

Pierre Bout

Clermont-Ferrand

## RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE DE LA COMMISSION DE GÉOMORPHOLOGIE PÉRIGLACIAIRE

### TERMINOLOGIE

#### SOL GELÉ ET GLACE DU SOL

Zone de permafrost ou zone de contractions thermiques

En matière de *permafrost* et plus généralement de *périglaciale*, la notion de *contraction thermique* n'est pas des plus claires.

A quoi est-elle due ? A la disposition en mailles des cellules polygonales ? Ce réseau évoquant celui qui résulte de la fissuration des argiles exposées à l'air, pense-t'on à un phénomène de contraction qui, en l'occurrence, ne peut être dû qu'au froid intense ?

Cependant St. Taber (1929) a précisé que lors de la congélation de cylindres d'argile en système fermé, c'est-à-dire sans apport d'eau extérieure, il y a contraction dans les parties basses de ceux-ci, l'eau ayant migré à leur partie haute pour y alimenter la ségrégation de la glace. Il ajoute que dans le cas de sols très imperméables à fort pourcentage de colloïdes, la formation de glace ségrégée élève les tensions dans le matériel immédiatement sous-jacent où des fissures verticales se développent et forment un réseau polygonal. Ces fissures sont peu à peu remplies par de la glace qui progresse vers le bas, en s'épaississant graduellement.

De ce qui précède, il résulte :

(a) Que les fissures apparues dans les couches relativement profondes du sol soumis à un gel intense sont dues au départ de l'eau liquide vers les foyers de ségrégation de glace situés plus près de la surface.

(b) Que les fissures sont ensuite progressivement élargies par les cloisons ou les coins de glace qui s'y engagent. L'épaisseur de ceux-ci ne permet donc pas d'apprécier l'ampleur réelle des contractions subies par le sol.

(c) Que relativement à ces dernières, la température n'intervient pas seule. Les fissures qui leur correspondent ne sont pas le simple effet d'un retrait dû au froid et qui serait le contraire d'une dilatation purement thermique mais le résultat d'une dessiccation par le gel comme dans le cas par nous

relaté (1957) de la fissuration de galets marneux ou calcaires inclus dans les formations périglaciaires. Dans ces faits, la température n'intervient que par le processus qu'elle déclenche relativement à l'extraction de l'eau contenue dans les sols ou les roches poreuses. L'exemple des argiles qui se fissurent à l'air prouve que la chaleur conduit au même résultat. Dans un cas, le facteur desséchant est l'attraction moléculaire que met en jeu la ségrégation de la glace, dans l'autre, l'augmentation de la tension de vapeur de l'eau du sol, du fait de l'élévation de température que lui communique l'atmosphère. Mais, par un procédé ou par l'autre, l'eau s'en va et il y a pareillement contraction et retrait. Cependant, dans le cas du sol desséché par le gel, les vides sont tôt effacés du fait de la pénétration de coins de glace vers la profondeur.

Il est sans doute utile de remarquer que les conditions expérimentales réalisées par Taber se rencontrent rarement dans la nature. L'eau n'intervient guère en circuit fermé dans le sol et la teneur de celui-ci en colloïdes est généralement faible dans les régions périglaciaires. Il n'est en moyenne que 5% d'argile dans les limons de l'Alaska (Taber 1943). Si bien que l'on se demande si, dans les zones à permafrost, on peut exclure le cas d'une ségrégation de la glace toujours en puissance, assurément ralenti par le froid intense, néanmoins continue et alimentée par l'eau encore libre dans les couches profondes du sol et susceptible de compenser les vides apparus par suite des mutations du pergélisol.

Il n'est pas question de nier l'intervention de contractions thermiques dans le sol gelé. Toutefois, un calcul simple montre que pour un abaissement de température de 25 °C, le coefficient de dilatation cubique de la glace étant de  $1,7 \cdot 10^{-4}$ , la glace perd moins de 1/200 de son volume alors que par comparaison avec l'eau dont elle provient, elle a subi un accroissement de volume de 1/10. Disons donc que, pour l'écart important de température qui a été supposé, la contraction thermique est vingt fois moindre que la dilatation provoquée au préalable par l'apparition de la glace.

Si, au lieu de comparer les effets de la contraction thermique à la dilatation qui résulte de la transformation de l'eau en glace, on envisage l'effet du froid sur la glace qui existe déjà dans le sol, le retrait est très faible. Ainsi, à la périphérie d'un bloc de glace cubique de 1 m<sup>3</sup> dont la température est abaissée de 25 °C, la contraction n'atteint pas 0,7 mm. On imagine mal dans ces conditions que le froid intense puisse faire apparaître de grands vides dans le sol gelé, même si l'on suppose que celui-ci a perdu toute plasticité et que tout nouvel apport de glace par ségrégation y est impossible.

On sait que la ségrégation moléculaire s'accompagne de modalités qui peuvent engendrer une diminution de volume: celle-ci se manifestant

par l'apparition de cavités ou de fentes de retrait. Nous prendrons quelques exemples.

(a) La ségrégation de limonite dans les sédiments argileux ou sableux débute en des points privilégiés. D'abord ponctuelle, elle aboutit ensuite à une sphère, au sein de laquelle l'oxyde de fer est plus ou moins lâchement réparti. Mais bientôt, c'est la surface de la sphère qui devient plus particulièrement attractive, à la fois pour la limonite qu'elle englobe déjà et pour celle qui, à l'extérieur, reste encore diffuse dans le sédiment. Un cortex s'individualise où la matière se concentre densément. En revanche, une cavité se creuse à l'intérieur du nodule où seules persistent quelques traces d'argile ou de sable (d'après Laurence L. Smith 1948). Parfois des fissures se manifestent perpendiculairement à l'écorce en voie de se construire. Elles sont obturées par de la limonite nouvelle venue. Des amorces de cloisons radiales les révèlent lorsqu'on brise le nodule.

(b) Au même type de phénomènes appartient la formation des pouées loessiques et parfois leur fissuration<sup>1</sup> telle que nous l'avons observée à Cagny dans la Somme. Comme dans le cas des nodules de limonite, la concentration du calcaire est finalement périphérique car les pouées sont partiellement creuses. Et, avec les vides internes, la fissuration superficielle prouve qu'il y a eu retrait.

(c) La formation d'un ciment de silice entre les grains de quartz d'un sable est aussi affaire de ségrégation. Or, à la longue, une diagenèse peut se produire dans le ciment: déshydratation, cristallisation. Si la modification s'accompagne d'une diminution de volume: des fentes de retrait apparaissent. C'est pour nous la cause, hors de tout effet thermique, de la prismation régulière de certains grès (voir par exemple: J. Van de Steen 1951).

