

ANDRÉ JOURNAUX*

Caen

ALTERNANCES DU RUISSELLEMENT ET DE LA SOLIFLUCTION DANS LES MILLIEUX PÉRIGLACIAIRES: EXEMPLES CANADIENS ET EXPERIMENTATIONS

Au cours d'un séjour dans l'Arctique Canadien¹, il nous a été donné d'observer de nombreux phénomènes de ruissellement et de solifluction, aboutissant à des sols striés. Si le ruissellement a pour effet d'opérer un tri dans les matériaux cryoclastiques des pentes, la solifluction a plutôt tendance à les mélanger et à effacer l'alternance des bandes caillouteuses et limoneuses². En réalité, il faut distinguer plusieurs types de sols striés en fonction de la pente, du matériel et de la végétation.

(1) Sur les pentes très fortes (environ 40°), la gravité entraîne des blocs de grès et de schistes de toutes tailles qui forment un pavage épais. A part quelques ravins creusés par le ruissellement, on observe surtout des glissements en masse affectant la forme de guirlandes, séparées entre elles par des cisaillements. Ces glissements ont lieu lors du dégel du permafrost, qui joue le rôle de plan lubrifié. Aucune végétation n'est possible (Photo 1).

(2) Sur des pentes moindres (20 à 40°), un tri s'opère entre des amas boueux en forme de loupes, comportant une matrice fine abondante et gorgée d'eau, et les gros blocs, souvent redressés à la verticale, sans matrice intersticielle et secs. Ces amas boueux sont alimentés par des arrachements de sous-sol au moment de la fonte du permafrost. Une maigre toundra arrive à se fixer sur elles (Photo 2).

(3) La pente dominant encore (10 à 20°), ces loupes boueuses de 150 cm de largeur, s'allongent suivant la pente, et les blocs s'ordonnent en bandes parallèles de 30 à 50 cm de largeur (Photo 3). Autour des loupes, des fissures d'arrachement se créent et concentrent le ruissellement des eaux de fonte des neiges et du permafrost. Dès lors, le processus s'accélère. Au moment du gel, les loupes boueuses gonflent; elles repoussent à la périphérie les blocs, qui se redressent verticale-

* Université de Caen et Centre de Géomorphologie du CNRS, France.

¹ Exursion organisée dans le cadre du Congrès International de Géographie par le Prof. Fritz MULLER du 31 Juillet au 10 Août 1972.

² Axel Heiberg Island Research Reports, Mc Gill University, Montreal: Preliminary Report 1961-1962: by F. MULLER *et al.*, 241 p., Déc. 1963:

Geomorphological Processes in a cold semi-arid Région, by Sten RUDBERG *ibid.* (p. 139-150).

RUDBERG S., 1963: Morphological processes and slope development in Axel Heiberg Island, NWT, Canada. *3ème Rapport Commission des versants*, Göttingen.

