

Jan Dylik et René Raynal

Lódz — Strasbourg

TENDANCES NOUVELLES DANS LES RECHERCHES PÉRIGLACIAIRES DEPUIS LE CONGRÈS INTERNATIONAL DE GÉOGRAPHIE À RIO DE JANEIRO

La période qui s'est écoulée depuis le Congrès de Rio de Janeiro (1956—1964) a été caractérisée par une remarquable expansion des recherches de géomorphologie périglaciaire dans le monde entier: par une conséquence directe, l'inventaire des faits s'est notablement enrichi. Deux sortes de circonstances ont permis un tel développement: d'une part les missions dans les régions arctiques et antarctiques se sont multipliées, et par ailleurs de nombreux chercheurs ont fait porter leur effort sur des études de détail, qui sont désormais indispensables puisque la décade antérieure avait achevé les grandes reconnaissances et posé les problèmes généraux. La Commission de Géomorphologie Périglaciaire de l'U.G.I., pour sa part, prenant quelques initiatives précises, a joué le rôle qui lui incombe dans l'orientation des recherches et l'organisation du travail. Ainsi des colloques, avec discussion sur le terrain à propos de problèmes particuliers, furent réunis sous son égide en Pologne (septembre 1958), au Maroc (octobre 1959), en France (novembre 1962), en Hongrie et en Autriche (mai 1964). En outre les Congrès de l'U.G.I. (Stockholm, 1960) et de l'INQUA (Varsovie, 1961) furent l'occasion d'autres sessions de la Commission ou de symposiums, au cours desquels le point a pu être fait sur des recherches en voie de progression très rapide. Le *Bulletin de nouvelles de l'U.G.I.* a signalé en temps utile le programme et les résultats de ces réunions, dont les comptes-rendus détaillés furent publiés par le *Biuletyn Peryglacjalny*.

PROGRÈS DE L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES PÉRIGLACIAIRES RÉCENTS ET ACTUELS

IMPORTANCE ET DÉFINITIONS DE LA GLACE DU SOL

L'attention des chercheurs s'est portée de plus en plus sur l'étude précise de la glace du sol, agent fondamental dans la genèse et le développement de la majorité des phénomènes périglaciaires. En effet, elle conditionne

directement des aspects de la morphologie tels que les gonflements de terre, les pierres soulevées et cercles de pierres, les pingos et une partie des polygones de fentes de gel; d'une façon indirecte, lorsqu'il y a pergélisol ou gélisol saisonnier durable et important, elle est responsable des congélifluxions et autres processus similaires de versants. Par ailleurs la progression de la glace du sol aboutit au pergélisol, que l'on a de plus en plus de raisons de considérer comme une formation antinomique de celle des glaciers, ce qui lui donne son importance en tant que caractéristique essentielle du milieu périglaciaire (Chumskiy 1955; Markov 1956; Zubakov 1961; Boicov 1961).

Les travaux de Chumskiy, particulièrement dignes d'intérêt par leurs apports précis dans les domaines de la connaissance et de la méthodologie, ont établi une distinction claire entre trois types différents de glaces du sol:

- la glace de fente ou la glace de veine dont la formation est strictement conditionnée par des fentes de gel, ou plus exactement par des fentes de contraction thermique, elles-mêmes déterminées par des changements rapides de températures très basses, en-dessous de -20°C ;

- la glace d'injection formée, au cours d'une période de regel très rapide, par l'eau injectée dans un milieu fermé;

- la glace de ségrégation, enfin, résultant d'une congélation lente de l'eau du sol, en milieu fermé ou non fermé. Ce type de glace prend des aspects variables en fonction des mouvements, plus ou moins gênés, de l'eau en cours de gel: glace dispersée ou glace d'interstices, provenant de la congélation d'eau relativement libre dans ses mouvements; glace pelliculaire, en couches parallèles à la surface, obliques ou verticales (*Schlieren*). De toute façon, la glace de ségrégation constitue le ciment du sol gelé ou du pergélisol, dont elle provoque l'apparition et détermine le développement.

ÉTUDES CONCERNANT LA GLACE DE FENTE ET LES FORMES CORRESPONDANTES

Formation de la glace de fente et théorie de la contraction thermique

La littérature des dernières années manifeste une réaction générale contre la théorie de Taber, ou théorie de l'expansion, en faveur de la théorie de Leffingwell, ou théorie de la contraction. Ce nouveau point de vue a conduit les auteurs à considérer la glace de fente comme une variété très originale de glace du sol (outre: Chumskiy 1955, 1960; voir: Black 1952, 1954, 1963; Lachenbruch 1959; Péwé 1962). En effet, les structures de ce type de glace, étudiées en détail, ont montré

sa liaison exclusive avec des fentes de contraction thermique; entre autres indices que les structures révèlent on a retenu notamment: la foliation verticale (Chumskiy; Black; Péwé), le recoupement des couches de glace anciennes par des couches plus récentes (Péwé 1962; Vtiurin et Vtiurina 1960), l'existence de projectiles à la partie supérieure d'une fente en coin recoupant la glace la plus récente (Péwé 1962), la disposition linéaire enfin des *air bubbles* et des xénolithes dans la masse de la glace de fente (Péwé 1962).

La plupart des auteurs admettent maintenant l'idée d'un développement de la glace de fente par l'action de cycles annuels successifs comportant:

- la formation d'une fente de contraction en hiver,
- son remplissage par de l'eau qui gèle au printemps.

Dans ces conditions il est aisé de concevoir que le volume atteint par la glace de fente est fonction du nombre des cycles en question.

Fentes de gel à remplissage direct: «sand wedges», «gruntovye zyly»

Elles ont été découvertes et décrites par Pataleyev (1955), et étudiées ensuite par Danilova (1959), Péwé (1959), Bobov (1960), Katasonov (1962), Black et Berg (1963). Il s'agit de fentes de contraction thermique remplies par un matériel quelconque, notamment sableux. Leur apparition est conditionnée soit par l'aridité du climat régional (Antarctide), soit par la sécheresse du terrain du fait de causes locales (position en interfluve). Leur existence plaide en faveur de la théorie de la contraction thermique; mais elle complique l'interprétation des structures de fente fossiles du Pléistocène: le remplissage visible a-t-il remplacé la glace, ou bien celle-ci n'a-t-elle jamais existé dans la fente?

Les polygones de fentes de gel

Alors que les problèmes de leur genèse et de leur dynamique avaient été négligés jusqu'à présent, de nombreux auteurs les ont abordés au cours des dernières années (Lachenbruch 1959, 1962; Dostovalov 1960; Dostovalov et Popov 1963; Dylik 1963). Toute cette littérature a mis en valeur d'une manière générale l'importance de „zones faibles” dans la roche, facilitant le développement d'un réseau de fentes. D'autre part on a précisé les conditions thermiques de la contraction: il faut des températures changeant très rapidement entre -20°C et -40°C (Vtiurin et Vtiurina 1960).

En ce qui concerne le rôle du milieu rocheux, contrairement à l'opinion

anciennement exprimée, que seul du matériel fin et même très fin convient au développement des polygones (Taber 1943; Popov 1955), il paraît maintenant démontré qu'un matériel meuble quelconque peut être affecté par de tels processus, mais l'influence du régime thermique se combine avec celle de la roche: si les températures se cantonnent entre des limites relativement hautes, seuls les sédiments fins permettent un modelé en polygones; avec les conditions thermiques les plus rudes au contraire, ceux-ci sont possibles même dans du matériel grossier (Black 1954; Chumskiy 1960; Péwé 1962).