(d) Que la ségrégation de glace dans le sol s'accompagne de modalités plus ou moins comparables avec celles qui viennent d'être évoquées et qui se traduisent par des concentrations et des déplacements de matière, est évident. On sait qu'avec le temps, dans les névés et dans les glaciers jusqu'à une certaine profondeur, la taille des grains de glace augmente et la densité croît. Mais, que ces transformations s'accompagnent de retraits apparents est moins sûr car le sol gelé est plastique, toujours sous pression et doit pouvoir compenser, en se déformant ou en se tassant, une diminution de volume qui, *à priori*, ne peut être considérable.

En résumé, le sol gelé est soumis à des actions variées:

- (1) augmentation de volume due à la ségrégation de la glace,
- (2) retrait lié à une dessiccation par le gel des couches profondes,
- (3) modalités de ségrégation qui augmentent la densité de la glace et conséquemment diminuent son volume,

<sup>1</sup> Nous avons attribué à tort (1957) cette fissuration à l'action desséchante du gel.

(4) contraction thermique de la glace déjà ségrégée et du sol congelé diffusément.

Or, choisir, dans tout cela, la contraction thermique pour la mettre en valeur ne paraît pas justifié. L'impression est nette que ce facteur (4) n'est pas plus efficace que les facteurs (2) et (3) et qu'il l'est beaucoup moins que le facteur (1).

En milieu périglaciaire, il nous paraît donc contre-indiqué d'évoquer des contractions thermiques qui, d'une part, ne sont pas les seuls facteurs de retrait et qui, d'autre part, semblent pouvoir difficilement se manifester. En effet, l'eau qui se congèle intervient avec des variations de volume positives autrement importantes. Et, il saute aux yeux, qu'en fin de compte et pour l'essentiel, tout est dilatation, compression et plasticité dans un sol gelé. Ses déformations tant externes (bombements permanents ou saisonniers) qu'internes (plications, involutions) et pareillement les déformations propres à la glace (coins d'injection) le prouvent abondamment.

#### Glace exogène

La neige est susceptible de fournir un apport important de glace exogène. En pays périglaciaire, comme en nombre d'autres contrées, la neige qui tombe sur le sol ne s'y maintient pas en couche d'épaisseur uniforme. Le vent la déblaie vite et elle va s'accumuler à l'abri des talus ou des versants sous le vent, pour constituer des congères que nous appellerons des névés car certaines de ces accumulations sont permanentes. Ces névés et leur cortège de phénomènes périglaciaires seront étudiés dans une note séparée. Ici, nous n'envisageons que ce qui se passe sur les espaces plats.

Sous la poussée du vent, la neige court au ras du sol dénudé, à l'état de poudre et par vagues successives. Les cailloux ou les blocs en saillie sont autant d'obstacles dressés sur son parcours. La neige s'accumule à leur base où elle contribue, avec l'eau du sol, à former des coussins de glace. Comme dans le cas des pipkrakes, les pierres sont donc soulevées puis retombent lors du dégel et, sur des déclivités même faibles, se déplacent progressivement. Dans l'étalement des produits de gélivation, la neige joue donc un rôle important. A quelque hauteur au-dessus du sol, elle peut, en outre, pénétrer dans les fentes des galets fissurés par le gel et dans les diaclases des gros blocs. La poussée du vent aidant et les apports se succédant, des veinules ou même de petits coins de glace prendront naissance qui sépareront les tranches des galets, élargiront les fissures des blocs, déplaceront ceux-ci par tronçons et finalement contribueront à leur destruction. Mais il n'est pas que des obstacles en saillie sur le sol; il est aussi des pièges

en creux et, par exemple, les fentes imparfaitement remplies qui séparent les cellules polygonales. La neige qui tombe dans ces fentes ou s'y arrête contribue à nourrir les coins de glace qui, en hiver, les occupent.

### Principaux types de glace du sol

La distinction *glace de fente*, *glace de ségrégation*, *glace d'injection* appelle des commentaires.

Le cas de glace diffuse étant réservé, la glace du sol, lorsqu'elle se concentre en veinules, en coins, en bancs, en lentilles est toujours de ségrégation.

Quant aux appellations *glace de fente* et *glace d'injection*, elles nous paraissent correspondre à deux types de coins de glace de genèse différente.

Dans le cas de la glace de fente, il s'agit de coins de glace qui se constituent dans les fissures du sol qui séparent les cellules polygonales. Leur forme, élargie à la partie haute, effilée à la partie basse, admet les causes suivantes:

(a) les fissures où les coins se logent s'évasent au voisinage de la surface du sol;

(b) le gel commençant à s'exercer à partir de la surface, il est normal que la glace alimentée par l'eau du sol y apparaisse d'abord et s'y nourrisse longtemps; les pierres rassemblées là, constituant, grâce à leur conductibilité thermique plus forte que celle du sol fin des cellules encaissantes, des foyers de concentration de glace;

(c) les apports de neige dans les fissures (*supra*), fournissent, en surface seulement, donc à la partie haute des coins de glace en train de se former, un appoint de glace exogène.

Les caractères essentiels des précédents coins de glace sont les suivants:

(a) ils sont généralement de dimensions modestes<sup>8</sup>,

(b) le plus souvent ils disparaissent au cours de l'été,

(c) la glace qui les constitue n'est pas pure puisqu'elle se forme dans les interstices qui séparent les cailloux obstruant les fentes,

(d) ils n'exigent pas pour apparaître un climat périglaciaire des plus rigoureux.

Du même type que les précédents coins de glace, formés dans les fentes du sol, sont ceux qui se constituent dans les diaclases des roches dures: granite, gneiss, basaltes, phonolites, quartzites, etc... On sait le travail important qui est le leur dans le démantèlement des reliefs de roches imperméables, et le rôle qu'ils ont joué, dans la plus grande partie de l'Europe montagneuse lors du dernier glaciaire. Ils sont à l'origine des clapiers, chirats, coulées de blocaille, mers de rochers, etc...

Dans le cas de glace d'injection, les coins de glace n'atteignent pas la surface du sol par leur base élargie et celle-ci s'insère sur un banc de glace épais et continu. Les coins de glace sont les apophyses de ce banc dont ils représentent des déformations (St. Taber 1943, p. 1516 et Pl. 19). Le banc de glace continuant à se nourrir par ségrégation se libère des pressions dont il est le siège, en envoyant des prolongements dans les couches profondes du sol, moins compactes car moins congelées que les couches supérieures. Les coins de glace de ce type se logent en force — par injection — à la faveur des poussées qui s'exercent à leur racine:

- (a) ils sont souvent de forme plus massive et de plus fortes dimensions que les coins de glace des fentes,
- (b) ils semblent permanents,
- (c) ils sont constitués de glace pure ou à peu près,
- (d) ils se manifestent exclusivement dans les régions périglaciaires à climat très rigoureux et particulièrement dans les sols de limon épais (Alaska).

