

QUELQUES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DES VERSANTS DE L'ÎLE PRINCE PATRICK

par A. PISSART

Liège

ABSTRACT

The study of some slopes on Prince Patrick Island shows some characteristics of the slopes evolutions under an arctic climate.

An important action is the accumulation of snow in snowpatches below which appear nivation hollows ; these are very large in fine-grained sands.

Flowing of water below snow patches washes the surface of the frozen ground underneath and, because the temperature of this water is 0° centigrade, there is no thawing and no development of solifluction. After the melting of the snow, the ground often remains covered with fine, washed debris. In a few places, the flowing of water following dessication cracks gives features similar to « lapiès ».

The evolution of steep slopes where water does not remain, is slower than that of gentle slopes where solifluction is very active. For this reason, a sharp knick point, like in arid countries, often appears at the lower part of abrupts.

Lithological differences clearly appear and structural surfaces have a very large extent. Slopes are most often concave or convex. Plane facets do not seem to be more frequent than in Belgium ; their inclinations gather around two main values : 30 to 32 degrees which is the equilibrium slope of gravity talus, and 5 to 7 degrees which seems the lower limit of solifluction « en loupes » (solifluction lobes) ; below this value, solifluction still works, but more slowly and in continuous sheets.

INTRODUCTION ¹

L'île Prince Patrick où a été réalisée la présente étude fait partie de l'Archipel de la Reine Elisabeth et s'étend entre les parallèles de 75°50' et 77°33' de latitude N. et les méridiens de 115°20' et 122°55' de longitude O.

¹ Cette recherche a été effectuée grâce à une bourse du Conseil des Arts du Canada, organisme que nous assurons de notre gratitude. Nous remercions en outre très vivement le Dr. J. Ives, chef du département Géographie du Ministère des Mines et des Relevés techniques et le Dr. F. Roots, co-ordinator du Polar Continental Shelf Project qui nous ont fourni la possibilité de travailler dans le haut Arctique Canadien.

Située loin au N. du cercle polaire, cette île subit un climat extrêmement rigoureux : la température moyenne annuelle est de -18°C et la température moyenne mensuelle dépasse seulement 0°C deux mois par an, en juillet et en août. La neige y persiste donc en général dix mois par an. Certaines années, elle fond d'ailleurs incomplètement.

Seule la faiblesse des précipitations explique que l'île Prince Patrick ne soit pas recouverte par une calotte glaciaire. Il y tombe en effet seulement 8 cm de précipitations (en eau) par an. La neige qui constitue les $2/3$ de ce total, ne masque d'ailleurs jamais longtemps la totalité de la surface de l'île. Elle est en effet déplacée par le vent qui dégage les parties exposées à la déflation et accumule la neige en des endroits sous le vent où elle donne naissance à des creux de nivation remarquables.

Une carte géologique de l'île Prince Patrick a été publiée en 1964 par E. T. Tozer et R. Thorsteinsson. Elle montre que les $2/3$ de l'île sont recouverts par les sables et graviers de la Formation de Beaufort dont l'âge est fin tertiaire ou début quaternaire. Des roches dévoniennes, jurassiques et crétacées y affleurent également, mais uniquement dans la partie orientale. Les pentes dont il est question ci-dessous sont toutes modelées dans ces roches et situées au S. O. de Prince Patrick.

QUELQUES MODALITÉS D'ACTION DU RUISSELLEMENT

Les processus responsables de l'évolution des pentes sont variés et leur combinaison est complexe. Le ruissellement et la solifluxion sont les deux agents principaux et leurs actions se contrarient souvent. La solifluxion empêche, du moins sur les pentes faibles, le ruissellement de se concentrer et de creuser des ravines, le ruissellement en creusant des entailles et assèchant le sol limite l'action de la solifluxion.