L'épaisseur des fentes a été mise en relation non seulement avec la durée du phénomène, c'est-à-dire avec le nombre des cycles annuels élémentaires (voir ci-dessus), mais encore — le cas échéant — avec la vitesse de sédimentation d'une formation superficielle en cours de dépôt et affectée par des processus de gel du sol. La nomenclature adoptée distingue du reste des *fentes épigénétiques* et des *fentes syngénétiques*. Les premières correspondent à une vitesse de sédimentation nulle; les secondes se développent en même temps que la sédimentation se poursuit.

Quant aux dimensions des polygones, on a pu démontrer qu'elles dépendent (toutes valeurs étant comparables par ailleurs) des conditions climatiques. B. N. Dostovalov a pu établir l'importance du gradient thermique vertical dans la roche, comme facteur déterminant des tensions d'où résultent les fentes: d'une manière plus précise, les distances entre celles-ci sont inversement proportionnelles au gradient thermique. En se fondant sur cette loi on a affirmé que les grands polygones ont été formés dans des conditions climatiques plus douces que les polygones de petite dimension (Popov 1958a, b).

ÉTUDES PORTANT SUR LA GLACE D'INJECTION ET LES PINGOS

Le mérite d'une définition claire de la glace d'injection revient à Chumskiy dans son traité de 1955 sur les structures de la glace du sol. Désormais le temps est révolu des études purement descriptives des traits externes des formes du relief liées à la glace d'injection. Les auteurs ont abordé, en grand nombre, les problèmes de dynamique, notamment par l'examen des sections verticales, par l'analyse détaillée des structures visibles dans les coupes et plus spécialement des structures de la glace dans ces coupes (Craig 1959; Holmes, Hopkins & Foster 1963; Kosmatchev 1953; Laverdière 1955; Müller 1959; Prieobrazenskiy 1961; Mackay 1963; Saint-Onge 1961; Stager 1956).

Il en résulte un foisonnement d'études sur le *thermokarst*. Ce terme,

peut-être mal choisi, existe depuis 1932 (Ermolaev 1932). Il a été adopté et vulgarisé par S. W. Müller (1947), puis employé par une quantité d'auteurs (Black & Barksdale 1949; Hopkins 1949; Hopkins, Karlstrom *et al.* 1955; Péwé 1954; Cailleux & Taylor 1954; Pierce 1961; Katchurin 1955, 1962; Mukhin 1960; Carson & Hussey 1962; Livingstone 1963). Au cours de sa réunion de 1962, la sous-commission de terminologie périglaciaire a proposé l'expression *karst thermique*.

A la suite des travaux ci-dessus mentionnés, et plus spécialement ceux de Katchurin et Mukhin, l'on est conduit à distinguer deux types différents de karst thermique:

- le karst thermique généralisé, lié à un certain réchauffement climatique et apparaissant au milieu du pergélisol en voie de dégradation,

- le karst thermique local (Katchurin 1955), développé au contraire dans des régions de climat rude où le pergélisol est en voie d'expansion.

Il résulte de cette analyse que la distinction des deux types de karst thermique a une importance paléogéographique et paléoclimatique considérable. Il importe donc de savoir reconnaître les formes et structures originales de chacun des deux types: on peut déceler par exemple des modalités divergentes dans le moulage des polygones de fentes de gel.

RECHERCHES CONCERNANT LE MILIEU PÉRIGLACIAIRE

Nous rangerons sous cette rubrique la mention de toutes les études faites en vue d'une meilleure connaissance, notamment quantitative, des processus liés entre eux, qui constituent le milieu périglaciaire.

CONTRIBUTIONS À LA CONNAISSANCE GÉNÉRALE DU MILIEU PÉRIGLACIAIRE

Diverses études entreprises et poursuivies au Canada, apportent de nouvelles précisions en ce qui concerne les données climatiques fondamentales du milieu périglaciaire: cycles gel—dégel (Andrews 1963; Cook 1962; Fraser 1959; Haywood 1961; Matthews 1962), rapports entre le régime thermique et le pergélisol (Williams 1961).

Certains chercheurs ont effectué des travaux de laboratoire en vue de préciser les modalités de genèse et de développement des processus les plus généraux, tout en essayant d'évaluer quelques données quantitatives à leur sujet. Ainsi les études de J. Tricart sur la congélifluxion (Tricart 1954) et sur la gelifraction (Tricart 1956) apportent dans ces domaines

de très précieux renseignements. D'autres recherches ont porté sur des types particuliers de formations ou de structures, à propos desquelles des mesures furent faites sur le terrain et comparées, dans certains cas, au résultat d'expérimentation en laboratoire. Il en va ainsi pour les sols structuraux ou les types variés de polygones (Corte 1959, 1961, 1962, 1963; Pataleyev 1955; Pissart 1964; Washburn 1963).

Les processus de versants et les mouvements de particules et débris sur les pentes font l'objet d'une mise au point, en ce qui concerne la Scandinavie, par Rapp et Rudberg, dans le no 14 du *Biuletyn Peryglacjalny* (1964); ces auteurs y évoquent une série d'études antérieures (Rapp 1960, 1961, 1962; Rudberg 1958, 1962, 1963). En Amérique du Nord et dans les régions arctiques voisines, diverses recherches ont abouti à des observations précises et à des données quantitatives sur les mouvement de masse en milieu climatique de type polaire ou alpin (Everett 1962, 1963; Hamilton 1963; Poulin 1961, 1962; Washburn 1962, 1963). Enfin les modalités du ruissellement n'ont pas été négligées, et les études de A. Jahn (1958, 1961) sont parmi les plus riches d'enseignements.

CONTRIBUTIONS A UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DES PROCESSUS CHIMIQUES

Les processus chimiques liés aux climats froids ont été longtemps méconnus, mais des études récentes apportent dans ce domaine d'utiles précisions. Kelly et Zumberge (1961) soulignent l'importance de certaines altérations. Black et Berg (1963b) insistent sur le rôle des cycles de dessiccation liés au rythme gel—dégel, et sur l'intervention du sel dans les processus de désintégration en milieu froid. D'autres auteurs ont consacré des monographies à divers types d'altérations: formation de cavernes (Calkin et Cailleux 1962), collaboration des actions éoliennes et de l'altération chimique (Angino, Turner et Zeller 1962; Nichols 1963; Péwé 1962), importance des lichens pour l'altération (Black et Berg 1963; Llano 1962). Certains de ces processus ont été analysés quantitativement.

Ce nouveau courant d'études comporte naturellement des aperçus sur une pédologie des climats froids (Douglas et Tedrow 1960; Hill et Tedrow 1961; Tedrow et Brown 1962; Ugolini, Tedrow et Grant 1963; Ugolini et Tedrow 1963), et plus spécialement sur les relations existantes entre les processus pédologiques et le pergélisol (Brown 1963; Drew et Tedrow 1962; Tedrow et Harriss 1960; Tedrow 1962). Enfin Brown (1963) a amorcé le développement d'une chimie de la glace de fente, en montrant l'importance de la distribution des ions.

PROGRÈS DANS LES ÉTUDES SUR LES STRUCTURES PÉRIGLACIAIRES DU PLÉISTOCÈNE

Ils sont dûs, pour une grande part, à l'emploi systématique de méthodes d'observation et d'analyse des structures dans les trois dimensions.

STRUCTURES DES POLYGONES DE FENTES DE GEL

Au cours de la période considérée de nombreuses observations portant sur la surface du sol ont été faites, soit sur le terrain même, soit sur photos aériennes (Rapp 1962; Svensson 1962a, b, c, 1963a, b, c, 1964). Mais surtout les polygones ont été reconnus en partant de l'étude d'une série de fentes observées en section verticale; les angles entre les plans de fentes et les distances entre ces plans à divers endroits ont été mesurés (Goździk 1964). En outre les structures des remplissages des fentes et celles des zones de contact ont été analysées par plusieurs auteurs. Elles sont utilisées en effet comme critères à diverses fins:

- pour déterminer les fentes de gel vraies, celles qui sont disposées en polygones (Johnsson 1959; Dylik 1963),
- pour distinguer les fentes épigénétiques et syngénétiques (Kaplina et Romanovski 1960; Katasonov 1962),
- pour distinguer les fentes de glace proprement dites et les fentes de contraction à remplissage primitif (Kaplina et Romanovski 1960; Dylik 1963; Goździk 1964).