Dans l'explication que nous donnons des coins de glace d'injection, nous négligeons l'existence de possibles fissures premières sur leur emplacement (voir *supra*: contractions thermiques). Rien ne prouve, en effet, que de tels coins ne puissent de former en l'absence de fentes préalables. Les conditions suggérées par Taber, relativement à l'apparition de fissures de contraction en position profonde dans le sol, sont exceptionnelles. Dans la nature, la congélation des sols ne se fait pas en circuit d'eau fermé et les terrains à fort pourcentage de colloïdes ne sont pas la règle en région périglaciaire. De toute façon, ce n'est pas le cas en Alaska, où les coins de glace d'injection abondent dans des limons dont la teneur en argile est, ainsi qu'on l'a vu, inférieure à 5%.

L'écartement des fentes des cellules polygonales, dans un terrain où celles-ci sont nombreuses, accuse généralement une certaine périodicité. D'où la déduction possible que la périodicité des coins de glace d'injection, lorsqu'elle se manifeste, n'est que la conséquence de la précédente: les coins profitant d'un réseau de fentes antérieures. Cependant, lorsque les coins sont à peu près également espacés, et au moins d'après certaines figures de Taber (1943, p. 1516), ils s'insèrent sur une couche de glace d'épaisseur assez uniforme<sup>2</sup>. On ne voit pas pourquoi on refuserait à celle-ci une périodicité propre dans ses déformations.

Les caractères différentiels reconnus aux deux types de coins de glace dont il a été question mériteraient sans doute davantage nuancés. Ainsi, relativement aux conditions climatiques périglaciaires auxquelles

<sup>2</sup> La fig. 3, Pl. 20, de Taber (1943) suggère que cette couche peut avoir disparu et que néanmoins les coins de glace subsistent.

nous les avons assortis, on peut estimer que les marges sont douteuses. Néanmoins, si en Alaska, on trouve à la fois des coins de glace de fente et de glace d'injection, il nous paraît bien qu'en Islande où les premiers se développent hivernalement, les seconds font défaut. Au total, la discrimination que nous proposons nous paraît valable.

### Thermokarst, Cryokarst, Pseudo-karst

Le mot *karst* évoque une morphologie propre aux terrains calcaires et dont le processus efficace est la dissolution du calcaire par des eaux riches en gaz carbonique.

Or, les termes ici discutés sont appliqués par les auteurs à toutes sortes de roches: granites, schistes cristallins ou non, basaltes, etc., dont la dissolution par les eaux infiltrées est pratiquement nulle, encore qu'elles abandonnent, en régime périglaciaire comme partout, une faible quantité de substances solubles.

Quant aux analogies que l'on peut faire valoir entre certaines formes périglaciaires et les formes karstiques, elles sont loin d'être évidentes. Une dépression à fond limoneux où un laquet s'installe en été n'est pas une doline, même si, assez rapidement, en juillet ou en août, elle se vide de son contenu. La disparition du pergélisol, conjointement avec l'état diaclasé du sous-sol rocheux et à un degré moindre l'évaporation expliquent cette vidange.

Marc Boyé (1950) a décrit des *ravins de gélivation* au Groenland. A leur origine, se situe probablement une fracture ouverte que les actions gélives ont à la fois élargie (en surface) et partiellement comblée. Il est normal que les eaux superficielles s'infiltrent dans les produits cryoclastiques meubles qui garnissent le fond de la tranchée puis cheminent ensuite dans la fracture plus ou moins colmatée qui n'est pas une cheminée de dissolution.

En Islande, à proximité du lac Mývatn, des fissures de quelques décimètres de largeur s'ouvrent au ras du sol, dans les coulées de basalte. Ces crevasses ne sont pas comblées. A 4 ou 5 m de profondeur, elles sont garnies d'eau qui stagne et dont le niveau se raccorde en toute vraisemblance à celui du lac proche. Que l'on imagine partiellement remblayées, par des produits de gélivation, ces fentes qui sont apparues à la faveur de séismes, leur donnera-t-on le nom de cryokarst?

Dans l'Islande centre-nord, non loin de la cabane du Laugafell (Bout *et al.* 1955), nous avons observé en août 1954, dans un sol de limon et de cailloux basaltiques, des dépressions peu profondes d'environ 1 m de diamètre. Chacune d'elles marquait probablement l'emplacement d'une

lentille de glace, faiblement enterrée et formée en hiver à la verticale d'une petite réserve d'eau. Les dépressions étant alignées, on imagine ces réserves stockées dans une fissure, sans doute étroite, comblée de produits menus. On les croit également permanentes ou renouvelées chaque année. En hiver, l'eau se déplace vers la surface pour nourrir les lentilles de glace; lors du dégel, elle gagne à nouveau la profondeur.

Sur l'emplacement d'anciens pingos, des dépressions de plusieurs mètres de diamètre peuvent apparaître. Leur fond est recouvert de produits de gélivation ou de limons. En été, l'eau encore s'infiltra et peut-être suit-elle, à rebours, le trajet vertical de l'émergence sourceuse qui nourrissait autrefois le pingo.

Rien de tout ce qui précède et surtout pas l'enfoncissement de l'écoulement superficiel qui est de règle partout où le sous-sol est fait de roches diaclasées n'évoque le karst. En quelques cas, comme nous l'avons vu, la circulation souterraine de l'eau peut se ramener à un simple aller et retour vertical. Les fissures proches du Mývatn suggèrent que ce trajet peut se réduire aux quelques mètres qui séparent la surface du sol d'une nappe phréatique.

Nous pensons donc que tous les termes qui, en matière de périglaciale, comportent le mot *karst* sont à bannir. Tous les aspects auxquels ces termes sont appliqués sont des formes cryoclastiques ou des cryodépressions liées à des particularités de terrain: fractures, fissures et emplacements de sources ou de réserves d'eau rattachées à ces accidents.

Il reste qu'il doit être possible de parler de cryokarst à propos de territoires calcaires qui se situent en milieu périglaciale si toutefois les conditions climatiques propres à ces régions et les conséquences qu'elles entraînent quant à la circulation interne des eaux (intervention du pergélisol) différencient nettement leur karst de celui des régions non périglaciaires.

### Hydrolaccolite, Cryolaccolite

A ces deux termes, le second étant meilleur que le premier, nous préférons l'appellation plus précise de *laccolite de glace*. Par ailleurs, le mot *pingo* paraît consacré par l'usage. Il n'y a qu'à le conserver. De toute façon, quel que soit le terme que l'on retienne pour la désigner, la forme en cause ne doit aucunement être considérée comme un processus aboutissant aux prétendus thermokarst ou cryokarst. C'est simplement un aspect du périglaciale le plus rigoureux. Que l'empreinte en creux qu'elle laisse après s'être résorbée soit typique, est évident. Appelons cette empreinte *cryodépression*, et rangeons la dans la catégorie des formes cryoclastiques liées à des particularités de terrain ou d'hydrologie.