D'autre part, sous ce climat plus encore qu'ailleurs, toutes les pentes évoluent d'une manière discontinue dans l'espace et dans le temps et cela, en fonction de la présence ou de l'absence d'eau. Quand il y a de l'eau, le versant recule surtout par solifluxion et ruissellement. Comme dans ces conditions périglaciaires, l'eau est fournie principalement par la fusion de la neige, c'est la répartition de celle-ci qui est le facteur principal régissant l'évolution des

versants. Les accumulations de neige sont responsables non seulement de la localisation des creux de nivation, mais aussi de l'alimentation en eau des pentes situées en contrebas, alimentation en eau qui détermine la durée pendant laquelle non seulement le ruissellement mais aussi la solifluxion y est active.

Les formes de nivation sont, sous le climat relativement sec de l'île Prince Patrick, extrêmement apparentes dans le paysage. Il s'agit de niches et de banquettes que D. St-Onge (1965) a étudiées en détail sur une autre île de l'Archipel Reine Elisabeth, l'île Ellef Ringness. Nous ajouterons à sa description que si les formes de nivation sont, comme il l'écrit, pratiquement inexistantes dans les sables assez grossiers de la Formation de Beaufort, elles sont par contre extrêmement bien développées dans les sables fins de la « Wilkie point Formation » (jurassique). Dans ce matériel sableux où la solifluxion n'a pas de prise, l'action de la nivation est celle du ruissellement. Ce mécanisme est actif dès que la neige commence à fondre. L'eau de fusion s'écoule en de minces filets entre la plaque de neige et le sol toujours gelé, en transportant une quantité de sable étonnante. Le moindre filet d'eau, aussi réduit soit-il, déplace ainsi de très nombreux grains de sable très fin que l'on voit à l'oeil nu défiler comme le contenu d'un sablier. Ce processus fait reculer rapidement la niche de nivation qui se présente parfois comme une profonde encoche ressemblant plus à un court vallon qu'à une simple niche de nivation.

Au dégel, l'action du ruissellement est toujours importante sous la couverture neigeuse. Comme l'eau de fusion de la neige est à une température voisine de 0°, le ruissellement s'effectue sur le sol gelé sans pratiquement le réchauffer, ce qui ne permet pas le développement de phénomènes de solifluxion. De ce fait, lorsque toute la neige est fondue, la surface du sol est parsemée de fins débris lavés qui reposent sur du matériel amené par solifluxion. Ces débris lavés reposant sur un matériel à matrice limoneuse, font penser aux grèzes litées. Toutefois, la disposition des éléments parallèlement à la pente qui est si caractéristique des grèzes litées n'a pas été observée. Il est possible que cette orientation préférentielle ait pour origine le déplacement en masse de la neige surincombante. Ce n'est toutefois là qu'une hypothèse que nous n'avons pas pu vérifier.

Là où la neige est à la fin de l'hiver peu épaisse, sa fonte peut se produire entièrement alors que la température de l'air ne s'est

pas encore élevée au dessus de 0° C. Elle s'effectue alors, pendant les périodes d'ensoleillement par l'échauffement local du sol. Ce phénomène est évidemment discontinu dans le temps, les dégels étant suivis immédiatement de regels. Ce mécanisme n'autorise, ni l'apparition de glissements de terrain, ni le développement de la solifluxion, car seule, une couche très mince du sol est dégelée chaque fois.

Ce phénomène de dégels superficiels donne naissance dans le matériel limoneux du versant à des structures ressemblant à première vue à des lapies : buttes et pinacles de limon parfois finement ciselés. Ces structures paraissent provenir de l'élargissement d'un réseau polygonal préalable sans doute apparu par dessiccation. C'est en suivant ces fissures de dessiccation que l'eau de fonte de neige s'écoule en isolant les unes des autres des buttes de quelques dm de hauteur (photo 1). La persistance de ces microformes sur des pentes limoneuses de 5 à 20° d'inclinaison montre que sous ce climat périglaciaire typique, la solifluxion peut être inefficace sur des pentes limoneuses pendant plusieurs années. Il est évident en effet que des buttes comme celles que nous montrons ici, n'ont pas été dédagées en quelques mois.