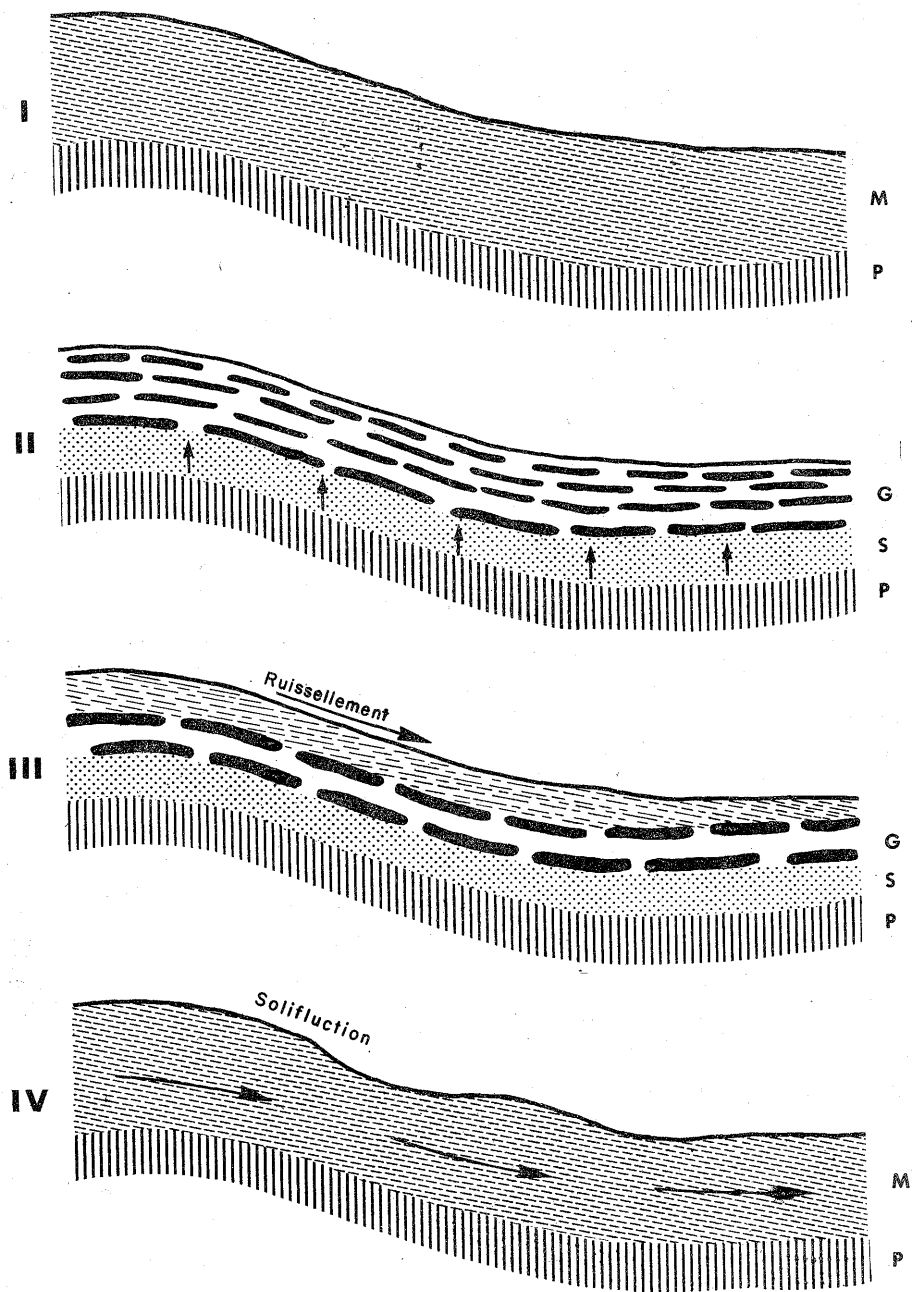


Fig. 1. I. Situation à la fin de l'été: permafrost recouvert par le mollisol; II. situation au début de l'hiver: lentilles de glace de ségrégation en surface; III. situation au début du dégel printannier: ruissellement actif sur sol gelé en profondeur; IV. situation après quelques semaines de dégel: le ruissellement fait place à la solifluction

ment sous l'effet de cette poussée (Photo 4). Au moment du dégel, le permafrost situé sous les blocs fond plus vite, le flux de chaleur se transmettant rapidement dans ce milieu sec, le ruissellement s'y concentre et l'incision du permafrost par l'eau courante accélère le glissement des blocs à la verticale gardant ouverts ces drains. D'où l'aspect de sols striés à bandes larges (150 et 50 cm environ).

(4) Sur de faibles pentes (inférieures à 10°) la solifluction ne paraît plus jouer un rôle aussi important, bien qu'un lent mouvement de masse soit prouvé par le déplacement de blocs, et la grande homogénéité des formations superficielles observées sur 60 cm d'épaisseur: il n'y a aucun effet de tri en profondeur comparable aux exemples précédents.

Par contre, le ruissellement de surface prend une grande part dans la formation de ces sols striés. Des rigoles suivent les génératrices des pentes avec un écartement d'environ 50 à 80 cm; elles sont matérialisées par des touffes de végétation (mousses, lichens, *Dryas octopetala*, Saule arctique, *Casiopé*). Sur ces formations très argileuses et compactes (33 à 35% d'argile et de limon), le ruissellement incise le matériel, et l'humidité entretenue toute l'année y favorise la végétation (Photo 5). Si la granulométrie reste identique sous toutes les bandes, il faut noter que la matière organique est beaucoup plus abondante sous les bandes de végétation, et que des fissures de dessiccation profondes de 40 cm s'y enfoncent jusqu'à proximité du permafrost.