## SOLS STRUCTURAUX

## Formes polygonales

Les polygones à fentes de gel sont des polygones superficiels limités par des fentes saisonnièrement occupées par des coins de glace.

L'appellation *polygones à fentes de dessiccation* passe sous silence l'intervention préalable du gel. Or, en régime périglaciaire, le gel sévit partout et c'est, avons-nous dit (Bout 1953 a, b), son action homogénéisante préalable, due à une augmentation des pressions internes, qui vaut, lors du retrait, aux cellules de limon comme aux autres formes polygonales, leur contour régulier.

Mais encore, nous croyons que, dans la plupart des cas, les fentes qui limitent les cellules polygonales ont été initialement, et sont encore saisonnièrement, fentes de dessiccation estivales entre des bombements de genèse hivernale (Bout 1953a). Les pierres qui sont tombées dans les fissures les colmatent incomplètement. Comme nous l'avons vu, chaque hiver, la glace comble les vides et les fentes se remplissent de coins de glace mêlée de pierres qui, en se dilatant, compriment le contenu cellulaire. Lors du dégel, la glace fond. Le matériel de l'intérieur des cellules s'affaisse et se distend puis, avec la chaleur et l'évaporation estivales, se rétracte entre les fentes périphériques devenues pérennes puisque garnies de pierres. Dans cette explication, fentes de dessiccation et fentes de gel sont donc confondues ou mieux alternent saisonnièrement aux mêmes emplacements.

Nous croyons, d'ailleurs, que les fentes des polygones de limon se comportent identiquement car, ouvertes pendant les mois d'été, elles se garnissent, au moins partiellement, de matériaux hétérogènes: grains sableux apportés par le vent, débris végétaux. Et, même apparemment refermées lors des premières pluies d'automne, leur contour reste latent. Lorsque des cailloux épars s'égarent dans les champs à cellules de limon, ils se situent toujours dans les angles où confinent plusieurs cellules ou sur le pourtour de l'une d'elles, si bien que l'on suppose qu'elles reparaissent chaque été avec leurs dimensions habituelles; celles-ci étant sauvegardées l'hiver par des cloisons de glace.

De toutes les appellations proposées pour les formes polygonales la dernière, soit *polygones périglaciaires* paraît préférable. N'impliquant rien quant aux processus, c'est la plus sûre.

## Formes de gonflement

Les thufur sont formes de gonflement accusées devenues permanentes. Ils résultent d'une sommation de bombements hivernaux incomplètement

résorbés chaque été, la couche de sol gazonné qui est affectée de déformations n'ayant point la plasticité du sol dénudé (Bout 1953a).

Les cellules polygonales sont formes de gonflement hivernales. C'est d'ailleurs ce qui provoque la migration des cailloux en surface de l'intérieur des cellules vers les fentes du pourtour; leur accumulation dans celles-ci étant l'aboutissant d'une suite de pulsations annuelles. Le tri qu'accusent les sols striés a même origine: les cailloux s'accumulant entre les bombements linéaires et saisonniers de sol fin.

Mais, sans doute, veut-on entendre par formes de gonflement, les formes dilatées constituées uniquement de glace pure. Les unes font saillie à la surface du sol et il s'agit des pingos dont il a été déjà question. Mais il en est aussi d'internes: coins de glace de fentes ou d'injection, lentilles et, d'une manière générale, toute accumulation de glace ségrégée.

Ainsi, peu ou prou, toutes les formes périglaciaires, en permanence ou saisonnièrement, sont formes de gonflement et la distinction d'une telle catégorie peut ne pas s'imposer.

#### Formes d'injection

Cette seule appellation suffit et nous paraît devoir être réservée aux coins de glace introduits en force dans les couches profondes du sol, à partir d'horizons de glace plus proches de la surface. Les pingos, même s'ils soulèvent le sol à leur périphérie et bien qu'ils soient qualifiés de *laccolites*, ne sont, comme les banales lentilles de glace qui demeurent enfouies, que de simples formes de ségrégation. Dans notre esprit, une forme d'injection, qui bien évidemment se constitue à partir de glace ségrégée, se différencie des formes de ségrégation telles que lentilles ou laccolites, par une déformation surajoutée qui, au surplus et très généralement semble-t'il, est dirigée vers la profondeur du sol.

#### Formes liées à un rythme diurne

Il s'agit de formes miniatures généralement considérées comme une particularité des hautes montagnes tropicales. Mais on trouve aussi de petites formes: cellules de 0,10 à 0,25 m de diamètre ou sols striés de même écartement, sur les montagnes des régions tempérées: ainsi à 1700 m sur le Mézenc (Bout 1953a, Pl. XXI, fig. 88) dans le Massif Central de la France et sur la Sierra Nevada espagnole à 2400 m. Et nous en avons rencontré dans toutes les régions de l'Islande que nous avons visitées: au Sud, à l'Ouest (Bout 1953a, fig. 67 et 70), au Nord, à l'Est, au Centre à des altitudes comprises entre 0 et 940 m.

Pour avoir vu, dans l'Est islandais, des cellules ou sols striés de ce type, se rafraîchir, c'est-à-dire boursoufler leur coeurs ou leurs crêtes de limon aux premières fortes gelées de septembre; pour avoir vu des aspects identiques reparaître avec leurs mêmes faciès et dimensions, chaque printemps sur le Mézenc, nous croyons que les formes miniatures sont liées aux alternances gel et dégel des saisons intermédiaires et que l'hiver passe sur elles sans les modifier autrement peut-être qu'en accentuant leur relief. Il ne s'agit plus alors de rythme journalier se poursuivant comme sur les montagnes tropicales tout au long de l'année.

Il paraît donc préférable de parler de „petites formes liées aux alternances gel et dégel de type permanent ou saisonnier”. Par devers soi on peut ajouter „en climat humide et sur sol à forte proportion d'éléments fins”, car ces facteurs sont nécessaires à l'apparition des petites figures périglaciaires. Un sol peu profond leur est également favorable.

#### CONCLUSIONS

Relativement aux appellations qui ont été proposées et que nous avons discutées dans cette revue terminologique, nous avons noté:

- (1) Parfois trop de discriminations. Ainsi, pour les différents types de glace (de fente, de ségrégation, d'injection) et de polygones (à fentes de gel, de dessiccation).
- (2) Parfois pas assez (coins de glace).
- (3) Des analogies abusives (cryo et thermokarst).
- (4) Pour les dénominations qui impliquent un processus, et parmi ces derniers:
  - (a) il en est d'exacts (glace d'injection),
  - (b) de peu sûrs (contractions thermiques du permafrost, des polygones à fentes de gel),
  - (c) d'incomplets (polygones à fentes de dessiccation),
  - (d) qui ne sont pas assez généralisés (glace de ségrégation),
  - (e) qui s'appliquent très exactement à une catégorie de formes (liées à un rythme diurne) qui n'est elle-même que partie d'un plus grand groupe de formes identiques par l'aspect et les dimensions.

