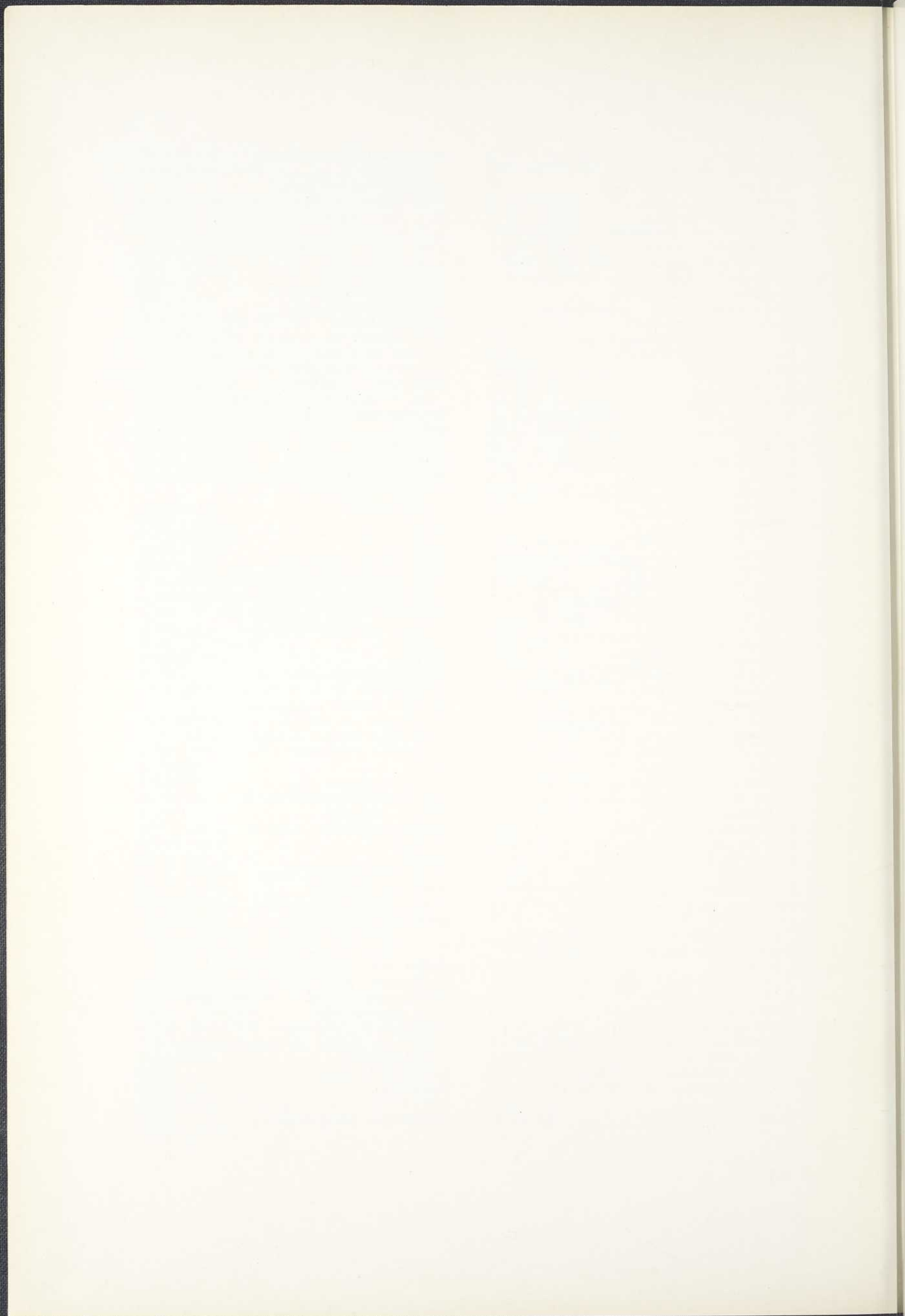
INDEX ALPHABÉTIQUE DES PHÉNOMÈNES

Les lettres renvoient à l'introduction générale, les chiffres d'abord aux chapitres puis aux sections ; par exemple, pour « abri-sous-roche » (2-4), 2 se rapporte au chapitre intitulé : *gélivation*... et 4 à sa section : *surface résiduelle*. Un certain groupement des termes dérivés a été fait autour du mot-souche ; c'est notamment le cas de polygone, pergélisol, gélifluxion et nival.