LE MODELÉ DES VERSANTS

Contrairement à ce que nous nous attendions à trouver à la suite de recherches effectuées en Belgique (Seret, 1963), les facettes planes d'une longueur dépassant 50 m ne sont pas particulièrement fréquentes sous ce climat périglaciaire. La majorité des pentes sont constituées de sections concaves au convexes. Nous retiendrons cependant l'existence plus fréquente de facettes planes présentant deux inclinaisons : celle du talus d'éboulis (vers 30°) et celle de pentes de solifluxion souvent intermédiaires entre 6 et 8°. Cette dernière inclinaison paraît correspondre à la pente limite, de la solifluxion en loupes sous l'action de laquelle le versant évolue relativement vite. En dessous de cette valeur la solifluxion continue à agir, mais en une nappe continue, soit plus lentement. Il semble donc que ces facettes planes correspondent à des seuils inférieurs d'action d'un processus correspondant respectivement à 30° pour l'éboulis de gravité et à 6° pour la solifluxion en loupes.

Une des particularités les plus étonnantes des versants de l'île Prince Patrick est l'existence fréquente d'une rupture de pente

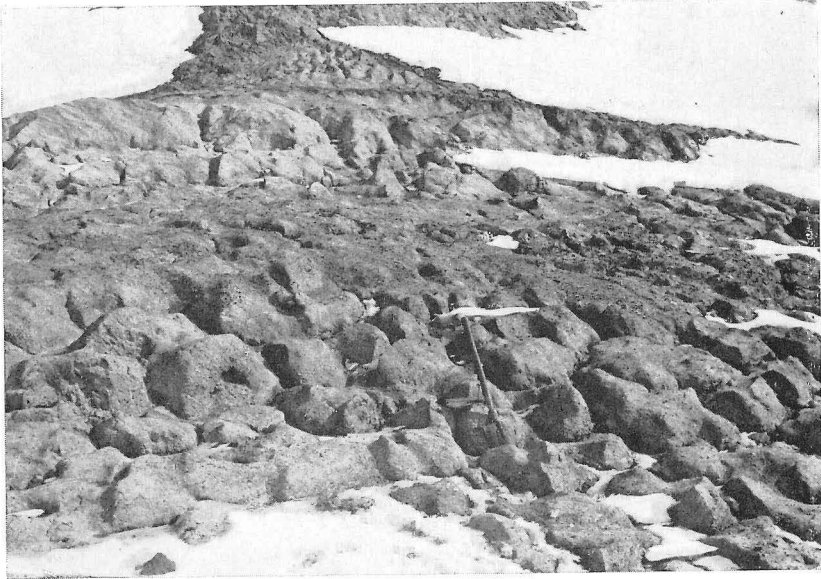


Photo 1. — Sol limoneux découpé en buttes rappelant des lapiès, par l'action du ruissellement s'exerçant de manière préférentielle suivant un réseau polygonal de fissures.

brutale qui interrompt à la base les versants raides. Il s'agit d'un véritable « knickpoint » qui fait penser à la morphologie des régions arides. Nous en décrivons deux exemples caractéristiques :