Notre point de vue est le suivant:

- (1) Encore que cette tendance s'observe dans toutes les disciplines, il s'agit moins de multiplier les catégories que de diminuer leur nombre. C'est faire travail de généralisation donc scientifique. Dans ce but, il peut y avoir intérêt à préférer l'appellation la plus simple, celle qui n'est assortie d'aucune évocation de processus. C'est assurément la moins précise mais partant la plus générale.

(2) Il est manifeste, particulièrement pour tous les termes concernant les sols structuraux qui ont été proposés à la discussion, que le souci a prévalu qu'ils impliquent un processus. L'intention est louable car déceler la cause vraie de toutes les formes périglaciaires est bien le but que l'on doive se proposer et ce n'est qu'à cette condition que toutes les figures peuvent être bien comprises et définitivement classées. Mais agir ainsi actuellement, c'est à la fois faire le point de nos connaissances et de leurs divergences. Or, il est probable que l'on tendra vers plus d'unité, vers moins d'hypothèses et que certaines dénominations actuelles deviendront caduques. En attendant, nous croyons préférable d'employer, chaque fois qu'il se peut, des termes à caractère descriptif, évocateurs et condensés. C'est le cas des appellations: *ice-wedges*, *ice-veins*, *coins de glace*, *laccolite de glace*. Pour ce qui est des *polygones périglaciaires*, appellation générale que nous avons retenue, on peut établir des divisions en tenant compte de leurs dimensions et distinguer des petits polygones (0,10 à 0,25 m), des polygones de dimension moyenne (1 à 3 m), des grands polygones (10 à 30 m) et, pour les figures prenant place entre ces groupes nettement séparés, indiquer leurs dimensions. Il est également utile de classer ces formes d'après leur aspect: polygones de limon, polygones en terrain pierreux bien triés (la plupart des cailloux étant rassemblés à la périphérie), mal triés (beaucoup de pierres subsistant à l'intérieur), non triés. Qu'il s'agisse de dimensions ou d'aspects (répartition des pierres dans les polygones), ces caractères, on le sait, ont leur signification climatique et il est bon de les employer comme le font beaucoup d'auteurs, au surplus.

(3) On peut évidemment utiliser un terme impliquant un processus lorsque celui-ci est patent, indiscutable (*glace d'injection*). On peut l'ajouter à une dénomination purement descriptive (*coin de glace d'injection*).

(4) Entre plusieurs dénominations, il y a intérêt à préférer celle qui serre de plus près le phénomène. *Laccolite de glace* est meilleur que *cryolaccolite* qui est meilleur que *hydrolaccolite*.

(5) On peut donner un droit de priorité à des appellations consacrées par l'usage (*pingo*) si leur contenu est précis. A défaut, on peut le circonscrire. De tels mots sont particulièrement intéressants s'ils proviennent des lieux où la forme qu'ils désignent est typiquement représentée.

(6) Il peut y avoir intérêt à préférer à des appellations condensées, des dénominations plus longues mais plus explicites (formes cryoclastiques liées à des particularités de terrain, formes périglaciaires liées à des alternances gel et dégel de rythme diurne permanent ou saisonnier).

ENQUÊTE SUR LA NOTION DE «PÉRIGLACIAIRE»

(1) Quels sont les caractères essentiels impliqués dans la notion de périglaciaire (ou de processus périglaciaires ou d'aires périglaciaires) ?

Le modélisé périglaciaire se caractérise par des structures et des déplacements liés à un froid intense et à la présence d'eau dans le sol. Les alternances gel et dégel sont naturellement impliquées mais pas uniquement dans leur rythme court qui précède et qui suit la saison hivernale. Celle-ci, marquée par un gel continu qui dure plusieurs mois, est particulièrement efficace. Elle conditionne le maintien du permafrost là où il existe et elle contribue à l'élaboration d'aspects périglaciaires typiques: polygones de moyenne et grande dimensions, coins de glace, pingos, etc....

La cryergie n'est effectivement pas le seul des processus périglaciaires.

L. Peltier (1950) caractérise ces derniers comme suit:

- (a) actions gélives importantes,
- (b) importants mouvements de masse des formations meubles,
- (c) effets réduits des eaux courantes,
- (d) action du vent de modérée à forte.

Prise séparément et considérée sous son aspect qualitatif, chacune des actions énumérées n'est pas vraiment typique du système d'érosion périglaciaire. Les actions gélives sont importantes dans les déserts froids et autres. On peut voir des galets tronçonnés par le gel sur la bordure nord du Kévir (Iran) comme sur les moraines islandaises. Bien des dépôts de piémont dans les régions subarides, au moins dans certaines de leurs phases paraissent correspondre à des transports boueux. Au Sahara, les actions éoliennes sont bien connues et des croissants éoliens sur végétation comme ceux que nous avons décrits en Islande (1953) se voient au sommet du Mézenc (Bout 1953a, fig. 79) et dans la presqu'île de Crozon.

Mais, en coexistence et quantitativement, les caractéristiques essentielles du système d'érosion périglaciaire nous paraissent être la cryergie et les mouvements en masse des formations meubles sur les versants. Nous préférons le terme *cryergie* à l'appellation „actions gélives” car il est plus général. Il englobe toutes les manifestations du gel, les cryoturbations, l'étalement des produits de gélivation, etc... Quant aux mouvements en masse des formations meubles, sur les versants, il faut préciser qu'en milieu périglaciaire, ils sont le résultat du dégel et non celui de précipitations de caractère exceptionnel. Pour qu'ils se produisent, il faut évidemment que le relief soit au moins un peu accidenté. En région périglaciaire aride, les mouvements en masse se produisent également dans les talwegs. Ceux-ci sont occupés par des rivières de pierres ou épanchements solides qui se substituent aux eaux courantes complètement ou partiellement, un filet

d'eau vive pouvant persister sur l'un des bords du courant solide. Quant aux actions éoliennes, dans une région périglaciaire, comme la toundra canadienne, elles sont inexistantes.

(2) *Quelles sont les relations entre les aires (ou les phénomènes périglaciaires et les aires (ou phénomènes) extra-glaciaires?*

D'après le contenu que lui donne sa construction éthymologique, le périglaciaire ne représente qu'une fraction de l'extraglaciaire, celle qui est la plus proche des aires glacées. La dénomination créée par Łoziński, avec la signification qu'il lui a donnée et qui comporte l'exclusion des phénomènes liés à la dynamique de la glace et des eaux de fonte, est donc bonne; et même avec le sens plus large qu'on lui accorde aujourd'hui (le périglaciaire pouvant se trouver ailleurs qu'à proximité des glaciers), elle doit être conservée.