abrasion	6-1	classification périglaciaire	A-c
abri-sous-roche	2-4	coin de glace (vif, figé, rempli)	1-5
aiguille de glace	1-1	congélifluxion	8
aire périglaciaire : maximale et restreinte	A-b	congère	3 ; 3-4 ; 5-4
alass	1-6	coulée	8-2
amande	7 ; 7-2	couloir gélival	1-5
arabesque de végétation	7-5 ; 7-6	couronne	1-4
arc de végétation	7-4	cours d'eau à berges festonnées	8-5
avalanche : entonnoir, couloir, chaos, levée	3-1	cryo	A-a
		cryoconite : urne	3-7
		cryoturbation ou turbation périglaciaire	9
		cycle gélival	2
banc de neige	3-5		
banquette périglaciaire	7-4	dallage de pierres	7-9
beigne	1-4	déflation	6-1
berges festonnées	1-6 ; 8-5	dellen (voir vallon en berceau)	5-2
bloc glacial	4-1 ; 4-2 ; 4-3	dénivellement différentiel	3-5
bombement de fente de glace	1-5 ; 7-1	dépôt de poche de fusion	1-6
bourrelet d'avalanche	3-1	dépôt de remplacement	
bourrelet de congère	3-4	de glace	1-3 ; 1-5
bourrelet d'évacuation		dépôt de remplissage de fissure gélivale	1-5
sous-nivale	3-4 ; 8	dépôt à litage périodique	5-5 ; 6-3
bourrelet de glacier rocheux	3-6	dépression de fonte	1-6
bourrelet glacial : de pack ; d'hiver, de printemps	4-3	désert de pierres	2-3
bourrelet de pont de neige	3-4	desquamation	2
butte à blocs	7-8		
butte allongée	7-8	éboulis de gravité : abrupt, couloir, cône isolé, cônes coalescents, talus, tablier	2-2
butte gazonnée (voir thufur)	7-8	éboulis ordonné	5-5
		éboulis stratifié	5-5
caillou démesuré	4	écoulement en nappe	5-3 ; 5-4
caillou vagabond	4-2	encoche de gélifraction	2
catégorie génétique	A-c	encoche de pied de glace	4-4
cavité de fusion	1-6	engel	1-7 ; 2
cercle : de boue, de pierres	7 ; 7-2	entonnoir de fusion	1-3 ; 1-6 ; 5-6
champ amorphe de glace	1-3	éolisation périglaciaire	6
champ de blocs ou de pierres	2-3	épine de glace	1-5
champ de thufurs	7-8	érosion éolienne	6-1
chaos d'avalanche	3-1	éruption de boue	7-2
chaos glacial	4-3	évier	1-6
chaos de pente	2-2	évolution thermo-fluviale des versants	5-6
chenaux tressés au anastomosés	5-3	exfoliation	2
chicot	2		
chronologie périglaciaire	A-b		
cirque nivo-glaciaire et glacio-nival	3-3		
cité rocheuse	2		

felsenmeer	2-3	head	8-3
fente de gel avec		hydrolaccolithe	1-4
glace	1-5 ; 1-6 ; 5-6 ; 7-1		
fente de gel sans (phase de) glace	1-5	île arbustive	1-4 ; 7-7
fente de remplissage minéral	1-5	indice figuratif	7
fente de dessiccation	7-3	infragélisol ou subgélisol	1-7
figuration périglaciaire	7	injection (cheminée d')	9-1
film de glace	1-2	involution : en sac, en	
fininival	3	champignon	9 ; 9-1 ; 9-2
fissuration	1-5 ; 7		
fissure (fente) gélivale ou de géli-		lac de thermokarst	1-6 ; 6-4
contraction	1-5	lac orienté	1-6 ; 6-4
fluvéolien	6	lac périglaciaire	5
fluviation périglaciaire	5	lagune	1-4
fluvio-nival	3 ; 5	lamelle de glace	1-2
fluvio-nivo-glacial	5-7	langue de pierres	2-3
fluvio-périglaciaire	5 ; 5-7	lanière de végétation	7-7
fonte superficielle (types de)	3-5	lentille de glace	1 ; 7-7
forêt réticulée	7-7	levée nivo-glacielle	4-1
frane	3-1	lit en forme de chapelet	1-6 ; 5
fuseau de glace	1-3	lobe de gélifluxion	8
		lœss	6-2
		lœss de fente de glace	1-5
géli	A-a	lyell	4
gélicontraction	1-5		
gélidéflation	6-1	macropolygonation	7-1
gélifluxion ou gélifluction (soli-		marche de végétation	7-4
fluxion ou solifluction périglaciai-		mardelle	1-4
re) : générale ou locale ; amorphe		mare à fond pierreux	7-7
ou visqueuse ; minérale ou		mare de tourbière	7-7
végétale ; pelliculaire ou profon-		masse de glace	1-3
de ; épisodique ou		méandre d'encombrement	5
saisonnière	3-5 ; 7-4 ; 8 ; 8-1	mésosfiguration circulaire	7-2
gélifract : macro, méso, micro	2 ; 2-1	météorisation chimique	2 ; 3-2
gélifraction : initiale et de repri-		micropolygonation	7-3
se	2 ; 2-4	mollisol	1-7
« gélilithe »	1-7	motte en coupole	7-8
géliplanation	7-4	mur de rimaye	2-4
gélisol temporaire : saisonnier, plu-		muskeg	7-7
rannuel	1-7		
gélisolation	1	nappe de glace	1-3
géliturbation ou turbation périgla-		neige	3
ciaire	9	neige-galerie	3-5
gélivation	2	neige glacée	4-4
géocryologie	1-7	niche-coulée	8
glace dans le sol	1	niche nivale : hémisphérique, trans-	
glace d'estran ; glace de batture	4-4	versale, longitudinale, étagée ;	
glace mince	1-2	glacio-nivale ou nivo-glaciaire	3-3
glaciellisation (action des glaces		nid d'abeille	3-7
flottantes)	4 ; 5-7	nival : internival, fininival, pléni-	
glacier rocheux : transversal, héli-		nival ; fluvio-nival ; sous-nival,	
circulaire, en tube ; de versant,		supranival, paranival	3
de vallée, de piedmont	3-6	nivation	
glacio-solifluxion	8-4	(nivalisation).. A-a ; 3 ; 5-1 ; 5-7	
glacio-turbation	9-4	névélien (ou nivéo-élien)	6 ; 6-3
glacis : d'érosion,		nivo	A-a
d'accumulation	5 ; 5-4 ; 5-5	nivo-« karst »	3-2
glacitectonique	9-4	nomenclature	A-a
glyptolithe	6	noyau de glace	1-4
goletz	7-4	nunatak	2 ; 2-4
gradin	7-4		
grèze	5-5	onde de gel	1-7
groize	5-5	openwork	5-5
guirlande	8	ostiole	7-2