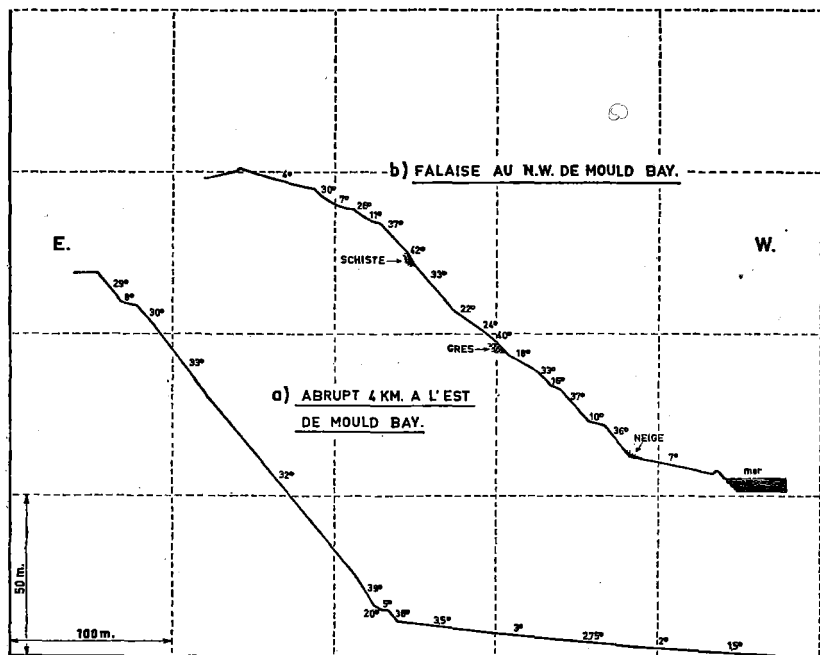


Fig. 1. — Profils de deux versants situés près de Mould Bay et montrant la rupture de pente brutale qui existe à leur pied.

La figure la montre un profil levé au travers un abrupt de ligne de faille au pied duquel cette rupture de pente est particulièrement marquée. A l'emplacement du profil, un abrupt haut de plus de 100 m et incliné en moyenne de 32° passe en quelques mètres à une inclinaison de 3,5°. La pente de 32° correspond à un éboulis de gravité, le versant étant entièrement recouvert de blocs de grès sans matrice fine. La pente inférieure passant de 3°5 à 2° est localement occupée par de véritables coulées de blocs de grès provenant de l'abrupt et s'étirant parfois sur 250 m. Partout sur ce glacis, le matériel fin, argileux est abondant. Il est déposé par les eaux descendant entre les blocs de l'éboulis et y lavant le matériel fin. Cette matrice permet le développement de phénomènes de solifluxion bien apparents malgré la faible pente. Cette solifluxion s'exerce pendant une très longue période car le sol reste longtemps

gorgé d'eau. Il est en effet alimenté par la fusion des plaques de neige qui persistent pendant une grande partie de l'été particulièrement à la partie supérieure du versant. C'est la nature différente des processus actifs sur l'abrupt (éboulement et lavage du matériel fin), et à la partie inférieure (solifluxion) qui rend compte de la rupture de pente que nous avons décrite.

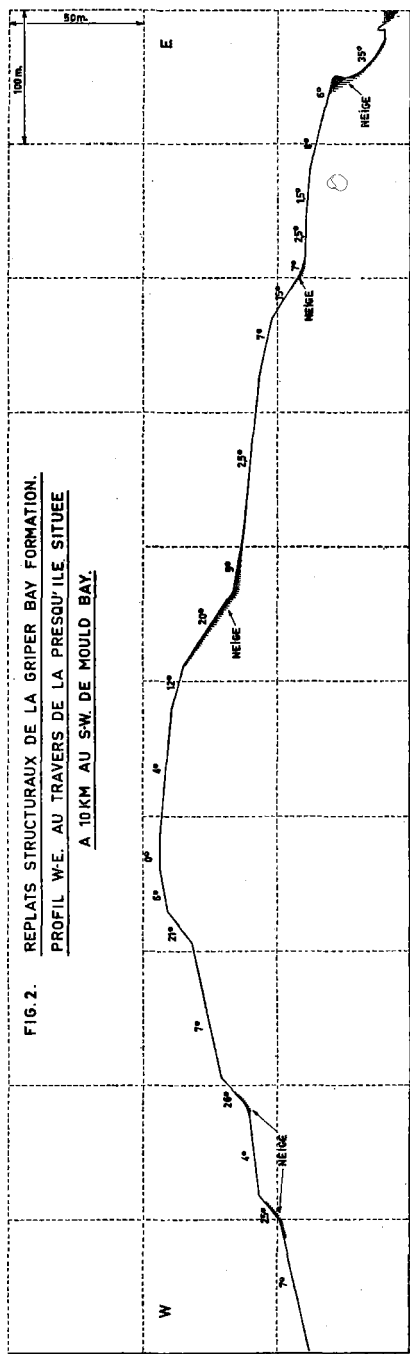
Comme le montre la figure 1b, un « Knickpoint » du même type existe au pied de la falaise située 2 Km au N. de la station de Mould Bay. Ce versant est cependant recouvert sur toute sa hauteur par du matériel de congéfluxion, provenant de la désagrégation du substratum. Ici le dépôt superficiel étant identique sur l'abrupt et sur la pente inférieure, la brusque rupture de pente ne s'explique que par une humidité beaucoup plus continue sur la pente inférieure, humidité qui permet aux phénomènes de solifluxion d'emporter tout le matériel qui descend du versant supérieur.