(3) *Quelles sont les relations entre les aires périglaciaires et le permafrost?*

La relation n'est pas obligatoire. Il est un périglaciaire très extensif qui ne comporte pas de pergélisol permanent. C'est le cas en Islande où les phénomènes périglaciaires sont très largement représentés. En cette île, le sol gelé persiste toutefois davantage sous les névés (congères) et à leur périphérie, sur quelques dizaines de mètres, mais il se restreint au fur et à mesure que ces accumulations de neige régressent au cours de l'été et très souvent en juillet-août, il n'en reste plus rien. Il est également une auréole de sol gelé à la périphérie des glaciers où cependant, elle ne dépasse pas les moraines déposées depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle et, comme le pergélisol des névés, elle se retrécit au cours de la bonne saison. La carte du pergélisol sporadique et temporaire de l'Islande pourrait être dressée à partir de photos aériennes prises au cœur de l'été et qui enregistreraient la position des névés persistants. Sur des cartes au 1/250 000, la représentation de ceux-ci serait le plus souvent ponctuelle. Même avec l'appoint d'une marge de 1 ou 2 mm autour des calottes glaciaires, la superficie totale ainsi inventoriée, serait, au regard de la surface de l'île (110 000 km<sup>2</sup>), pratiquement négligeable.

(4) *La notion de périglaciaire correspond-elle à une notation de phénomène (ex : gélivation, éolisation, formation de structures, processus morphogénétique) ou plutôt à la définition d'un espace caractérisé par un système morphologique combinant des éléments variés?*

D'accord avec la réponse fournie par la sous-commission (voir notre réponse à la question 1).

(5) *Les phénomènes périglaciaires (ou le système morphologique des régions périglaciaires) sont-ils conditionnés directement par un climat correspondant ou sont-ils des effets de l'influence des masses glaciaires?*

Les phénomènes périglaciaires ne sont pas obligatoirement liés à la présence plus ou moins rapprochée des masses glaciaires. Mais il va de soi que la proximité des glaciers, qui impliquent un climat froid et humide, entraîne, dans une certaine marge, l'apparition de phénomènes périglaciaires. En particulier, le même climat qui favorise la naissance et le maintien des glaciers s'avère, avec des valeurs numériques un peu augmentées quant à la température, propice à l'apparition des phénomènes périglaciaires.

Toutefois, le cas est commun en Islande de zones à phénomènes périglaciaires qui se situent à 80 et même 100 km à vol d'oiseau du grand glacier le plus proche. De plus, en d'autres régions, il est des reliefs dont les sommets affleurent seulement la limite des neiges permanentes ou s'en rapprochent. Dans ce cas, on a donc du périglaciaire sans glaciers. Réciproquement, la présence de dépôts périglaciaires dans un territoire, pour des temps révolus, n'implique pas que ledit territoire a été recouvert localement de glaciers. Nous avons tenu ce raisonnement pour le haut Massif Central de la France à certaines phases anciennes du Pléistocène (Villafranchien, Pléistocène moyen).

Mais il apparaît que, dans certaines zones à phénomènes périglaciaires, les températures s'éloignent assez considérablement de celles qui, avec des précipitations suffisantes, conditionnent l'apparition des glaciers. Sans entrer dans le détail et si nous totalisons les marges de températures périglaciaires proposées par L. Peltier (1950) et celles que nous connaissons pour l'Islande, nous obtenons l'intervalle:  $-15^{\circ}\text{C}$  à  $+5^{\circ}\text{C}$ . Relativement aux précipitations, la marge indiquée par Peltier: 125 mm — 1380 mm diffère surtout par le minimum des données que nous fournit l'Islande où le montant des précipitations ne descend guère au-dessous de 400 mm. Il est donc un type de périglaciaire très aride — et en même temps très froid. Cependant, au regard de l'aridité, il convient de remarquer que le montant annuel des précipitations n'est pas le seul facteur à considérer. Dans la toundra canadienne, le pergélisol, l'absence de vent, maintiennent le sol saturé d'eau malgré des précipitations qui tombent à 280 mm. Dans le centre nord de l'Islande où le total peut atteindre 600 mm (Péguy 1955) l'aridité est patente; le vent en étant le principal facteur. En été, il assèche très vite le sol mouillé par les averses. En hiver, il le débarrasse de sa couverture neigeuse. Si bien que la tranche d'eau annuelle dont bénéficie le sol en terrain plat est fortement réduite.

Il résulte à l'évidence de la présente discussion que les phénomènes périglaciaires sont conditionnés par un climat aux marges de températures

et de précipitations très amples et qu'ils s'affranchissent très largement de l'influence des masses glaciaires.

(6) *Quels éléments du climat (thermiques — hydriques), ou quels types de climats sont déterminant pour le développement du milieu périglaciaire?*

Les éléments climatiques thermiques et hydriques sont déterminants pour le développement du milieu périglaciaire. Ils se combinent avec leurs variations propres entre les deux extrêmes suivants:

(a) climat modérément froid et humide de type nord-atlantique ou montagnard,

(b) climat très froid et aride.

Tout cela est d'ailleurs détaillé dans Tricart (1950).

(7) *La notion de périglaciaire a-t-elle un sens topographique (voisinage des glaciers), morphogénétique (existence de certains processus comme gélivation, cryergie, éolisation), ou plutôt un sens géographique (zones, étages)?*

La notion de *périglaciaire* a un sens morphogénétique puisqu'il est question d'un système d'érosion périglaciaire caractérisé par la cryergie, les mouvements en masse sur les versants et dans les talwegs et, à un degré moindre, par des actions éoliennes et le faible travail des eaux courantes. La notion de *périglaciaire* a aussi un sens géographique puisqu'elle s'applique à des zones de climats qui vont de l'un à l'autre des extrêmes plus haut indiqués.

(8) *Quelles sont vos suggestions sur le problème de la limite inférieure ou équatoriale des aires périglaciaires ou des phénomènes périglaciaires?*

La limite inférieure des phénomènes périglaciaires varie avec les formes envisagées et pour un même type de formes, dans un intervalle de longitude modéré, avec la latitude.