pack	4	ruissellement en filets ou	
paléofente de gel	1-5	ruisselets	5-4 ; 5-5 ; 8-1
paléopergélisol	1-7	ruissellement en lame,	
palse	1-4	en nappe	5-3 ; 5-4
<i>patterned ground</i>	7		
pergélisol ou permafrost : supra-		<i>sand wedge</i> ou sable de fissure gé-	
pergélisol ; plafond, étage supé-		lival	1-5
rieur, étage inférieur, plancher ;		sédiment glaciaire	4-1
infragélisol ; sec ou humide ;		ségrégation de glace	1
continu, discontinu ou		sentier de vache	7-4
sporadique	1-5 ; 1-7	sillon de fusion	1-5 ; 3-5 ; 7-1
périglaciaire (le mot)	A-a	sol cellulaire ou structuré ou poly-	
périglaciaire « appliqué » ..	A-b ; 1-7	gonal ou à figure géométrique	7
périglaciaire de situation	9-4	sol rayé ou strié (<i>voir</i> traînée)	7-5
périglaciologie	A-b	solifluxion (solifluction) périgla-	
péripolaire	A-b	ciaire ou géliflux(ct)ion	8
<i>permafrost</i>	1-7	soulèvement gélival ou par le gel	9-1
pied de glace (en glaciologie et en		statue	9-1
morphologie)	4-4	<i>strandflat</i>	4-4
pierrier	2	supranival ; surnival	5-5
pierrier de sommets	2-3	suprapergélisol ou supragélisol	1-7
pingo	1-4	surface résiduelle de	
pipkrake	1-1	gélifraction	2-2 ; 2-4
plication	9		
pluviaux	5	tafoni	6-1
poche de thermokarst	1-3 ; 1-6	talik	1-7
polygonation	7	tapis nival	3
polygone à fente de gel	1-5 ; 7-1	terminologie périglaciaire générale	A
polygone de dessiccation	7-3 ; 7-6	terrain à figure géométrique	7
polygone de lichen (lichenique) ..	7-6	terrasse fluvio-périglaciaire	5
polygone de végétation : centre,		terrassette	7-4
ceinture	7-6	tertre	7-8
polygone de toundra	1-5 ; 7-1	thermodépression	1-6
polygone paraglaciaire	7-1	thermokarst	1-3 ; 1-4 ; 1-5 ; 1-6
polygone (ou cercle ou réseau ou		thufur : minéral et végétal, hémis-	
amande) périglaciaire : macro,		phérique ou allongé ; en ordre	
méso, micro ; à bourrelet ou à		lâche ou serré ; en mottes ou en	
sillon ; à profil topographique		buttes	7-8
convexe, concave ou plat ; nu ou		tor	2 ; 2-4 ; 7-4
recouvert ; boueux ou caillou-		touffe de pelouse	7-7
teux ; indépendant, jumelé ou		tourbière réticulée ou cordée	7-7
emboîté ; paléo, figé ou vif ; ini-		traînée minérale	7-5
tial ou de reprise ; flottant ou		traînée végétale : flottante ou de	
enraciné	7	rappel	7-5
pont de glace	3-4	triage	7
pont de neige	3-4	trous méridiens	3-7
poussée de gel ; poussée de		turbation glaciaire	9-4
mollisol	7-2 ; 9	turbation glacielle	4 ; 4-3
pression gélistatique	9	turbation périglaciaire	1 ; 7 ; 8 ; 9
processus fluvio-nivo-glaciaire	5-7		
processus		vallée (ou vallon) à fond plat :	
périglaciaire	A-a ; A-b ; A-c	d'érosion, d'accumulation	5-3
<i>protalus</i> (<i>voir</i> bourrelet de pont de		vallée (périglaciaire) asymétrique	
neige)	3-4	ou dissymétrique	5-1
		vallon de « gélivation »	5-2 ; 2
rayure (strie) glacielle	4-5	vallon (ou vallée) de remaniement	
recherches périglaciaires	A-b	périglaciaire	5-2
régionalisation périglaciaire	A-b	vallon en berceau	5-2
replat : macro, méso, micro	7-4	végétation	
replat de géliplanation, d'étalement,		7 ; 7-1 ; 7-4 ; 7-5 ; 7-6 ; 7-7 ; 7-8	
d'altiplanation, de solifluxion ;		vocabulaire périglaciaire	A-a
goletz	7-4		
réticulation végétale	7-7		