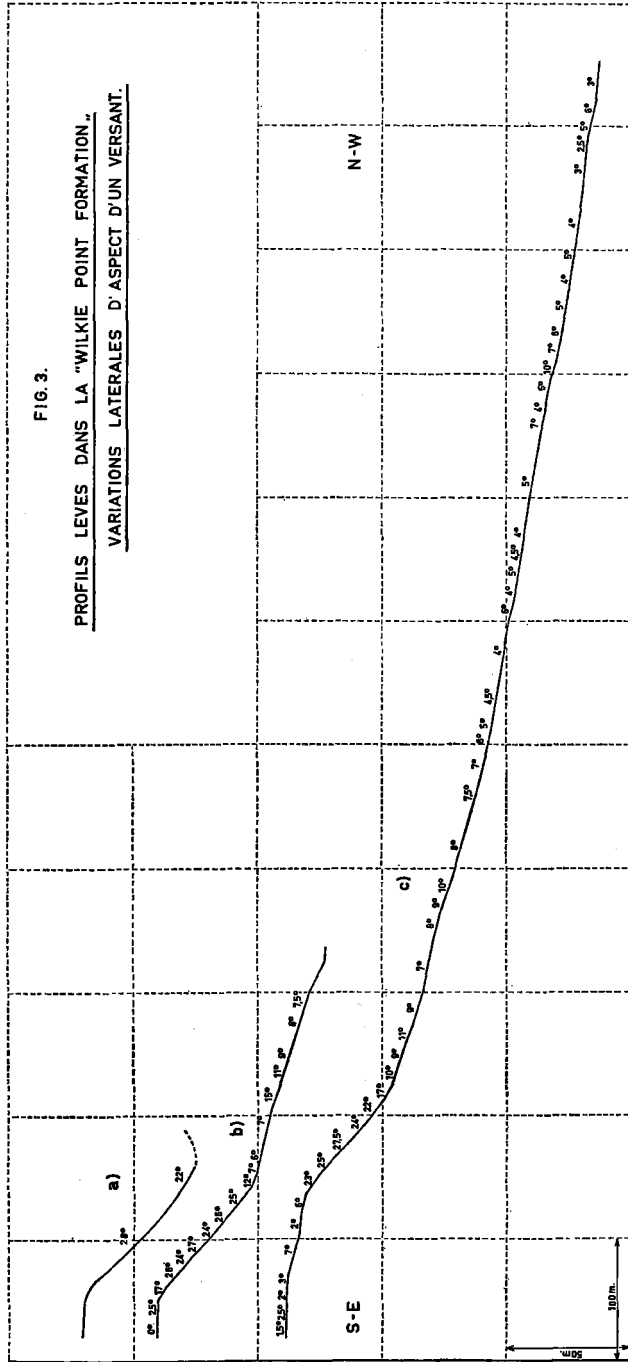
Il apparaît de la sorte que les processus périglaciaires sont plus actifs sur les pentes faibles que sur les pentes fortes et cela même quand la couverture meuble y est identique. J. Alexandre était arrivé à une conclusion semblable par l'étude de la morphologie de l'Ardenne puisqu'il écrivait en 1958 (p. M 232) : « les versants » (présentant une forte inclinaison) « semblent doués d'une certaine immunité vis à vis de la cryergie... ».