Les buttes gazonnées nous sont connues dans le Massif Central de la France à partir de 1240 m (Bout 1953 a, pl. XX, fig. 86) où elles ne dépassent guère 0,60 m de plus grand diamètre et 0,20 à 0,30 m de hauteur. Nous en avons vu de dimensions doubles en Islande, non loin de Geysir, par 400 m d'altitude, où elles voisinaient avec des sols striés sur moraine. Cette coexistence, en un même lieu, des thufur et des sols striés n'est pas de règle. Ainsi, en Haute-Loire, les sols striés ne se voient que près du sommet du Mézenc (1754 m) et se localisent donc 500 m plus haut que les buttes gazonnées du pourtour proche. Celles de Geysir, et leurs plus grandes dimensions le prouvent, ne se situent donc pas à l'altitude minimum qui peut leur convenir en Islande.

Dans la même île, les petites cellules polygonales de moins de 0,25 m de diamètre et les sols striés de même écartement sont fréquents sur la côte

ouest à très faible hauteur au-dessus du niveau de la mer, aussi bien sur la rive sud du Hvammsfjördur que dans la presqu'île de Reykjanes; les deux stations se situant respectivement sur les  $65^{\circ}$  et  $64^{\circ}$  degrés de latitude. Or, même dans la presqu'île de Reykjanes, il ne s'agit point d'une limite inférieure puisque des formes analogues ont été signalées dans les îles de Gotland et Öland, de part et d'autre du  $57^{\circ}$  de latitude à des altitudes de 100 à 200 m, donc faibles.

Ainsi, ni pour les buttes gazonnées, ni pour les formes miniatures, l'Islande ne nous fournit de limite inférieure. Par contre, il en va différemment pour les cellules de dimensions moyennes (1 à 3 m) que nous connaissons à 150 m d'altitude près du Hvammsfjördur ( $65^{\circ}$ ) et à 320 m dans la presqu'île de Reykjanes ( $64^{\circ}$ ) (Bout 1953a, fig. 68 et 25). Les mêmes figures montent à 2700 m dans les Alpes occidentales, au Chambevron ( $45^{\circ}$ ).

Enfin, de très grands polygones (de 10 à 30 m) se voient dans le centre nord de l'île, non loin du Laugafell, à proximité des talwegs donc aux points les plus bas, vers 740 m, alors que 130 km plus à l'Est, nous en avons observé à 570 m au SE de Mödrudalur.

Les faits qui viennent d'être rapportés prouvent qu'il n'est point si commode d'assigner des limites inférieures précises aux divers types de polygones périglaciaires.

Nous n'avons aucune expérience sur la limite équatoriale des phénomènes périglaciaires mais les données rassemblées par les auteurs et particulièrement par Troll (1944) doivent permettre d'apporter au moins une réponse approximative à la question. Avec moins d'efficacité, nous pouvons, à la rigueur, faire état de deux observations concernant des sols striés étroits, à bandes limoneuses et pierreuses, se présentant dans les conditions suivantes

France (Mézenc)	Latitude: $45^{\circ}$	Altitude: 1700 m
Espagne (Sierra Nevada)	„ $37^{\circ}$ „	2400 m

Entre les deux stations, l'écart d'altitude est de 700 m pour une différence de latitude de  $8^{\circ}$ . La remontée de la limite inférieure des petites formes périglaciaires est donc de 87 m par degré de latitude. Si l'on extrapole jusqu'à l'équateur, la limite en question se relève jusqu'à 5600 m c'est-à-dire bien près du sommet du Kilimandjaro (5886 m).

L'extrapolation est assurément fort criticable. La compensation altitudinaire que nous avons fait intervenir uniformément par degré de latitude, ne tient pas compte des variations de précipitations qui jouent un rôle très important puisqu'en modifiant la limite des neiges permanentes aux divers lieux, elles déplacent son auréole de formes périglaciaires. Si pour le Mézenc et la Sierra Nevada, le montant des précipitations offre

déjà quelque écart (1200 mm—800 mm), la différence est bien pire avec les montagnes proches de l'équateur. Il tombe en effet 5 à 6 m d'eau annuellement sur les hautes pentes du Cameroun (4070 m). Sur le Kenya (5194 m) et le Kilimandjaro l'optimum des précipitations se situe vers 2000—2200 m. Quant à la limite des neiges permanentes, elle passe à 4500 m sur le Ruwenzori (5118 m)<sup>3</sup>, à 5400 m sur la face sud du Kilimandjaro qui n'offre point de couverture neigeuse pérenne sur sa face nord. Quant au Kenya, il est dépourvu de neiges persistantes. Ces renseignements, dus à P. Estienne, permettent d'entrevoir que sur les montagnes au voisinage de l'équateur, la répartition des petites formes périglaciaires doit être assez capricieuse.

Relativement aux mêmes problèmes dans les montagnes des régions arides ou subarides, nous pouvons rapporter quelques observations effectuées par la mission Péguy (Bout, Derrau, Dresch, Péguy 1961) en août 1958 sur le Démavend, volcan éteint de l'Elburz iranien qui atteint 5678 m sur le 35° de latitude N:

(a) Au-dessus de 3200—3300 m, actions macrogélives actuelles sur des coulées, pointements et arêtes trachy-andésitiques.

(b) Au-dessus de 4000 m, ébauches de sols striés et de festons sur des sols à débris fins abondants, offrant moins de 2° de pente. Des talus d'éboulis accusent une pente plus faible que celle des talus de gravité.

(c) A partir de 4600 m et à la faveur de ravins radiaux où le vent accumule la neige, se montrent des névés à pénitents. Ceux-ci sont parfois isolés comme des quilles et alors soudés au sol gelé au contact duquel, en fin de journée, s'écoulent des filets d'eau. Sur les pentes proches, le sol, en nappe d'éboulis, est meuble, parfaitement sec et sans figures périglaciaires.

(d) Au sommet du cône, soit vers 5670 m, sur les replats qui bordent la faible dépression craterique, s'étale un champ de boue pierreuse sans formes périglaciaires.

Cette pauvreté en aspects périglaciaires (exceptées, ça et là, les actions macrogélives) admet pour causes:

(a) la forte pente du Démavend qui est un cône;

(b) la fréquence d'éboulis, qui surtout à la partie haute du volcan, dans les dernières centaines de mètres, se montrent formés de débris fumeroliens riches en soufre, de nature cristalline; sous l'action du gel ou des écarts thermiques, ce cailloutis s'émette en une formation dépourvue de toute plasticité;

(c) l'aridité des lieux, en liaison avec un taux réduit des précipitations

<sup>3</sup> Voir la note de J. Heinzelin (1962) mentionnée dans la Bibliographie.

(surtout hivernales) mais aussi avec la forte insolation estivale qui est à l'origine des glaciers à pénitents.

Sur les pentes du Démavend et particulièrement sur toute la hauteur considérée, c'est-à-dire de 3200—3300 m au sommet, les actions dues aux écarts thermiques entre le jour (forte insolation) et la nuit (forte radiation terrestre) sont importantes. Toutefois, lorsque nous parlons de macrogélivation, c'est pour avoir observé des blocs rocheux sectionnés par tranches, des accumulations de blocaille au pied de pitons d'andésite et qui, sans être organisées par la progression, rappellent assez bien les clapiers périglaciaires würmiens à matériel volcanique de l'Auvergne et du Velay. De même, le débitage en dalles d'un affleurement d'andésite prédiaclasé relève du gel et non des écarts de température entre le jour et la nuit.