INDEX OF PERIGLACIAL PHENOMENA

Active ice wedge	1-5	Ice-foot niche	4-4
Active layer	1-7	Ice layer	1
Asymmetric valley	5-1	Ice lense	1-2
Avalanche	3; 3-1	Ice-rafted block	4-2
		Ice wedge	1; 1-5; 5-6; 7-1
Beacher block	4-1	Inactive ice wedge	1-5
Block field	2	Injection plug	9-1
Blowing snow	3	Involution	9-2; 9-3
Boulder barrier	4-3		
Boulder field	2-3	Lake rampart	4-3
Boulder pavement	2-3; 7-9	Lichen polygon	7-6
		Lobate soil	7-4
Circle	7	Loess	6; 6-2
Classification of periglacial phenomena	Introduction	Massive ground ice	1-3
Congelifract	2	Mechanical weathering	2-1
Congelifraction	2; 2-1; 2-4	Mountain-top detritus	2-3
Congeliturvation	9; 9-3		
Corrasion	6-1	Needle ice	1-1
Crack	7-3	Net	7
Cryoconite holes	3-7	Nivation	3; 5-5
Cryotectonic	9-4	Nivation hollow	3; 3-3
Cryoturvation	9-3	Niv-eolian	6-3
		Nivo-karst	3-2
Debris island	7-2	Non sorted stripe	7-5
Deranged stratigraphy	9-4	Non sorting	7
Desiccation polygon	7-3	Nunatak	2-4
Earth hummock	7-8	Oriented lake	6-4
Eolian form	6		
Exfoliation	2; 2-1	Palsa	1-4
		Patterned ground	7
Felsenmeer	2; 2-1; 2-3	Periglacial fluvial feature	5; 8-1
Fissure	1-5	Periglacial geomorphology Introduction	
Flat bottomed valley	5-3; 5-4	Periglacial nomenclature ..	Introduction
Floating ice form	4	Periglacial vale	5-2
Floating ice ridge	4-3	Permafrost	1; 1-5; 1-6; 1-7
Floating ice sediment	4-1	Permafrost table	1-7
Floating ice striation	4-5	Pingo	1-4
Floating island of vegetation	7-7	Pipkrake	1-1
Fossil pingo	1-4	Polygon	1-5; 3-5; 7; 7-1; 7-3; 7-6
Frost-churning	9	Protalus	3; 3-4
Frost-heaved congelifracsts	9-1		
Frost-riving	2	Residual snow	3; 3-5
Frost-shattering	2; 9-1	River with cuspated banks	8-5
Frost-splitting	2	Rock debris	2-3; 3-1
Frost wedge	1-5	Rock fall	2-2
Frozen ground	1-7	Rock glacier	3-6
Glacio-solifluction	8-4	Scree	2-2
Glacio-tectonic	9-4	Sirloin freezing	1-2
Ground ice	1	Snowbank	3; 3-3; 3-4; 3-5; 5-4
		Solifluction	
Head deposit	8-3	3-3; 3-4; 5-1; 5-4; 5-5; 7-5; 8; 9-3	
Heat balance	1-7	Solifluction flow	8-1
Hummock	7-8	Solifluction lobe	8

Solifluction sheet	8-2	Tafoni	6-1
Solifluction slope	8-2	Talus cone	2-2
Sorted circle	7-2	Talus slope	2-2
Sorted stone stripe	7-5	Thermal contraction	1-5
Sorting	7	Thermo-erosional niche	5-6
Stone pit	7-7	Thermokarst topography	1; 1-6
Stone ring, circle or polygon	7-2	Thufur	7-8
Stratified slope deposit	5-5	Tor	2-4
String bog	7-7	Toundra polygon	1-5; 7-1
Stripe	7-5		
Sub-nival solution	3-2	Vegetation arabesque	7-6
		Vegetation polygon	7-6
		Vegetation stripe	7-5

PROVENANCE
DES ILLUSTRATIONS
(AUTEURS ET INSTITUTIONS)

SOURCES
OF
FIGURES

ANDREWS
Arctic
ARNBORG

3-4-1 ; 5-2-1
5-1-2
5-6-1

BIAYS
Biuletyn Peryglacjalny

8-2-2
2-4-1 ; 6-1-1 ; 7-4-1 ; 7-5-1 ;
7-8-5
7-5-2a

BLAKE
*Bulletin of the Geological Society of
America*

3-6-1 ; 7-5-4

Cahiers de géographie de Québec

3-4-1 ; 4-3-4 ; 4-4-1 ; 5-7-1 ;
7-1-3 ; 7-7-1 ; 7-7-2 ; 8-4-1 ;
9-4-1

CAILLEUX

2-1-3 ; 4-1-3 ; 5-5-3 ; 6-1-1 ;
6-3-1

CALKIN

6-1-1

CAPELLO

2-3-2 ; 7-5-2b

CARTIER

1-4-5

CHARLESWORTH

4-4-2

CHOUINARD

7-7-2

CLARK

8-3-1

Commission géologique du Canada
Conseil national des Recherches
(Ottawa)

7-1-2 ; 7-5-3

COOK

1-6-4 ; 1-7-2
1-5-5 ; 2-1-2 ; 3-2-1 ; 4-3-4 ;
7-1-1 ; 7-2-1 ; 7-2-4 ; 7-6-2 ;
7-8-2 ; 8-1-1 ; 9-1-1

CORBEL

4-4-1

CORTE

7-5-2c

COX

3-6-1

CURREY

5-1-2

DERRUAU

5-1-1

DIONNE

7-8-4

Direction de la Géographie (Ottawa)