Un autre caractère qui accroît la ressemblance avec les pays arides est la mise en valeur par les processus périglaciaires des différences lithologiques. Celles-ci apparaissent remarquablement dans les régions de structures horizontales par le dégagement de surface structurales extrêmement bien développées. En voici deux exemples :

Les surfaces structurales les plus belles de l'île, sont, sans hésitation possible, dégagées dans les formations gréseuses et sableuses de la « Wilkie point Formation ». Elles sont essentiellement le résultat du ruissellement qui n'arrive pas à emporter les plaquettes de grès de quelques cm de longueur.

Sur les formations schisteuses et gréseuses de la « Griper Bay Formation » (Dévonien), les formes structurales sont différentes. Ainsi apparaissent en un certain nombre d'endroits, et comme le montre la figure 2, des escaliers gigantesques dont les marches atteignent parfois plus de 20 m de hauteur. A l'emplacement du profil 2, les pentes des abrupts varient de 35 à 13°, celles des replats de 1,5 à 7°. La roche en place n'apparaît pas à l'emplacement du





profil car elle est masquée par des chaos de blocs sans matrice ou des plages de matériel fin. Ce matériel fin qui, sur les replats, est disposé en stries et en polygones apparaît également sur les fortes pentes. A proximité cependant, une grande coupe montre que le substratum dévonien est constitué de bancs horizontaux de schistes, alternant avec des bancs de grès. Nous pensons en conséquence que ces replats sont des formes régies par la géologie et dues à l'action de la congélifluxion. Si celle-ci emporte aisément de gros blocs de roches, son action est toutefois entravée par la présence de bancs de grès très résistants, mais aussi et surtout par la présence de fortes pentes. Une fois apparue à l'emplacement des bancs résistants, celles-ci ont donc tendance à se conserver du fait uniquement du meilleur drainage qui y existe.

Ainsi les abrupts et les replats qui découpent les versants s'accroissent avec le temps. Cette évolution aide à comprendre comment les terrasses d'altiplanation (replats goletz) peuvent s'agrandir en se conservant. Toutefois les replats que nous avons observés sur l'île Prince Patrick étaient tous régis par la structure.

Nous décrivons maintenant un dernier versant pour montrer la complexité des interactions existant entre les facteurs modelant les pentes. Il s'agit d'un abrupt structural développé au front de couches horizontales. La pente se subdivise en deux parties : un abrupt très incliné (22 à 28°) qui surmonte une pente plus douce rectiligne ou concave (9 à 2°). Cette subdivision est d'origine lithologique : la pente forte est façonnée dans des couches gréseuses épaisses, la pente faible inférieure correspond pour sa part à des formations moins résistantes parmi lesquelles des argiles facilitent la solifluxion.

Les trois coupes que nous présentons ci-dessous (figure 3) montrent les modifications latérales de cette pente depuis l'endroit où seules les couches gréseuses supérieures sont entaillées par un ruisseau, jusqu'au moment où le versant s'allonge sur plus d'un km en raison de l'éloignement de ce ruisseau.

1. A l'endroit où le ruisseau entaille les couches gréseuses résistantes, la vallée présente en gros une forme en V. Des mesures montrent cependant que les versants ont une allure concave, la pente passant de 26 à 22° à proximité du cours d'eau. En effet celui-ci ne sape pas constamment le pied du versant et une certaine accumulation s'y produit qui est à l'origine de la concavité observée.

2. Sitôt que le cours d'eau a atteint les couches d'argile immédiatement sous-jacentes à la série gréseuse, le profil se modifie brusquement. La vallée s'élargit et un glacis incliné de 6 à 10° se développe au pied de l'abrupt. Sur celui-ci, la solifluxion est extrêmement active et emporte tous les éléments qui y parviennent. De ce fait, l'abrupt lui-même se redresse et présente de haut en bas une pente constante de 25 à 27°.