Sur les bandes de sol presque nu, à l'exception de quelques lichens, les pierres sont généralement posées à plat, comme si un ruissellement en nappe sans vigueur avait entraîné les parties fines, laissant une sorte de pavage. Seuls quelques gros blocs de 60 à 80 cm, dont le grand axe est orienté dans le sens de la pente, témoignent d'un glissement lent au moment du dégel. Vers le bas des versants, alors que la pente s'annule, les masses boueuses s'accumulent en chaos anarchique couvertes par une toundra épaisse.

(5) Sur une autre île de l'Arctique Canadien, l'île du Prince Patrick, on observe le même passage de loupes argileuses et de petites rigoles où s'entassent les gélifracsts de schistes, à une alternance de bandes argileuses, lavées superficiellement par le ruissellement et de bandes de végétation parallèles à la ligne de plus grande pente (Photos 7 et 8).

(6) Il faut enfin mentionner un autre type de sols striés, dont l'origine n'est pas due à un classement du matériel, mais à l'apparition d'efflorescences gypseuses, traduisant en surface les rapides alternances de la structure sous-jacente des diapirs d'anhydrite gypsifiée (Photo 6)³.

En conclusion, le ruissellement paraît avoir une importance sans rapport avec les précipitations mesurées dans la région. Au cours de l'été 1969, elles ont été évaluées à 114 mm à la Station du Camp de Base d'Axel Heiberg⁴. Or l'évapo-

³ Idée suggérée par Y. DEWOLF.

⁴ *Id. Meteorology*, N° 3: A high arctic climate study on Axel Heiberg Island, Canadian, Arctic Archipelago, Summer 1961, Part I. General Meteorology, by F. MULLER and N. ROSKIN-SHARLIN; 82 p.

Id. International Geographical Union, Miscellaneous Papers by Fritz MULLER and Members of the Expedition, August 1972; 56 p.

transpiration en a prélevé 69 mm. L'infiltration étant faible à cause de la présence du permafrost, le ruissellement est insignifiant si on ne tient compte que de la neige et de la pluie qui tombent presque en totalité l'été. Le climat des îles Ellef Ringnes et Prince Patrick, étudié toute l'année, indique un total annuel comparable de 80 mm de précipitations totales⁵. A. PISSART insiste sur la fonte de la neige, dont les trois-quarts se produisent alors que le sol est gelé (les 3/4 du débit annuel!). L'action morphologique serait donc due au quart restant et aux pluies occasionnelles l'été (47 mm le 19 Août 1960 à Mould Bay). Mais certaines années sont très déficientes (30 mm en 1949, 40 mm en 1956, un maximum de 133 mm ayant été enregistré sur 16 années d'observation, de 1948 à 1964).

Le ruissellement est essentiellement l'effet d'un apport d'eau d'une autre provenance⁶. Les expériences de gel conduites par nous-mêmes au Centre de Géomorphologie du CNRS à Caen (France), sur un sol limoneux et riche en eau, ont montré la succession dans le temps des processus suivants:

1° Sous l'effet du gel, de très nombreuses lentilles de glace de ségrégation se forment à partir de 3 cm de profondeur; elles sont dues à la migration de l'eau par cryosuccion vers le front froid, qui stagne tant que l'eau peut parvenir jusqu'à lui. Après assèchement de la couche sous-jacente, le film d'eau étant coupé, le front progresse rapidement vers un nouvel horizon riche en eau. Ainsi plusieurs couches de lentilles de glace se forment au sommet du modèle.

2° A partir du dégel, les lentilles de glace fondent, libérant une grande quantité d'eau qui ne peut s'infiltrer tant que des lentilles imperméabilisent la base du mollisol. On a pu ainsi mesurer l'eau qui ruisselle en quelques jours, équivalent à 40 mm de précipitations⁷.

3° Lorsque le dégel atteint la zone sèche ou un horizon pauvre en lentilles de glace, toute l'eau libre s'infiltré dans la masse, supprimant en même temps le ruissellement.

⁵ Denis SAINT-ONGE: la Géomorphologie de l'île Ellef Ringnes, Territoires du Nord-Ouest, Canada; *Etude géographique* n° 38, 46 pages, 27 photos, publiée par la Direction de la Géographie, Ministère des Mines et des Relevés techniques, Ottawa, 1965.

A. PISSART; Les modalités de l'écoulement de l'eau sur l'île du Prince Patrick (76 Lat. N., 120° Long. O, Arctique Canadien, *Biuletyn Peryglacjalny*, n° 16, 1967; p. 217-224.