1-3-1 ; 1-4-1 ; 1-4-2 ; 1-5-1 ;
1-5-5 ; 1-6-1a ; 1-6-1b ; 2-1-2 ;
2-2-1 ; 3-2-1 ; 3-3-1 ; 3-5-3 ;
4-3-1 ; 4-3-4 ; 4-5-1 ; 5-3-1 ;
6-1-2 ; 6-4-1 ; 7-1-1 ; 7-1-4 ;
7-2-1 ; 7-2-3 ; 7-3-2 ; 7-6-2 ;
7-8-2 ; 8-1-1 ; 8-2-1 ; 9-1-1 ;
9-4-2

DUMONT

4-2-1 ; 7-7-3

DYLIK

1-4-4 ; 1-5-3 ; 9-3-2

EVERETT

1-1-1 ; 1-2-1 ; 7-2-3

FAIDUTTI
FALCONER
FRASER

3-6-3
7-1-4
1-5-5 ; 2-2-1

GADBOIS
GAGNON
Geographical Branch (Ottawa)

7-8-2
3-5-2
1-3-1 ; 1-4-1 ; 1-4-2 ; 1-5-1 ;
1-5-5 ; 1-6-1a ; 1-6-1b ; 2-1-2 ;
2-2-1 ; 3-2-1 ; 3-3-1 ; 3-5-3 ;
4-3-1 ; 4-3-4 ; 4-5-1 ; 5-3-1 ;
6-1-2 ; 6-4-1 ; 7-1-1 ; 7-1-4 ;
7-2-1 ; 7-2-3 ; 7-3-2 ; 7-6-2 ;
7-8-2 ; 8-1-1 ; 8-2-1 ; 9-1-1 ;
9-4-2
7-1-2 ; 7-5-3
9-3-1
9-4-2

Geological Survey of Canada
Geological Survey of Great Britain
GREFFARD

HAMELIN

1-4-6 ; 1-5-2 ; 1-6-2 ; 1-6-3 ;
2-1-1 ; 2-2-3 ; 2-4-1 ; 2-4-2 ;
3-1-1 ; 3-1-3 ; 3-5-1 ; 3-6-2 ;
4-1-1 ; 4-1-2 ; 4-1-4 ; 4-3-2 ;
4-3-4 ; 5-2-2 ; 5-4-1 ; 5-4-2 ;
5-5-1 ; 5-7-1 ; 6-2-1 ; 7-1-3 ;
7-2-2 ; 7-3-1 ; 7-6-3 ; 7-7-2 ;
7-8-3 ; 7-9-1 ; 8-2-3 ; 8-2-4 ;
8-4-1 ; 9-1-2 ; 9-4-1
3-7-1 ; 4-3-1
4-3-5

HENOCH
HUME

IVES

2-3-1

LACHENBRUCH
LAMOTHE
LAVERDIÈRE
Le Géographe canadien

1-5-4 ; 1-7-1
1-6-1b
7-7-2 ; 7-8-2
1-6-3 ; 2-3-1 ; 2-4-2 ; 5-2-2 ;
6-2-1 ; 7-2-2 ; 7-8-3

MACAR
MACKAY

9-3-3
1-3-1 ; 1-4-1 ; 1-4-2 ; 1-5-1 ;
4-5-1 ; 6-4-1

MEIER
MORISSET
MÜLLER

1-7-3
4-3-3
1-4-3

NAS-NRC (Washington)
National Research Council (Ottawa)
National Air Library (Ottawa)

1-5-4 ; 5-6-1 ; 7-2-4 ; 7-8-1
1-4-3 ; 1-6-4 ; 1-7-2
3-5-4 ; 6-4-1 ; 7-7-1

OLIVIER

1-6-1b

PÉWÉ	1-7-3
Photothèque nationale de l'air (Ottawa)	3-5-4; 1-4-1; 7-7-1; 8-5-1
PISSART	7-4-1
PRICE	7-1-2
RAICHE	3-3-1
RAPP	2-2-2; 3-1-2
RAUP	7-8-1
RAYNAL	5-2-3; 5-5-2
<i>Revue canadienne de Géographie ou</i> <i>Revue de Géographie de Montréal</i>	4-4-1; 7-5-4
ROBITAILLE	9-4-2
ROUSSEAU	7-6-1
Royal Geographical Society (London)	4-4-2
RUDBERG	7-7-4
SAINT-ONGE	1-6-1a; 1-6-1b; 3-3-2; 3-5-3; 5-3-1; 6-1-2; 7-3-2; 8-2-1
SCHAFER	9-3-5
SCHALK	4-3-5
SEKYRA	7-8-5
Service provincial de Géographie	7-7-2
SIM	7-1-1
SPENCE-TAYLOR	7-1-3
ST. JOSEPH	7-5-1; 7-6-4
TAILLEFER	5-1-1
<i>The Canadian Geographer</i>	1-6-3; 2-3-1; 2-4-2; 5-2-2; 6-2-1; 7-2-2; 7-8-3
THORSTEINSSON	7-5-3
TROLL	9-3-4
<i>United States Geological Survey</i>	1-7-3; 3-6-1
VAN LECKWIJCK	9-3-3
WAHRHAFTIG	3-6-1
WALKER	5-6-1
WASHBURN	7-5-4
WILLIAMS, P. J.	3-4-2
WILLIAMS, R. G. B.	9-2-1