Les modalités du remplissage des fentes suscitent encore des hypothèses discutées, car elles ne sont pas aisées à imaginer. La connaissance du karst thermique apporte en la matière des lumières nouvelles en précisant les processus d'évolution „descendante” des polygones de fentes de glace: un rôle notable, à préciser dans le détail, semble joué par les ravins et réseaux de petits vallons (particulièrement pour l'explication des formes coniques appelées *bayjarakhs*), par les flaques ou dépressions lacustres miniatures, appelées *alas* et résultant de la fonte de la glace de ségrégation dans des blocs polygonaux. Cependant A. I. Gusiev (1958) nie l'efficacité de ces processus et doute même de la conservation des polygones de fentes de glace à l'état fossile: mais il s'agit d'une position extrême à laquelle la plupart des chercheurs ne peuvent se rallier.

FORMES ET STRUCTURES LIÉES AUX PINGOS PLÉISTOCÈNES

C'est aux Pays-Bas, en Belgique et dans le Nord de la France que l'attention a été attirée sur des dépressions fermées dont la genèse est attribuable à la dégradation de pingos pléistocènes (Maarleveld et Van

den Toorn 1955; Cailleux 1956, 1961; Pissart 1956, 1958). Les premières analyses se bornaient à décrire les aspects morphologiques et à leur attribuer un âge. Plus récemment l'on s'est attaché à étudier les structures en coupe verticale: leur interprétation n'est possible que grâce à la connaissance de la dynamique de la glace d'injection (Pissart 1963; Dylik 1964; Maarleveld 1965). Cependant ces formes dérivées de pingos peuvent témoigner soit d'un karst thermique généralisé, soit d'un karst thermique local. Les études en cours fourniront sans doute des critères nouveaux de différenciation concernant les formations ou formes fossiles en question.

ESSAIS DE CLASSEMENT GÉNÉTIQUE DES STRUCTURES PÉRIGLACIAIRES DU QUATÉNAIRE

Une terminologie et un classement purement descriptifs ne peuvent plus, en l'état actuel de la recherche, être tenus pour suffisants. En effet, les mêmes expressions peuvent s'appliquer à des phénomènes hétérogènes, en raison des convergences de forme: ainsi certaines structures périglaciaires vraies ressemblent à d'autres types de structures qui sont azonales, comme les *load casts*. La terminologie uniquement descriptive ne saurait renseigner au sujet du milieu morphoclimatique correspondant aux formes. Il a donc fallu établir des classifications génétiques des formations pléistocènes, et ces tentatives se fondent sur des études comparatives entre des structures anciennes observées et des phénomènes récents ou actuels dont la dynamique est connue. Le procédé a été appliqué depuis longtemps déjà aux structures dites *fentes en coin*. On l'a étendu aux dépressions fermées provenant des pingos et à diverses structures dues aux processus qui se développent dans la zone active (Olchowik-Kolasińska 1962). Enfin la sous-commission de terminologie périglaciaire, réunie à Paris en 1962, a élaboré, sur l'initiative de J. Dylik, un projet de classification des formes et formations fossiles en fonction des types de glace du sol. On a ainsi distingué, principalement la famille des structures pléistocènes liées à la glace de fente (comme les polygones ou les fentes fossilisées) et la famille des structures liées à la glace d'injection (comme celles qui sont dérivées de la dégradation d'anciens pingos).

LES ÉTUDES CRITIQUES

Durant la période écoulée depuis le Congrès de Rio, et surtout au cours des dernières années, un effort de critique a été exercé sur des questions fondamentales.

OPINIONS NÉGATIVES À PROPOS DES STRUCTURES PÉRIGLACIAIRES
DU PLÉISTOCÈNE

Nature des critiques exprimées

Il faut reconnaître qu'à l'origine des opinions critiques se trouve une exagération imprudente de la part de beaucoup d'auteurs, qui traitent de périglaciaire toute déformation des structures originelles dans un sédiment. C'est là une rançon de l'expansion peut-être trop rapide des recherches périglaciaires, ou soi-disant telles, dans le monde entier. L'intérêt porté à ces domaines de la géomorphologie a suscité bien des travaux hâtifs, marqués par une notoire insuffisance dans la connaissance des phénomènes actuels et dans celle des critères distinctifs des formations fossiles. De telles études abusent du reste des classifications descriptives ou des termes trop généraux comme *cryoturbation*, *involution*, etc.. Plusieurs parmi les spécialistes ont mis leurs lecteurs en garde à propos de certaines structures pseudo-périglaciaires, notamment celles qui ressemblent aux fentes de gel (Johnsson 1959; Dylik 1963) et celles qui, comme les *load casts*, entrent dans la catégorie des *involutions* ou des *cryoturbations* supposées (Halicki 1960; Klaczyńska 1960; Tricart 1962).

Cependant certaines opinions expriment un scepticisme catégorique à l'égard de toute géomorphologie périglaciaire systématique du Pléistocène. A. I. Gusiev (1958) décrit des exemples de développement descendant de polygones de fentes qui ne donnent pas de moulage: il en déduit qu'*a fortiori* les traces de fentes de gel ne peuvent avoir été conservées depuis le Pléistocène. Et à partir de telles données cet auteur croit pouvoir conclure à l'inexistence du pergélisol pléistocène en Europe. Chtchukin (1963) aboutit aux mêmes conclusions sans partir d'observations personnelles. Certaines expériences de laboratoire (Siuta 1962; Dzułyński 1963; Butrym *et al.* 1964) tendraient d'ailleurs à démontrer que toutes les structures reconnues comme périglaciaires pourraient être reproduites sans intervention du froid: mouvements provoqués par la surcharge de couches superposées (*load casts*), par des injections de couches saturées d'eau, par des venues de gaz. A partir de ces constatations expérimentales, si toutes les déformations de couches sédimentaires survenues au Pléistocène, et considérées jusqu'à présent comme périglaciaires, peuvent s'expliquer par l'action de processus non conditionnés par le froid, il faut — d'une part rejeter comme non significatifs et dangereux des termes impliquant un milieu périglaciaire (*congelifluxion*, *cryoturbation*) — et d'autre part considérer les structures dites périglaciaires comme sans valeur paléoclimatique ou stratigraphique.

Discussion de ces opinions

Le raisonnement déductif de certains des auteurs mentionnées ne s'appuie que sur une connaissance incomplète des faits réels et des structures: A. I. Gusiev ne semble avoir porté son attention que sur quelques phénomènes particuliers, actuellement observables; les démonstrations de Chtchukin sont plus purement théoriques encore. Quant à l'expérimentation en laboratoire, est-il besoin de rappeler que, pour qu'elle soit concluante, il faut respecter les deux principes fondamentaux d'échelle et d'identité (*cf.* Baulig 1950; Hubbert 1937; Scheidegger 1963; Tricart 1956, 1965). Ainsi il est évident que les valeurs de dimension spatiale et de temps demeurent en laboratoire nécessairement limitées: en conséquence, pour obtenir l'identité des processus naturels et de ceux de laboratoire il convient, en application de la formule newtonienne du mouvement, d'utiliser des matériaux dont le poids spécifique permettra de maintenir la valeur de l'équation; en d'autres termes ces matériaux doivent être d'une légèreté impossible à réaliser dans la plupart des cas.