⁶ A. JOURNAUX: Phénomènes périglaciaires dans le Nord de l'Alaska et du Yukon. *Bull. Assoc. Géographes Français*, n° 369-369, Jv-Fév 1969; p. 337-350, 9 fig. L'importance du ruissellement a été en outre signalée au Spitzberg par divers auteurs:

P. GABERT et J. MASSEPORT: Quelques aspects de la morphologie des versants au Spitzberg Occidental. Publications du CNRS, volume spécial "Spitzberg 1964", Paris 1966; p. 71-91.

R. COQUE et R. RAYNAL: Recherches géomorphologiques préliminaires dans la région de la Baie du Roi (NO du Spitzberg): modelé et dynamique des grands versants et des piedmonts. *Mém. et Doc. du CNRS*, Paris 1968.

R. RAYNAL: Mutations en cours dans la morphogenèse périglaciaire au NO du Spitzberg (Région de Kongsfjord). *Biuletyn Peryglacjalny*, n° 18, 1968; p. 83-88.

⁷ A. JOURNAUX et J. P. COUTARD: Etude en simulation de l'action du gel sur des grands modèles de sols, in Etude des phénomènes périglaciaires en laboratoire, Colloque International de Géomorphologie, Liège-Caen 1971, *Bulletin du Centre de Géomorphologie du CNRS, Caen*, n° 13-14-15, Mai-Novembre 1972.



Photo 1. Axel Heiberg (Arctique Canadien). Glissement en masse avec cisaillements



Photo 2. Axel Heiberg. Loupes boueuses sur pentes de 20°

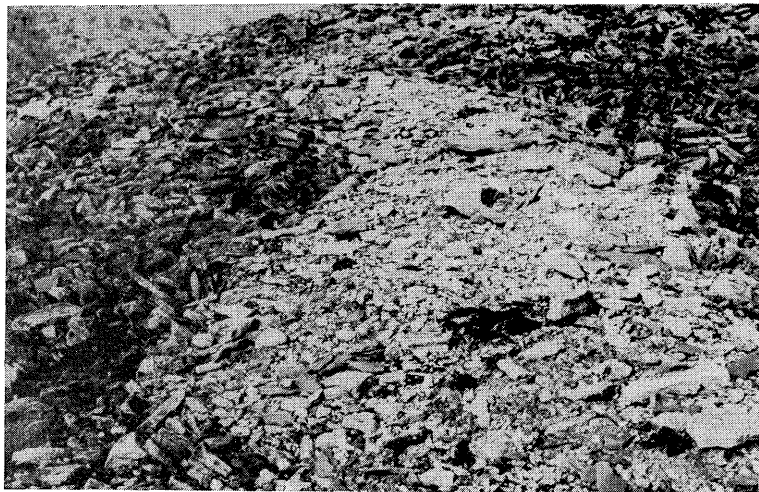


Photo 3. Axel Heiberg. Bandes parallèles sur pentes de 10 à 20°



Photo 4. Axel Heiberg. Blocs redressés à la verticale
à la périphérie des bandes de matériel fin



Photo 5. Axel Heiberg. Effets de ruissellement de surface aboutissant aux sols striés