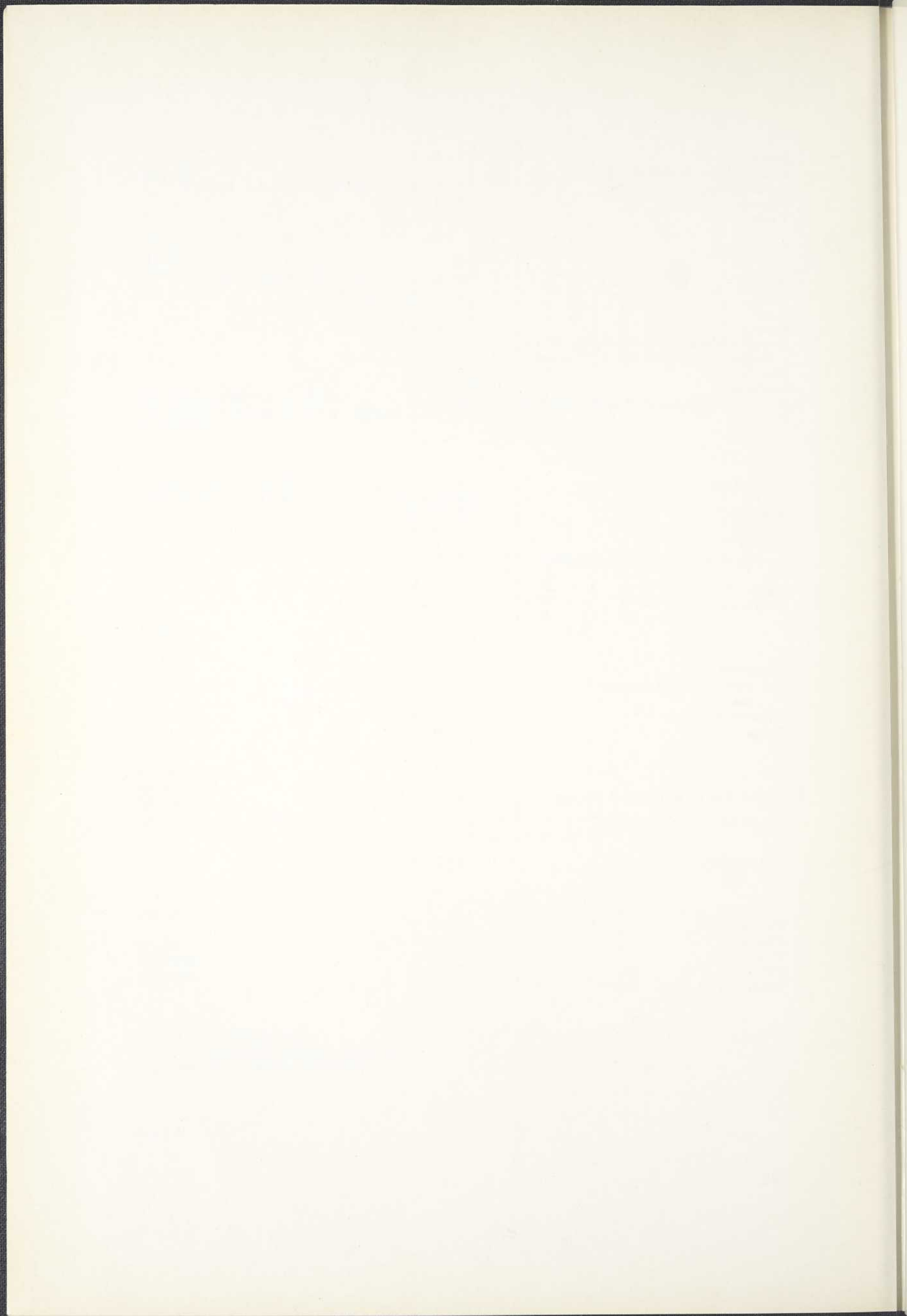


TABLE DES MATIÈRES

Présentation	VII
Preface	IX
Table of contents	1

Introduction	5
I. — Présentation du périglaciaire	5
A. — Terminologie	5
B. — Définitions	6
a) « Périglaciologie » générale	6
b) Recherches de géomorphologie périglaciaire	6
C. — Classifications périglaciaires	7
II. — Objet du présent ouvrage	8

Première partie : *Catégories définies par un agent périglaciaire dominant*

Chapitre premier : Glace dans le sol — Gélisation

Introduction	16
1-1 Pipkrakes	18
1-2 Glace mince	20
1-3 Masse de glace	22
1-4 Pingo et palse	24
1-5 Fentes de gel avec ou sans glace, avec ou sans dépôts	30
1-6 Thermokarst amorphe	36
1-7 Gélisol pérenne et temporaire — Mollisol	42
Localisation et provenance des illustrations	48

Chapitre deux : Gélivation — Gélifraction — Météorisation

Introduction	52
2-1 Gélifraacts	54
2-2 Éboulis (de gravité)	56
2-3 Champ de blocs	60
2-4 Surface résiduelle	62
Localisation et provenance des illustrations	64