D'autre part il semble que certains auteurs, abusant des comparaisons formelles et superficielles entre les dessins des structures obtenues en laboratoire et ceux qui proviennent du terrain, ne tiennent pas assez compte des données précises d'observation de celui-ci et surtout des différences d'échelle. Ainsi dans l'article ci-dessus cité de Butrym, Cegła, Dżułyński et Nakonieczny (1964, fig. 19), on prend comme exemple de comparaison un croquis de fente en coin particulièrement favorable à la démonstration proposée, mais on ne fait pas mention d'une quantité de structures fossiles apparentées qui, en ce qui les concerne, peuvent être rattachées sans aucun doute à des polygones de fentes visibles et bien conservés sur le terrain. Or ces dernières sortes de structures, qui n'ont aucun rapport avec celles que produisent les expérimentations évoquées, ont été décrites en de multiples publications et ne sauraient être négligées dans un raisonnement (voir notamment les polygones étudiés par Soergel 1936; Schafer 1949; Dylik 1961, 1964; Goździk 1964).

Quant aux auteurs qui rejettent la distinction d'une solifluxion originale de type périglaciaire ou congélifluxion (Butrym *et al.* 1964), ils négligent une donnée bien établie, à savoir que les mouvements de masse en terrain peu incliné ne sont possibles qu'à la faveur d'un substratum gelé. Et dans ces conditions, des formations à la fois épaisses et congélifiées signifient la présence d'un véritable pergélisol, tandis que les dépôts dus à une congélifluxion saisonnière sont plus minces et plus facilement perturbés par d'autres processus (Raynal 1959). On peut dire en bref, que les opinions systématiquement critiques ont soit sous-estimé, soit ignoré

les apports positifs de la littérature consacrée aux problèmes périglaciaires: en conséquence les auteurs qui exposent ces points de vue négatifs ont généralement passé sous silence le caractère de critère que comportent certaines formations typiquement périglaciaires et très souvent identifiables sur le terrain: dépôts originaux des versants ou des vallées en climat froid, loess, cailloutis éolisés. Les critères sont d'autant plus sûrs que de telles formations se juxtaposent le plus souvent en complexes conservés sur le terrain et liés à des horizons stratigraphiques définis.

DISCUSSION DE LA NOTION ET DU TERME DE «PÉRIGLACIAIRE»

Les critiques qui viennent d'être évoquées, quoique excessives ou trop théoriques pour la plupart, ont contribué cependant à souligner la nécessité de préciser la notion même qu'exprime le terme *périglaciaire*. De nombreux auteurs ont du reste traité certains phénomènes de périglaciaires jusque dans les basses latitudes. Il y a là une évidente extension de sens en égard à l'étymologie du mot, qui fut créé par Łoziński. La Commission de Géomorphologie Périglaciaire de l'U. G. I. a donc décidé de diffuser une enquête sur la notion et le terme de *périglaciaire*, suivant un questionnaire établi en novembre 1962, à Paris, par la sous-commission de terminologie. Cette dernière proposait en même temps ses propres réponses.

Un certain nombre d'opinions personnelles ont été exprimées à ce sujet auparavant (Boesch 1960) et depuis lors: ces dernières feront l'objet de publications. En attendant J. Dylik (1964) a exposé dans le *Biuletyn Peryglacjalny*, no 14, non seulement les termes du questionnaire et des réponses de la sous-commission, mais de plus une analyse historique et critique de l'ensemble complexe des problèmes ainsi soulevés. Notons simplement que les points les plus importants sur lesquels un large accord paraît acquis sont les suivants:

— étymologie — Le terme *périglaciaire*, héritage historique, ne saurait être accepté dans un sens uniquement étymologique,

— caractères essentiels impliqués dans la notion de *périglaciaire* — Le modelé périglaciaire se caractérise par des formes et par des structures du sol liées à un froid intense, au gel, et surtout aux alternances gel—dégel. Il convient de distinguer la cryergie proprement dite de l'ensemble des processus dits périglaciaires,

— le milieu périglaciaire — Il est défini non pas par certains phénomènes particuliers (gélivation, éolisation, etc...) mais comme un espace caractérisé par un système morphologique combinant des éléments variés. Parmi les processus entrant dans cette combinaison, certains existent dans d'autres systèmes morphoclimatiques. D'une manière générale le milieu

dit périglaciaire, correspond, non pas spécialement à la proximité des glaciers mais plutôt et d'une manière plus générale à des régions froides non englacées.

CONTRIBUTION CROISSANTE DES RECHERCHES SUR LE PÉRIGLACIAIRE À LA CONNAISSANCE DE L'ÉVOLUTION GÉOMORPHOLOGIQUE ET PALÉOCLIMATIQUE

PÉRIGLACIAIRE ET STRATIGRAPHIE

Une connaissance plus précise des structures et des processus périglaciaires a permis, au cours des années écoulées, de définir des unités stratigraphiques froides dans les formations géologiques superficielles, plus spécialement dans celles du Pléistocène. De telles unités stratigraphiques se rangent dans des catégories diverses: loess, sables éoliens, dépôts de versants à litage (périodique ou non) et notamment grèzes, épandages de glaciais, dépôts de débâcles de rivières périglaciaires, etc...

De nombreuses études de détail ont été consacrées à des portions de coupes reconnues comme unités stratigraphiques froides. L'analyse des textures réclame bien entendu, l'emploi de méthodes devenues classiques (composition minéralogique et pétrographique, granulométrie, morphoscopie entre autres). En ce qui concerne la structure, il convient de distinguer d'une part celle qui caractérisait, à l'origine, la formation donnée, et d'autre part celle qui est due à l'action propre de processus périglaciaires ultérieurs. Les études ainsi menées ont permis l'interprétation de la dynamique des unités stratigraphiques définies, d'où l'on a pu déduire la reconstitution d'un milieu climatique correspondant. Une succession stratigraphique nettement établie par ces méthodes donne la clef d'une évolution paléoclimatique.

DIVERSITÉ DES DOMAINES RÉGIONAUX D'APPLICATION

La méthode stratigraphique, connue depuis longtemps dans ses principes, donne lieu à des applications de plus en plus rigoureuses en vue de reconstitutions paléoclimatiques. La littérature de la plupart des pays d'Europe comporte en effet des études de formations périglaciaires du Quaternaire, insérées avec plus ou moins d'évidence dans une série stratigraphique définie. Parmi les recherches les plus récentes, quelques-unes ont essayé de préciser certains épisodes climatiques appartenant à la dernière période froide pléistocène (Würm): en Pologne Mojski (1961) a établi une stratigraphie relative à des structures périglaciaires de cet âge dans

la région de Lublin et J. Dylik a démontré l'existence d'une évolution climatique würmienne qui comporte la croissance, puis la décroissance du froid, non sans des interruptions par des interstades doux (Dylik 1963, 1964). Dans les Andes Centrales du Pérou le modelé des ignimbrites a permis de dresser la séquence des modifications du climat depuis le Tardiglaciaire (Dollfus, Tricart, Michél 1963).

Mais on essaye de plus en plus de préciser la datation et l'importance des phases froides du Quaternaire ancien et moyen. C'est ce qu'a tenté en Amérique du Nord L. Horberg (1953) pour le NE de l'Illinois. Un colloque organisé en 1959 par l'Université de Liège et patronné par la Commission de Géomorphologie Périglaciaire a rendu possible une confrontation des connaissances concernant le périglaciaire antéwürmien dans divers pays d'Europe et en Afrique du Nord (comptes rendus dans le no 9 du *Biuletyn Peryglacjalny*, 1960). Au Maroc, les travaux de R. Raynal, portant sur une quantité de dépôts consolidés et bien conservés, ont mis l'accent sur l'importance de plusieurs pluviaux froids successifs dans le façonnement du relief et sur les processus originaux de la sédimentation correspondante: couvertures des glacis, grèzes ou éboulis de pente lités (Raynal 1955, 1956, 1959, 1961). Une équipe de géologues et géomorphologues a pu, dans ce pays et sur ces problèmes, organiser en septembre 1959, un colloque sur le terrain à travers les massifs de l'Atlas (G. Choubert, G. Couvreur, J. Le Coz, F. Joly, G. Maurer, R. Raynal 1961). Dans les Andes péruviennes O. Dollfus a également étudié des formations de pente litées ou congélifluées, qui permettent de conclure à une succession de plusieurs périodes froides pléistocènes, dont l'efficacité géomorphologique a été en décroissant depuis le Quaternaire ancien (Dollfus 1958).