Au Démavend, les actions gélives et les actions par écarts thermiques coexistent donc mais se succèdent au cours de l'année. Les premières se manifestent en hiver lorsque la couverture neigeuse descend assez bas sur les pentes du cône et il est alors probable que de petits coins de glace se forment dans les diaclases des roches volcaniques. Les actions thermiques se situent surtout dans la longue période ensoleillée qui dure d'avril à septembre.

*(9) Quelles sont vos suggestions sur une division régionale du périglaciale (grandes régions, sous-régions) ?*

En principe, cette division doit correspondre aux différents types de climat qui ressortissent au périglaciale. Mais on doit prévoir des difficultés avec les microclimats qui peuvent se manifester au sein des grandes zones climatiques et qui, parmi les aspects propres à ces zones, introduisent des figures insolites. D'où les principes d'une méthode qui accorde autant d'importance aux formes et aux processus périglaciaires qu'aux données climatiques qui, faute de mesures suffisantes, sont souvent difficiles à embrasser.

Une première zone peut être caractérisée par les polygones de toundra, les pingos, les coins de glace d'injection. Elle correspond au permafrost continu. L'absence des mêmes traits permet de définir une zone „inférieure” dans laquelle il serait désirable de trouver des aspects propres pour chacune de ses subdivisions. Ce n'est pas toujours facile. Nous donnerons des exemples pour l'Islande dans une note séparée.

Pour le périglaciale fossile, nous sommes d'accord avec J. Dylik puisque nous proposons d'élargir l'emploi des critères qu'il adopte à la reconnaissance des divisions régionales et sous-régionales du périglaciale actuel.

(10) *Est-il nécessaire que le terme périglaciaire soit en accord avec son sens étymologique?*

Il n'est pas nécessaire que le terme *périglaciaire* soit en accord avec son sens étymologique. Sa signification première — celle que lui a donnée Łozinski et qui concernait les actions de cryergie aux abords des glaciers quaternaires — a été largement dépassée, mais on voit mal quel terme assez „compréhensif” pourrait couvrir toute la gamme des phénomènes et des climats auxquels s'applique actuellement le mot *périglaciaire*.

Il est vrai que, spatialement, le mot *périglaciaire* est impropre. Cependant, si l'on considère les marges climatiques particulières au périglaciaire, elles débordent les conditions qui permettraient l'apparition des glaciers, soit par les températures qui sont trop élevées, soit par les précipitations qui sont trop basses. Mais encore, ce qui fait le périglaciaire au lieu du glaciaire, c'est le divorce entre les facteurs thermique et hydrique, c'est-à-dire, ce fait que lorsque l'un de ces facteurs pourrait convenir, l'autre ne convient pas. Or, qu'il y ait dépassement, insuffisance ou désaccord, c'est par rapport au glaciaire que nous en jugeons. Du point de vue climatique, il est donc justifié de parler de *périglaciaire*.

(11) *L'opinion sur les termes : périglaciaire, paraglaciaire, subglaciaire, cryonival, cryologie?*

Le terme *périglaciaire*, ainsi qu'on vient de le voir, se justifie et doit être conservé.

*Paraglaciaire* nous paraît plus restrictif. Avec lui, la marge entre les conditions périglaciaires telles que nous les concevons et les conditions glaciaires devient plus étroite.

*Subglaciaire* peut très bien s'appliquer au climat. Un climat subglaciaire conditionne le *paraglaciaire*. *Subglaciaire* a donc aussi un sens plus restreint que *périglaciaire*.

*Cryonival* est loin de couvrir tout le périglaciaire. Dans notre expérience, ce terme s'applique parfaitement aux phénomènes périglaciaires que l'on observe en Islande au voisinage des névés: pergélisol et mollisol temporaires, dallages, etc. et sur lesquels nous reviendrons dans une étude particulière. L'apport de glace exogène par la neige est aussi un phénomène cryonival.

La *cryologie* devrait être l'étude de la cryergie.

Ouvrages consultés

- Bout, P. 1953 a — Etudes de géomorphologie dynamique en Islande. *Actualités sci. et indust.*, No 1197 (*Expéd. polaires franç.*, 3); Paris.
- Bout, P. 1953 b — Prismations et divisions polygonales régulières. *Rev. Géomorph. Dynam.*, 4e année, no 5.
- Bout, P. 1957 — Actions périglaciaires en Velay au Quaternaire. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 5.
- Bout, P., Corbel, J., Derrauau, M., Péguy, P.-Ch. 1955 — Géomorphologie et glaciologie en Islande centrale. *Norois*, no 8, 2e année.
- Bout, P., Derrauau, M., Dresch, J., Péguy, P.-Ch. 1961 — Observations de géographie physique en Iran septentrional. C.N.R.S., *Centre de doc. cartogr. et géograph. Mémoires et Documents*, t. 8.
- Boyé, M. 1950 — Glaciaire et périglaciaire de l'Ata Sund nord-oriental. *Actualités scient. et indust.*, no 1111 (*Expéd. polaires franç.*, 1); Paris.
- Capello, C. 1962 — Périglaciaire ou Cryonival? *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Dylik, J. 1962 — Introduction à la discussion sur la notion et sur le terme de „périglaciaire”. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Dylikowa, A. 1962 — Notion et terme „périglaciaire”. *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Heinzelin, J. de 1962 — Carte des extensions glaciaires du Ruwenzori (Versant Congolais). *Biuletyn Peryglacjalny*, no 11.
- Peltier, L.-C. 1950 — The geographic cycle in periglacial regions as it is related to climatic geomorphology. *Annals Assoc. American Geogr.*, vol. 40.
- Smith, L. L. 1948 — Hollow ferruginous concretions in South Carolina. *Jour. Geol.*, vol. 56.
- Steen, J. de 1951 — Un faciès local des grès de Kiubo du Kundelungu supérieur. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, t. 75.
- Taber, S. 1929 — Frost heaving. *Jour. Geol.*, vol. 37.
- Taber, S. 1943 — Perennially frozen ground in Alaska, its origin and history. *Bull. Geol. Soc. America*, vol. 54.
- Tricart, J. 1950 — Cours de géomorphologie. 2e part: Géomorphologie climatique, fasc. 1 — Le modelé des pays froids: 1. Le modelé périglaciaire. C.D.U. Paris.
- Troll, C. 1944 — Strukturböden, Solifluktion und Frostklimate der Erde. *Geol. Rundschau*, Bd. 34.