Chapitre trois : Nivation

Introduction	66
3-1 Avalanches	68
3-2 Processus de nivo-« karst »	72
3-3 Niche nivale	74
3-4 Bourrelets de congère	76
3-5 Dénéigement différentiel	78
3-6 Glacier rocheux	82
3-7 Cryoconite	86
Localisation et provenance des illustrations	88

Chapitre quatre : Glaciellisation

Introduction	90
4-1 Sédiments glaciels (lyells)	92
4-2 Champ de blocs	94
4-3 Chaos et bourrelets	96
4-4 Pied de glace	100
4-5 Rayures	102
Localisation et provenance des illustrations	104

Deuxième partie : *Catégories définies par le milieu « froid »*

Chapitre cinq : Fluviation périglaciaire

Introduction	108
5-1 Vallée (périglaciaire) asymétrique	110
5-2 Vallon en berceau	112
5-3 Vallée à fond plat	114
5-4 Ruissellement en filets et en lame	116
5-5 Dépôts à litage périodique — Grèzes	118
5-6 Évolution thermo-fluviale des versants	122
5-7 Processus fluvio-nivo-glaciel	124
Localisation et provenance des illustrations	126

Chapitre six : Éolisation périglaciaire

Introduction	128
6-1 Érosion et abrasion	130
6-2 Löss	132
6-3 Accumulation nivéolienne	134
6-4 Orientation lacustre	136
Localisation et provenance des illustrations	138

Troisième partie : *Familles de phénomènes polygénétiques*

Chapitre sept : Figuration périglaciaire

Introduction	140
7-1 Macropolygonation	144
7-2 Mésofiguration circulaire	148
7-3 Micropolygonation	152
7-4 Gradins	154
7-5 Traînées minérales et végétales	156
7-6 Figuration végétale fermée	160
7-7 « Tourbières » réticulées	164
7-8 Thufur	168
7-9 Dallage de pierres	172
Localisation et provenance des illustrations	174

Chapitre huit : Gélifluxion ou solifluxion périglaciaire

Introduction	178
8-1 Gélifluxion et fluviation	180
8-2 Nappes et coulées	182
8-3 Profil de dépôts soliflués	184
8-4 Glacio-solifluxion	186
Localisation et provenance des illustrations	189

Chapitre neuf : Turbation périglaciaire

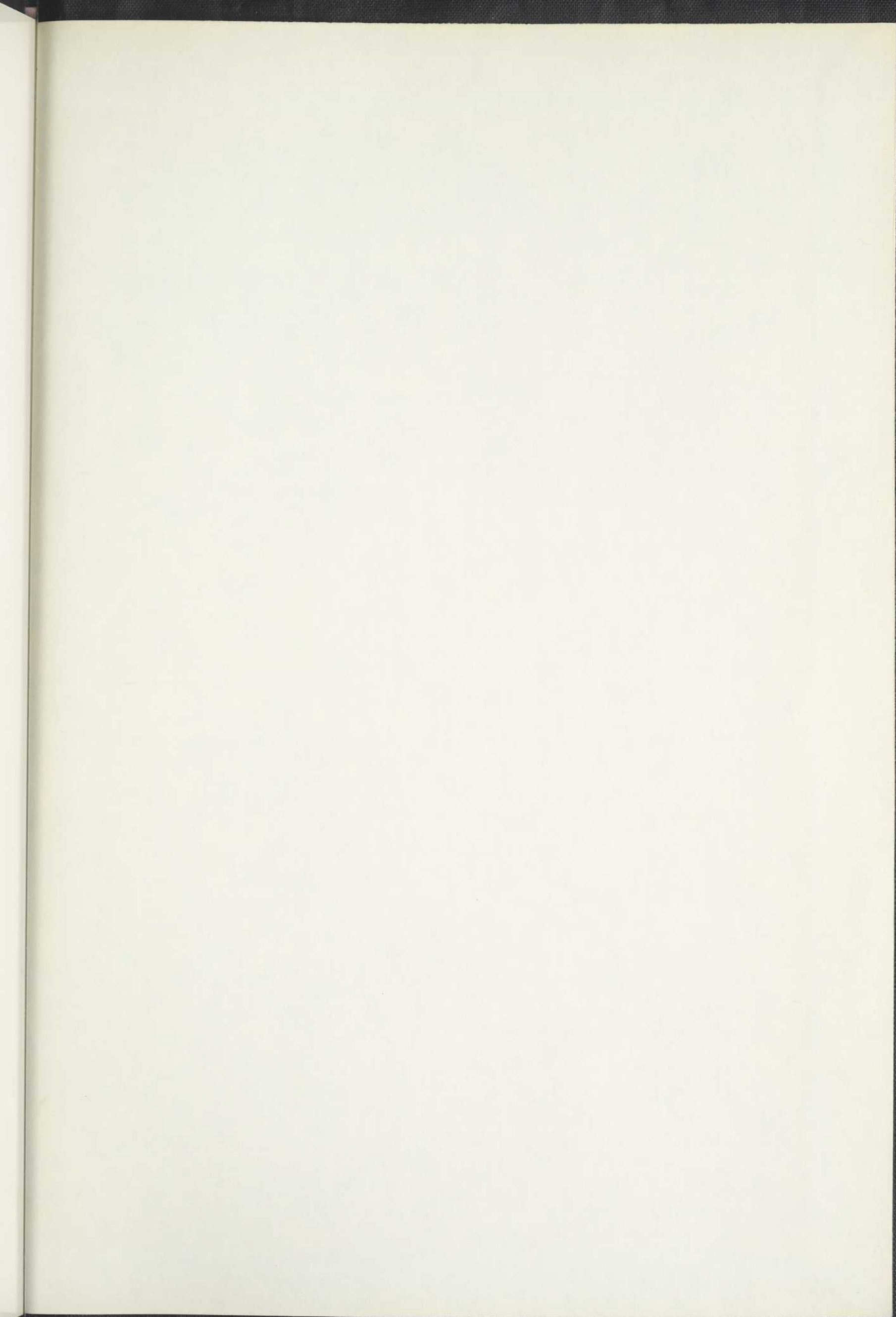
Introduction	190
9-1 Mouvements vers le haut	194
9-2 Mouvements vers le bas	196
9-3 Mouvements multidirectionnels	198
9-4 Glacio-turbation	202
Localisation et provenance des illustrations	204