3. Latéralement ce glacis de 6 à 10° qui débute brutalement sous l'abrupt incliné de 25 à 27°, s'élargit en montrant une tendance vers une allure rectiligne inclinée de 6 à 8°. Il s'agit d'une de ces pentes d'équilibre dynamique correspondant au seuil inférieur des phénomènes de coulées de boue, de solifluxion en loupe dont nous avons parlé plus haut. Cette pente se conserve même là où le glacis est suspendu au dessus du fond de la vallée et même lorsque des ressauts structuraux légers l'accidentent.

4. Plus loin, les cours d'eau s'éloignent plus encore du sommet de l'abrupt. Le versant devient de plus en plus long, sa pente moyenne diminue, et il change d'aspect. Les versants rectilignes que nous venons de décrire font place à une longue pente concave entaillée de chenaux. Le contact avec l'abrupt gréseux supérieur devient moins brutal, le sommet de la pente concave ayant une inclinaison de 9 à 11°.

L'explication de cette modification d'aspect est délicate. Nous pensons que la diminution de la pente générale a entraîné une diminution de la vitesse d'érosion du versant. Ainsi un certain colmatage du pied de l'abrupt par des débris descendus de la pente supérieure a pu se produire et ces débris, en recouvrant la couche argileuse sous-jacente ont freiné les phénomènes de transport en masse. Cette accumulation a estompé la brutalité du contact glacis-abrupt. La solifluxion freinée par ce matériel ne s'est plus exercée de la même manière ce qui a permis au ruissellement de se concentrer et d'entailler le versant concave. De la sorte, l'évolution du versant a sans doute été changée d'une manière définitive.

L'exemple que voici se présente dans des conditions schématiques puisque l'influence climatique et celle du « bed rock » paraissent ne jouer aucun rôle dans la différenciation latérale du versant. Il montre comment l'allongement de la pente, en déterminant une simple fluctuation d'inclinaison du versant change les processus actifs et provoque une modification totale de son aspect : de recti-

ligne la pente devient concave et son allure régulière fait place à une succession de chenaux. L'ensemble, en montrant comment la variation d'un seul facteur engendre des répercussions diverses, fait ressortir combien sont complexes les phénomènes d'évolution et de recul des versants.

BIBLIOGRAPHIE

- PISSART, A., 1962. — Les versants des vallées de la Meuse et de la Semois à la traversée de l'Ardenne. Classification des formes et essai d'interprétation. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 85, n° 4, pp. 113-121.
- SERET, G., 1963. — Essai de classification des pentes en Famenne. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Band 7, Heft 1, pp. 81-85.
- ST-ONGE, D., 1965. — La géomorphologie de l'île Ellef Ringness, Territoire du Nord-Ouest, Canada. Étude géographique n° 38, Ministère des Mines et des Relevés techniques, Ottawa, 50 pages.
- TOZER, E. T. et THORSTEINSSON, R., 1964. — Western Queen Elisabeth Islands, Arctic Archipelago. *Memoir 332*, Department of Mines and technical Surveys, 242 pages.

DISCUSSION

J. DYLIK : Je félicite M. Pissart de ses observations que je trouve très importantes. J'avais des observations presque analogues au Spitsberg sur le Sor-Kapp où il y a une rupture du versant inférieur très bien marquée entre la partie façonnée par des mouvements de gravité et la partie de « warning slope » inclinée en 5°-7°. Il s'agit, à mon avis, de la ligne critique pour le développement d'un versant à cause d'une grande activité des processus surtout celle de désintégration provoquée par l'humidité abondante.

Les savants russes, Botch et Krasnov, ont reconnu l'importance de cette ligne critique dans la formation des terrasses dites goletz ou des terrasses d'altiplanation.

A. RAPP : Concerning the marked break at slope from 32° to 7°, I will ask if this feature in some cases can be explained as a result of an earlier higher level of the sea, creating an abrasion knicks line.