Qu'il nous soit permis de rappeler, en terminant, le rôle de coordination et d'orientation que la Commission de Géomorphologie Périglaciaire de l'U.G.I. a tenté de jouer au milieu de ce développement considérable des recherches. Elle a mis, comme nous l'avons vu plus haut, certains problèmes essentiels de terminologie à l'ordre du jour. Dans le domaine de la représentation cartographique, tenant compte des résultats obtenus au cours d'essais antérieurs, notamment en France (Tricart 1956) et en Union Soviétique, elle a établi une liaison constante avec les chercheurs et organismes qui s'attachent à élaborer des cartes de géomorphologie périglaciaire à des échelles variées (Brunnschweiler 1962; Sekyra 1961). Du reste un premier projet de carte mondiale a été mis au point, aboutissant à une maquette provisoire (Dylik 1962). La Commission met en outre à son actif la succession de colloques et réunions mentionnée au début du présent article. Enfin le *Biuletyn Peryglacjalny* a servi d'organe officiel de la Commis-

sion, non seulement en diffusant des comptes-rendus, des rapports et des enquêtes, mais en publiant toutes les études susceptibles d'apporter des inspirations nouvelles quant aux domaines de recherches et quant aux méthodes. Durant la période considérée il a connu un grand développement et une diffusion croissante. Il est seulement regrettable que le service d'information bibliographique n'ait pas été aussi régulièrement assuré que prévu, malgré des appels répétés aux spécialistes des divers pays intéressés à la géomorphologie périglaciaire.

Bibliographie

- Angino, E. E., Turner, M. D., Zeller, E. J. 1962 — Reconnaissance geology of lower Taylor Valley, Victoria Land, Antarctica. *Bull. Geol. Soc. America*, vol. 73.
- Andrews, J. T. 1963 — The analysis of frost-heave data collected by B. H. J. Hayward at Schefferville, Labrador-Ungava. *Canadian Geogr.*, vol. 8.
- Baulig, H. 1950 — Essais de géomorphologie. Les concepts fondamentaux de la géomorphologie. Paris.
- Black, R. F. 1952 — Growth of ice-wedge polygons in permafrost near Barrow, Alaska (Abst.). *Bull. Geol. Soc. America*, vol. 63.
- Black, R. F. 1954 — Permafrost — a review. *Bull. Geol. Soc. America*, vol. 65.
- Black, R. F. 1963 — Les coins de glace et le gel permanent dans le Nord de l'Alaska. *Annales de Géographie*, no 391.
- Black, R. F., Barksdale, W. L. 1949 — Oriented lakes of Northern Alaska. *Jour. Geol.*, vol. 57.
- Black, R. F., Berg, T. E. 1963 a — Dating with patterned ground, Victoria Land, Antarctica. *Amer. Geophys. Union Trans.*, vol. 44.
- Black, R. F., Berg, T. E. 1963 b — Hydrothermal regimen of patterned ground, Victoria Land, Antarctica. *XIII Intern. Union Geodesy a. Geophys., Comm. of Snow and Ice*, Pub. 61.
- Black, R. F., Berg, T. E. (1963 c) — Patterned ground in Antarctica. *Intern. Conf. on Permafrost*, Purdue Univ.
- Black, R. F., Berg, T. E. 1963 d — Glacier fluctuations recorded by patterned grounds, Victoria Land. *Polar Record*, vol. 11, no 75, and: *Spec. Committee for Antarctic Research, Symposium on Antarctic geology*, Capetown, South Africa.
- Bobov, N. G. 1960 — Sovremennoye obrazovanie gruntovykh zyl i mielkopolygonalnogo reliefa na Leno-Viluysskoy mezhdurech'ie (Formation actuelle des veines de sol et du relief de petits polygones entre Lena et Viluy). *Trudy Inst. Mierzlotoviedeniya im. V. A. Obrutcheva*, t. 16; Moscou.
- Boicov, M. N. 1961 — O formirovanii reliefa v uslovyakh podzemnogo oledeneniya (Sur la formation du relief dans les conditions de la glaciation souterraine). *Trudy VSEGEI*, t. 64; Moscou.
- Brown, J. 1963 a — Organic terrain from a glaciated valley, northern Alaska. *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper* 73.

- Brown, J. 1963 b — Ice-wedge chemistry and related frozen ground processes. *Intern. Conf. on Permafrost*, Pardue Univ.
- Butrym, J., Cegła, J., Dżułyński, S., Nakonieczny, S. 1964 — New interpretation of „periglacial structures”. *Folia Quaternaria*, no 17; Cracow.
- Brunnschweiler, D. 1962 — The periglacial realm in North America during the Wisconsin glaciation. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Cailleux, A. 1956 — Mares, mardelles et pingos. *C. R. Acad. Sci.*; Paris.
- Cailleux, A. 1961 — Mares et lacs ronds et loupes de glace du sol. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 10.
- Cailleux, A. 1962 — Cartes de morphologie périglaciaire quaternaire en Europe. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Cailleux, A., Taylor, G. 1954 — Cryopédologie. Etude des sols gelés. Paris.
- Calkin, P., Cailleux, A. 1962 — A quantitative study of cavernous weathering (taffonnis) and its application to glacial chronology in Victoria Land, Antarctica. *Ztschr. f. Geomorph.*, Bd. 6.
- Carson, C. E., Hussey, K. M. 1962 — The oriented lakes of Arctic Alaska. *Jour. Geol.*, vol. 70.
- Chitchukin, A. A. 1963 — O tak nazvanykh „peryglacjalnykh yavleniyakh” (Sur les phénomènes dits „périglaciaires”). *Vestnik Moskovskogo Univ., ser. geogr.*; Moscou.
- Chumskiy, P. A. 1955 — Osnovy strukturnogo ledovedeniya (Principes de la glaciologie structurale). Moscou.
- Chumskiy, P. A. 1960 — K voprosu o proiskhojdenii zyl'nogo podzemnogo l'da (Sur le problème de la genèse de la glace de veines souterraines). *Trudy Inst. Mierzlotov. im. V. A. Obrutcheva*, t. 16; Moscou.
- Chumskiy, P. A. 1963 — Podziemnyie l'dy (The underground ice). *Doklady na Miedzunarodnoy Konf. po Mierzlotovedeniyu*, Akad. Nauk SSSR; Moscou.
- Colloque sur le périglaciaire préwurmien. *Biuletyn Peryglacjalny*, nr 9, 1961.
- Cook, F. A. 1962 — Freeze—thaw cycles at Resolute, N. W. T. *Geogr. Bull.*, no 12.
- Craig, B. G. 1959 — Pingo in the Thelon valley, N. W. T., radiocarbon age and historic significance of the contained organic material. *Bull. Geol. Soc. America*, vol. 70.
- Corte, A. E. 1959 — Experimental formation of sorted patterns in gravel overlying a melted surface. *U. S. Army Snow, Ice, and Permafrost Research Establishment Res.*, Rpt. 55.
- Corte, A. E. 1961 — The behavior of soils; Part I — Vertical sorting. *U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Lab. Res.*, Rpt. 85.
- Corte, A. E. 1962 a — The frost behavior of soils. Laboratory and field data for a new concept; Part II — Horizontal sorting. *U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Lab. Res.*, Rpt. 85, Part II.
- Corte, A. E. 1963 a — Relationship between four ground patterns, structure of the active layer, and type and distribution of ice in permafrost, Thule, Greenland. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 12.
- Corte, A. E. 1963 b — Vertical migration of particles in front of a moving freezing plane. *U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Lab. Res.*, Rpt. 105.
- Couvreur, G., Dresch, J., Joly, F., Le Coz, J., Maurer, G., Pujos, A., Raynal, R. 1961 — Excursion dans le Moyen Atlas, le Haut Atlas et le Rif. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 10.