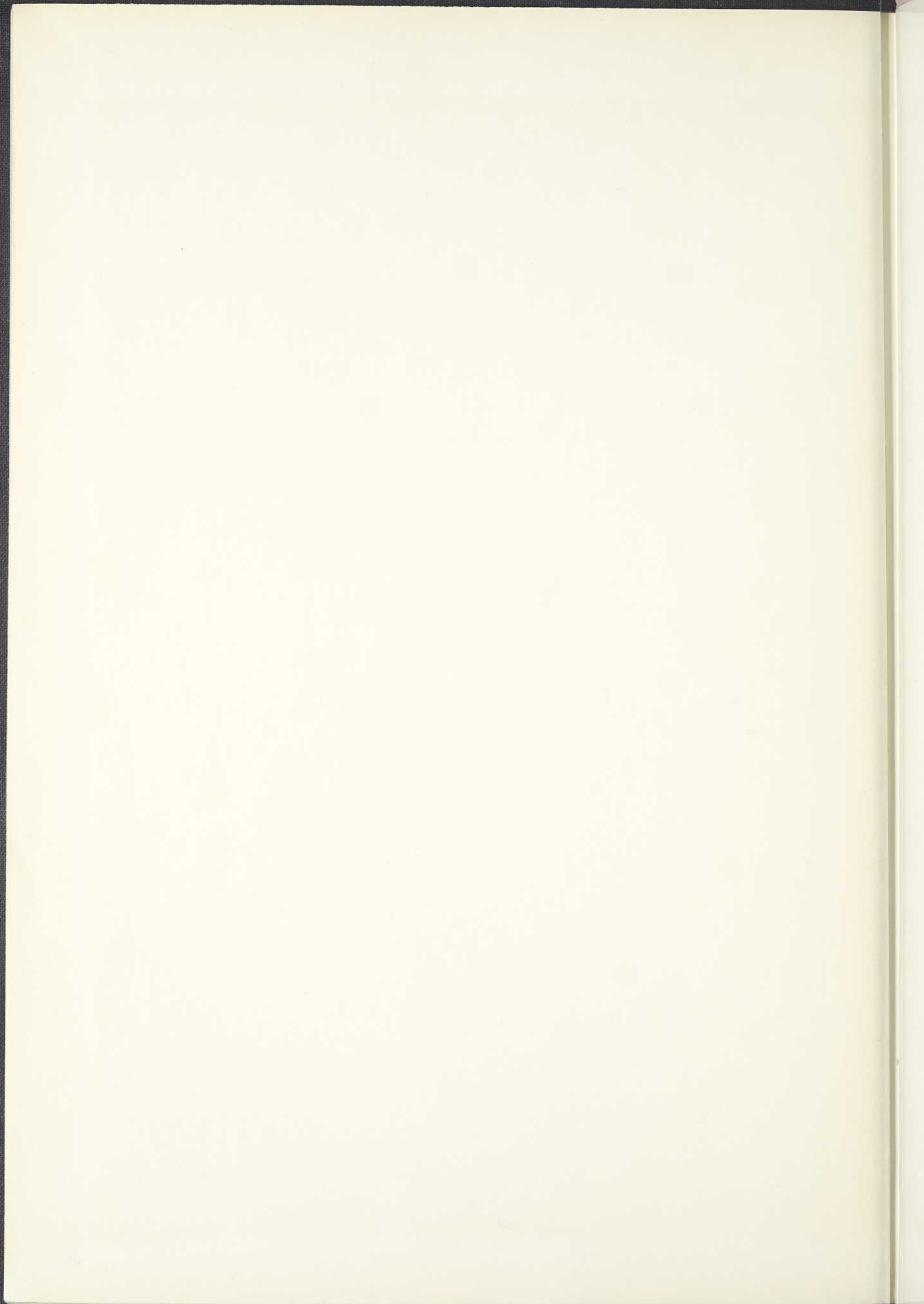
Bibliographie sommaire	207
Index alphabétique des phénomènes	225
Provenance des illustrations (auteurs ou institutions)	231
Table des matières	235



ACHEVÉ D'IMPRIMER
LE QUINZE DÉCEMBRE
MCMLXVII
AUX ATELIERS DE
L'ÉCLAIREUR LTÉE
BEAUCEVILLE, QUÉBEC
CANADA







4123-A (21)