A. PISSART : Je ne crois pas que la rupture de pente signalée puisse parfois provenir de l'existence au pied de l'abrupt d'une terrasse marine. Les plages soulevées n'existent pratiquement pas sur cette île et atteignent tout au plus 10 à 15 m d'altitude. Cela ne cadre pas avec l'existence de « knick points » semblables à des altitudes très variées. Par ailleurs, même si de telles formes marines existaient, comme elles seraient très

anciennes, le problème resterait entier car il faudrait expliquer pourquoi l'érosion ultérieure n'a pas atténué ces ruptures de pente.

J. DEMEK : Two short comments :

1. I agree with Mr Pissart's conclusion about slope inclination of 7° as one limit inclinations in periglacial regions. This inclination is also typical for a great number of altiplanation terraces in Czechoslovakia.

2. Expressive knick-points (e. g. at the foot at frost-river cliffs) are typical for areas with prevailing solifluction, as a main factor of slope denudation, under conditions, when factors of denudation are able to remove all material formed by frost weathering.

J. TRICART : Les ruptures de pente brutales sont fréquentes au bas des talus d'éboulis lorsque le matériel ne fournit pas d'argile. Le changement de processus en rend compte. C'est le cas, entre autres, lorsque l'éboulis de gravité est relayé par le ruissellement diffus et, ceci, pas seulement sous climat périglaciaire. Nous en avons observé, par exemple, des cas en Afrique occidentale, en zone sahélienne, dans des grès et quartzites. Au pied du talus d'éboulis, le ruissellement diffus évacue seulement, sur un glacis, les sables provenant de la désagrégation granulaire.

A. PISSART : C'est avec raison que M. Tricart souligne que ces ruptures de pente sont le résultat d'un changement de processus. Ici c'est la solifluction qui devient très active au pied du versant où la pente faible permet l'imbibition en eau.

R. A. G. SAVIGEAR : I had three comments to make but Professor Tricart has already made the first one. I agree completely with what he has said. My remaining two comments are as follows :

1. I do not think that it is wise to have observations regarding the characteristics of slope from the survey of simple profiles. Slope morphology usually varies considerably in the vertical and horizontal directions and if we are to relate the development of particular forms to the influence of particular processes I suggest that it is necessary to survey profiles in groups and not singly as Mr Pissart has done. If it is also possible to map the morphology of the areas between the profile-survey-lines this greatly improves our knowledge of the forms we are seeking to explain.

2. Because of my experience of the considerable variation in the characteristics of slope forms I do not think it is reasonable to attribute their development to a single process, or in many cases even to the dominance of a simple process.

Could Mr Pissart tell us (1) whether he has recognized a such morphological complexity on the slopes he has just discussed and (2) say whether there is any evidence of more than one process determining their formation?

A. PISSART : 1. Les profils montrés par diapositives ont été choisis parmi d'autres pour illustrer l'exposé. D'autres profils ont été levés qui vérifient la continuité latérale des aspects décrits. Cette continuité était d'ailleurs visible sur plusieurs photos.

2. Bien entendu, sur toutes les pentes plusieurs processus interviennent. Toutefois, dans le cas de pentes rectilignes comme celle de 6° décrite, un seul processus, à savoir la solifluxion en loupes, est responsable de la forme plane, exactement comme pour la pente de 32°, seule l'éboulis de gravité est responsable de la forme. Et pourtant, sur cette pente de 32°, le ruissellement peut aussi être actif en enlevant les débris les plus fins. Quand un processus est beaucoup plus actif que les autres, c'est lui qui façonne le modelé.

P. BIROT : Les photos et les commentaires de M. Pissart évoquent les glacis en roches tendres, dont M. l'abbé de Vaumas pense qu'ils se sont formés par solifluxion périglaciaire. Il n'y a jamais de loupes sur les glacis méditerranéens, mais M. Pissart lève cette objection, semble-t-il.