- Danilova, N. S. 1956 — Gruntovyye zyl'y i ikh proiskhozhdenie (Veins de sol et leur origine). *Mat. osn. utchenia o mierzlykh zonakh ziemnoy kory*, vyp. 3; Moscou.
- Dollfus, O. 1958 — Un exemple de modelé de la haute montagne peruvienne, région du lac Huampa. *Bull. Assoc. Géog. Français*.
- Dollfus, O., Tricart, J., Michél, P. 1963 — Le modelé des ignimbrites de la forêt de pierre de Huaron. *Revue Géomorph. Dynamique*.
- Dostovalov, B. N. 1960 — Zakonomiernosti razvitiya tetragonalnykh sistem ledianyykh i gruntovykh zyl' v dispersnykh porodakh (Les lois d'évolution des systèmes tetragonaux des veines de glace et des veines du sol dans des roches meubles). *Perigl. yavleniya na territorii SSSR*, Moscou.
- Dostovalov, B. N., Popov, A. I. 1963 — Poligonalnyie sistemy zilnykh ldov i usloviya ikh razvitiya (The polygonal systems of ice veins and the conditions of their development). *Doklady na Miedzunarodnoy Konfer. po Mierzlotoviedieniu.*, Akad. Nauk SSSR; Moscou.
- Douglas, L. A., Tedrow, J. C. F. 1960 — Tundra soils of Arctic Alaska. *VII Intern. Congress of Soil Sci.*, vol. 4, Com. VI a. VII.
- Drew, J. V., Tedrow, J. C. F. 1962 — Arctic soil classification and patterned ground. *Arctic*, vol. 15.
- Dylik, J. 1961 — The Łódź region. Guide book of Excursion. C. *VI INQUA Congress, Warsaw*.
- Dylik, J. 1962 — Présentation des cartes mondiales du périglaciaire. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Dylik, J. 1963 a — Periglacial sediments of the Św. Małgorzata hill in the Warsaw — Berlin pradolina. *Bull. Soc. Sci. et Lettr. de Łódź*, vol. 14, 1.
- Dylik, J. 1963 b — Nowe problemy wiecznej zmarzliny plejstoczeńskiej (résumé: Problèmes nouveaux du pergélisol pléistocène). *Acta Geogr. Lodziensia*, 17.
- Dylik, J. 1964 a — Periglacial investigations and their significance for paleogeography. *Rev. Polish Acad. Sci.*
- Dylik, J. 1964 b — Sur les changements climatiques pendant la dernière période froide. *Report of the VI Intern. Congress on Quaternary, Warsaw 1961*, vol. 4.
- Dylik, J. 1964 c — Les recherches périglaciaires, leur sujet et leur signification paléogéographique. *Revue Acad. Sci. Polonaise*.
- Dylik, J., Dylikowa, A. 1960 — Compte-rendu des excursions du 19 au 30 septembre 1958. *Biuletyn Peryglacjalny*, nr 8.
- Dżułyński, S. 1963 — Polygonal structures in experiments and their bearing upon some periglacial phenomena. *Bull. Acad. Polonaise Sci., sér. géol. et géogr.*, vol. 11, no 3.
- Ermolaev, M. M. 1932 — Geologitcheskii i geomorfologitcheskii otcherk Ostrova B. Lakhovskogo (summary: Geological and morphological sketch of the Bolshoy Lakhovskiy Island). *Trudy Sovieta po izutcheniu proizvod. sil, ser. Yakutskaya*, vyp. 8; Lenin-grad.
- Everett, K. R. 1962 — Quantitative analysis of slope movements in northwestern Alaska. *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper* 68.
- Everett, K. R. 1963 a — Quantitative measurement of soil movement. *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper* 73.

- Everett, K. R. 1963 b — Slope movement, Neotoma Valley, southern Ohio. *Ohio State Univ. Inst. Polar Studies*, Rpt. 6.
- Fraser, J. K. 1959 — Freeze-thaw frequencies and mechanical weathering in Canada. *Arctic*, vol. 12.
- Goździk, J. S. 1964 — L'étude de la répartition topographique des structures périglaciaires. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 14.
- Gusiev, A. I. 1958 — Ob iskopaemykh „sledakh” mierzloty i „ledianykh” kliniakh v tchetvertitchnykh otlojeniakh (Sur „les traces” fossiles du pergélisol et des „fentes de glace” dans les dépôts quaternaires). *Geol. Sbornik Lvovskogo Geol. Obchtch.*
- Halicki, B. 1960 — O różnej genezie strukturalnych deformacji osadów w środowisku hydroplastycznym (Sur la différente genèse des déformations structurales des sédiments dans un milieu hydroplastique). *Biuletyn Peryglacjalny*, no 7.
- Haywood, B. H. J. 1961 — Studies in frost-heave cycles at S Schefferville. McGill Univ., Montreal, *McGill Sub-Arctic Res. Lab. Res. Papers*, no. 11.
- Hill, D. E., Tedrow, J. C. F. 1961 — Weathering and soil formation in the Arctic environment. *Amer. Jour. Sci.*, vol. 259.
- Holmes, G. W., Hopkins, D. M., Foster, H. L. 1963 — Pingos in central Alaska. *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper* 73.
- Hopkins, D. M. 1949 — Thaw lakes and thaw sinks in the Imuruk Lake Area, Seward Peninsula, Alaska. *Jour. Geol.*, vol. 57.
- Hopkins, D. M., Karlstrom, T. N. V., and others 1955 — Permafrost and ground water in Alaska. *Geol. Survey Prof. Paper*, 264-F.
- Horberg, L. 1953 — Pleistocene deposits below the Wisconsin drift in Northeastern Illinois. *State Geol. Survey, Rep. of Invest.*, no 165.
- Hubbert, M. K. 1937 — Theory of scale models as applied to the study of geologic structures. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 48.
- Hubbert, M. K. 1951 — Mechanical basis for certain familiar geologic structures. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 62.
- Jahn, A. 1958 — O niektórych badaniach geograficznych polskiej wyprawy naukowej na Spitsbergenie (Summary: Report on some geographical investigations carried out by the Polish scientific Spitsbergen Expedition). *Przegląd Geogr.*, t. 30.
- Jahn, A. 1961 — Quantitative analysis of some periglacial processes in Spitsbergen. *Zeszyty Naukowe Univ. Wrocławskiego, Nauki Przyrodn.*, ser. B, no 5.
- Johnsson, G. 1959 — True and false ice-wedges in Southern Sweden. *Geografiska Annaler*, vol. 41.
- Kachurin, S. P. 1955 — Vsegda li termokarst yavlayetsa priznakom degradacji mnogoletney mierzloty (Le karst thermique est-il toujours une preuve de dégradation du pergélisol?). *Materialy osn. utcheniya o merzlykh zonakh zemnoy kory*, vyp. 2; Moscou.
- Kachurin, S. P. 1962 — Thermokarst within the territory of the U.S.S.R. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Kaplina, T. N., Romanovskiy, N. N. 1960 — O psevdomorfozakh po poligonalno-zilnom ldu (Sur les pseudomorphoses après la glace de fentes polygonales). *Perigl. Yavleniya na Ter. SSSR*; Moscou.
- Katasonov, E. M. 1962 — Kriogennye tekstury, ledyanye i zymelanye zyly kak geneticheskiye priznaki mnogoletnyemerzlykh tchetvertitchnykh otlojeniy (Les tex-