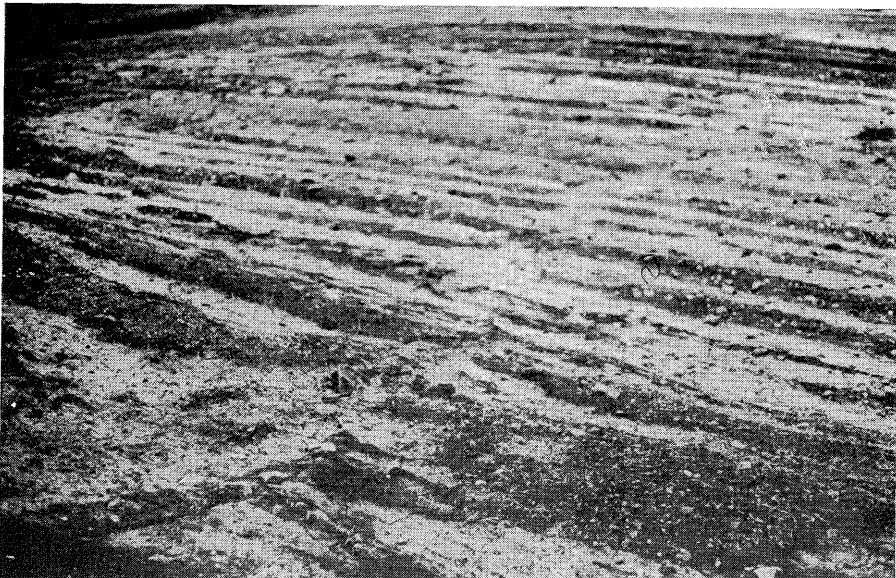
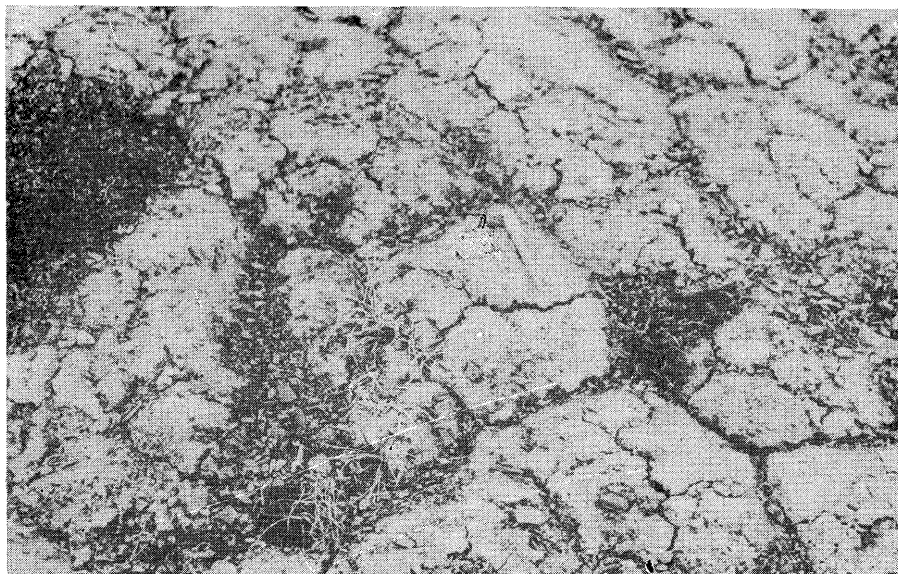


Photo 6. Axel Heiberg. Bandes d'efflorescences gypseuses traduisant la structure sous-jacente



Photos 7 et 8. Ile du Prince Patrick (Arctique Canadien). Sols striés avec alternances de bandes argileuses lavées par le ruissellement et de gélifracsts de schistes accumulés dans les rigoles

Rapprochant ces observations de laboratoire et celles faites en milieu arctique sub-aride, nous comprenons mieux la succession des événements au cours de l'année, résumée par la Figure 1 :

(I) en fin d'été, le permafrost (P) est recouvert par la zone active ou mollisol (M), qui atteint 60 cm à Axel Heiberg; ce mollisol est gorgé d'eau, qui provient des pluies d'été, des premières neiges et d'un sous-écoulement au pied des versants;

(II) au début du gel hivernal, les horizons supérieurs gèlent à nouveau, les lentilles de glace de ségrégation (G) se forment par cryosuccion, et une zone relativement sèche (S) s'interpose entre elles et le permafrost (P). Notons que les loupes boueuses sont les plus riches en eau, et gonflent;

(III) au début du dégel printannier, les premières couches de lentilles fondent libérant une eau abondante provoquant un ruissellement en surface. Ce ruissellement est responsable du lavage superficiel des formations, du creusement des rigoles et de l'aspect strié des versants;

(IV) plus tard, lorsque l'eau cesse de ruisseler pour s'infiltrer dans le sol, le mollisol (M) gorgé d'eau se met en mouvement sous l'effet de la gravité: la solifluction de masse succède au ruissellement.

Ainsi, observations de terrain et expériences en laboratoire nous aident à comprendre la succession des processus de ruissellement et de solifluction au cours du dégel, et la formation de certains types de sols striés. Nous percevons également le rôle du ruissellement dans la genèse des formations et l'évolution des formes de versant au Quaternaire, dans les régions actuellement tempérées: un gélisol saisonnier, qui n'exige pas les basses températures du permafrost, est aussi susceptible d'alimenter un ruissellement abondant et efficace au printemps, même sur des roches perméables, comme les calcaires, rendues provisoirement imperméables par les lentilles de glace. Ces effets indirects du gélisol saisonnier est l'objet de nouvelles expériences au Centre de Géomorphologie de Caen.