- tures cryogènes et les veines de glace et de sol comme les traits caractéristiques du pergélisol dans les dépôts quaternaires). *Voprosy Kriolog. Izutcheniya Tchetvert. Otloj.*; Akad. Nauk SSSR; Moscou.
- Kelly, W. C., Zumberge, J. H. 1961 — Weathering of a quartz diorite at Marble Point, McMurdo Sound, Antarctica. *Jour. Geol.*, vol. 69.
- Klaczyńska, K. 1960 — Struktury spływowe i obciążeniowe w osadach czwartorzędowych (Summary: Flow and load structures in the Quaternary sediments). *Muzeum Ziemi*; Warszawa.
- Kosmatchev, K. P. 1953 — Bulguniakhy (les bulguniakhs = pingo). *Priroda*.
- Lachenbruch, A. H. 1959 — Contraction theory of ice-wedge polygons. *Bull. Geol. Soc. America*, vol. 70.
- Laverdière, C. 1955 — L'origine des pingos. *Revue Canadienne Géogr.*, vol. 9.
- Livingstone, D. A. 1963 — Alaska, Yukon, Northwest Territories, and Greenland; Limnology in North America. Univ. Wisconsin Press.
- Llano, G. A. 1962 — The terrestrial life of the Antarctic. *Sci. Amer.*, vol. 207.
- Maarleveld, G. C. 1965 — Frost mounds. A summary of the literature of the past decade. *Medd. Geolog. Stichting*, N. S., no 17.
- Maarleveld, G. C., Van der Toorn, J. C. 1955 — Pseudo-Sölle in Noord-Nederland. *Tijd. Kon. Ned. Aardrijksk. Gen.*, deel 72, no 4.
- Macar, P. 1958 — Les déformations péné-contemporaines de la sédimentation. *Revue Questions Sci. du 20 janvier 1958*.
- Mackay, J. R. 1962 — Pingos of the Pleistocene Mackenzie River Delta area. *Geogr. Bull.*, no 18.
- Mackay, J. R. 1963 — Origin of the pingos of the Pleistocene Mackenzie Delta area. *Nat. Res. Coun. Can., Assoc. Comm. on Soil and Snow Mechanics, Ottawa, Tech. Mem.*, no 76.
- Maréchal, R., Maarleveld, G. C. 1955 — L'extension des phénomènes périglaciaires en Belgique et aux Pays-Bas. *Med. Geol. Stichting*, N. S., no 8.
- Markov, K. K. 1956 — Tipy oledenieniya. Rasprostranienie i razvitie (Types des glaciations — Distribution et développement). *Trudy Tomsk. Gos. Univ.*, t. 133; Tomsk.
- Matthews, B. 1962 — Frost-heave cycles at Schefferville, October 1960 — June 1961, with critical examination of methods used to determine them. McGill Univ., Montreal, *McGill Sub-Arctic Res. Lab. Res. Papers*, no 12.
- Mojski, J. E. 1961 a — Stratigraphy of cryoturbate structures in the Würm-age deposits in the southern part of Dorohucza basin (Lublin Upland). *Biuletyn Peryglacjalny*, no 10.
- Mojski, J. E. 1961 b — Importance of some periglacial deposits and structures for the stratigraphy of Quaternary in Poland. *Abstracts of papers, VI INQUA Congress, Warsaw*.
- Muller, S. W. 1947 — Permafrost or permanently frozen ground and related engineering problems. Ann Arbor.
- Müller, F. 1959 — Beobachtungen über Pingos. *Meddelelser om Grønland*, Bd. 153, no 3.
- Nichols, R. L. 1963 — Geologic features demonstrating aridity of McMurdo Sound area, Antarctica. *Amer. Jour. Sci.*, vol. 261.
- Olchowik-Kolasińska, J. 1962 — Genetyczne typy struktur czynnej strefy zmarzliny

- (résumé: Classification génétique des structures de mollisol). *Acta Geogr. Univ. Lodziensis*, nr 10.
- Péwé, T. L. 1954 — Effect of permafrost on cultivated fields, Fairbanks Area, Alaska. *U.S. Geol. Survey Bull.*, 984-F.
- Péwé, T. L. 1959 — Sand-wedge polygons (tessellations) in the McMurdo Sound region, Antarctica — a progress report. *Amer. Jour. Sci.*, vol. 257.
- Péwé, T. L. 1960 — Multiple glaciation in the McMurdo Sound region, Antarctica — a progress report. *Jour. Geol.*, vol. 68.
- Péwé, T. L. 1962 — Ice wedges in permafrost, lower Yukon River area near Galena, Alaska. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Péwé, T. L. 1963 — Ice wedges in Alaska — classification, distribution, and climatic significance. (Abst.) *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper*.
- Pierce, W. G. 1961 — Permafrost and thaw depressions of a peat deposit in the Bear-tooth Mountains, northwest Wyoming. *U.S. Geol. Survey, Prof. Paper* 424-B.
- Pissart, A. 1956 — L'origine périglaciaire des viviers des Hautes Fagnes. *Ann. Soc. Géol. Belge*, t. 79.
- Pissart, A. 1958 — Les dépressions fermées dans la région parisienne. Le problème de leur origine. *Revue Géomorph. Dyn.*
- Pissart, A. 1963 — Les traces de „pingo” du Pays de Galles (Grande Bretagne) et du Plateau des Hautes Fagnes (Belgique). *Ztschft. f. Geomorphologie*, Bd. 7.
- Pissart, A. 1964 — Contribution expérimentale à la connaissance de la genèse des sols polygonaux. *Ann. Soc. Géol. Belge*, t. 87.
- Popov, A. I. 1955 — Proiskhojdeniye i razvitiye mochtchnogo iskopayemogo l'da (Origine et développement de la glace fossile). *Mat. k osnovam utcheniya o mierzlykh zonakh zymnoy kory*, vyp. 2; Moscou.
- Popov, A. I. 1958 a — Blotchnyj relief na severie Zapadnoy Sibiri i v Bolchozemelskoy tundre (Relief en blocs au Nord de la Sibérie Occidentale et dans la toundra de la Bolchaya Zemlya). *Vopr. Fizitch. Geogr. Polarnykh Stran*, vyp. 1; Moscou.
- Popov, A. I. 1958 b — Polarnyj pokrovnyj kompleks (Le système des formations polaires). *Vopr. Fizitch. Geogr. Polarnykh Stran*, vyp. 1; Moscou.
- Popov, A. I. 1961 — Cartes des formations périglaciaires actuelles et pléistocènes en territoire de l'U.R.S.S. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 10.
- Popov, A. I. 1962 — O psievdomierzlykh obrazovaniyakh (Sur les phénomènes pseudo-périglaciaires). *Vestnik Mosk. Univ., ser. geogr.*
- Poulin, A. O. 1961 — Photogrammetry and frost action. *Military Eng.*, vol. 53.
- Poulin, A. O. 1962 — Measurement of frost formed soil patterns using airphoto techniques. *Photogr. Eng.*, vol. 28.
- Preobrajenskiy, V. S. 1961 — Barkhany i gidrolakkolity Czernskoy Kotloviny (Dunes et hydrolaccolithes dans les Basins de Czernski). *Priroda*.
- Rapp, A. 1961 a — Recent development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, northern Scandinavia. *Geografiska Annaler*, vol. 43.
- Rapp, A. 1961 b — Studies of the postglacial development of mountain slopes. *Medd. Upsala Univ. Geogr. Inst.*, 159.
- Rapp, A. 1962 — Kärkevagge. Some recordings of mass-movements in the northern Scandinavian mountains. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.

- Rapp, A., Gustavsson, K., Jobs, P. 1962 — Iskilar i Padjelanta? (summary: Ice-wedge polygons? in Padjelanta, Swedish Lappland). *Ymer*, ärg. 82.
- Rapp, A., Rudberg, S. 1964 — Studies on periglacial phenomena in Scandinavia 1960—1963. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 14.
- Raynal, R. 1959 — Les éboulis ordonnés au Maroc. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 8.
- Raynal, R. 1956 — Les phénomènes périglaciaires et leur rôle dans l'évolution de relief au Maroc. (*Congrès Intern. Géogr. Rio de Janeiro*). *Biuletyn Peryglacjalny*, no 4.
- Raynal, R. 1960 — Le périglaciaire antéwurmien au Maroc. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 9.
- Raynal, R. 1961 — Plaines et piedmonts du bassin de la Moulouya, Maroc oriental.
- Raynal, R. 1964 — Recherches de géomorphologie périglaciaire en Afrique du Nord. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 14.
- Rudberg, S. 1958 — Some observations concerning mass movement on slopes in Sweden. *Geol. Fören. Stockholm Förhandl.*, Bd. 53.
- Rudberg, S. 1962 — A report on some field observations concerning periglacial geomorphology and mass movement on slopes in Sweden. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Rudberg, S. 1963 — Morphological processes and slope development in Axel Heiberg Island, Northwest Territories, Canada. *Nachr. Wiss. Akad. Göttingen*.
- Rudberg, S. 1964 — Slow mass movement processes and slope development in the Norra Stofjäll area, southern Swedish Lappland. *Ztsch. f. Geomorph.*, Supplementband 5.
- Schafer, J. P. 1949 — Some periglacial features in Central Montana. *Jour. Geol.*, vol. 57.
- Scheidegger, A. E. 1963 — Principles of geodynamics. 2nd ed. Berlin-Göttingen-Heidelberg.
- Sekyra, J. 1960 — Pusobení mrazu na pudů. Kryopedologie se zvláštním zřetelem k ČSR (summary: Frost action on the ground. Cryopedology with special reference to Czechoslovakia). *Geotechnica*, 27; Praha.
- Sekyra, J. 1961 a — La carte périglaciaire du Massif bohémien. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 10.
- Sekyra, J. 1961 b — Periglacial phenomena. in: Quaternary deposits of Czechoslovakia. *Prace Inst. Geol.*, t. 34, cz. 1; Warszawa.
- Sekyra, J. 1963 — Cryogenic structures and their importance in the stratigraphy of covering formations. *Report of the VI INQUA Congress, Warsaw 1961*, vol. IV.
- Siuta, J. 1962 — W sprawie niektórych deformacji litologiczno-glebowych (summary: On the origin of some lithological and soil deformations). *Przegląd Geogr.*, t. 34.
- Soergel, W. 1936 — Diluviale Eiskeile. *Ztschr. D. Geol. Ges.*, Bd. 88.
- Stager, J. K. 1956 — Progress report on the analysis of the characteristics and distribution of pingos east of the Mackenzie Delta. *Canadian Geogr.*, vol. 7.
- St-Onge, D. 1961 — The ground ice in the Deer Bay area, Ellef Ringnes Island, N. W. T. *Geology of the Arctic*, Univ. Toronto Press, vol. 2.
- Svensson, H. 1962 a — Note on a type of patterned ground on the Varanger peninsula, Norway. *Geografiska Annaler*, vol. 44.
- Svensson, H. 1962 b — Ice-wedges in fossil tundra polygons on the Varanger peninsula. *Svensk Geogr. Årsbok*, 38.

- Svensson, H. 1962 c — Ett mönster i marken (summary: A pattern in the ground). *Svensk Geogr. Årsbok*, 38.
- Svensson, H. 1963 a — Tundra polygons. Photographic interpretation and field studies in North-Norwegian polygons areas. *Norges Geol. Unders.*, årb. 1962; Oslo.
- Svensson, H. 1963 b — Some observations in West-Jutland of a polygonal pattern in the ground. *Geografisk Tidsskr.*, Bd. 62; København.
- Svensson, H. 1963 c — Iskilspolygoner på Laholmsslätten. *Svensk Geogr. Årsbok*, 39.
- Svensson, H. 1964 — Aerial photographs for tracing and investigating fossil tundra ground in Scandinavia. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 14.
- Tedrow, J. C. F. 1962 — Morphological evidence of frost action in arctic soils. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Tedrow, J. C. F., Brown, J. 1962 — Soils of the northern Brooks Range, Alaska. Weakening of the soil-forming potential at high arctic altitudes. *Soil Sci.*, vol. 93.
- Tedrow, J. C. F., Harries, H. 1960 — Tundra soil in relation to vegetation, permafrost and glaciation. *Oikos*, vol. 11.
- Tricart, J. 1950 — Le modelé périglaciaire. Cours de géomorphologie, 2e partie, fasc. 1, CDU, Paris.
- Tricart, J. 1954 — Premiers résultats d'expériences de solifluxion périglaciaire. *C. R. Séances de l'Acad. Sci.*, t. 238; Paris.
- Tricart, J. 1956 a — Cartes des phénomènes périglaciaires quaternaires en France. *Mém. Cartes Géol. France*.
- Tricart, J. 1956 b — Etude expérimentale du problème de la gélivation. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 4.
- Tricart, J. 1963 — Géomorphologie des régions froides. Paris.
- Tricart, J. 1965 — Principes et méthodes de la géomorphologie. Paris.
- Ugolini, F. C., Tedrow, J. C. F. 1963 — Soils of the Brooks Range, Alaska: 3. Rendzina of the Arctic. *Soil Sci.*, vol. 96.
- Ugolini, F. C., Tedrow, J. C. F., Grant, C. L. 1963 — Soils of the northern Brooks Range, Alaska: 2. Soils derived from black shale. *Soil Sci.*, vol. 95.
- Vtiurin, B. I., Vtiurina, E. A. 1960 — Zimnyie nabludieniia za obrazovaniem i poviedieniem morozobojnoj trechtchiny v ledyanom zyle (Recherches d'hiver sur la formation d'une fente dans une fente de glace). *Trudy Inst. Mierzlotovedieniia im. V. A. Obrutcheva*, t. 16, Moscou.
- Washburn, A. L. 1962 — Instrumental observations of mass wasting in a permafrost environment. *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper* 68.
- Washburn, A. L., Smith, D.D., Goddard, R. H., 1963 — Frost cracking in a middle-latitude climate. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 12.
- Williams, P. J., 1957 a — The direct recording of solifluction movements. *Amer. Jour. Sci.*, vol. 255.
- Williams, P. J., 1957 b — Some investigations into solifluction faetures in Norway. *Geogr. Jour.*, vol. 123.
- Williams, P. J. 1959 a — Solifluction and patterned ground in Rondane. *Norske Vidensk.-Akad. Oslo, I, Mat.-Naturv. Kl.*, 1959, 2.

- Williams, P. J. 1959 b — An investigation into processes occurring in solifluction. *Amer. Jour. Sci.*, vol. 257.
- Williams, P. J. 1961 — Climatic factors controlling the distribution of certain frozen ground phenomena. *Geografiska Annaler*, vol. 43.
- Williams, P. J. 1962 — Quantitative investigations of soil movements in frozen ground phenomena. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Zubakov, V. A. 1961 — Ob osnovnykh osobiennostyakh i zakonomiernostyakh pleistocenovogo oledenieniya Sibiri (Sur les traits principaux de la glaciation Pléistocène de la Sibérie). *Materialy VSEGEI*, nov. ser., *tchetv. geol. i geomor.*, vyp. 4; Moscou.