

*André Cailleux**

Québec

FENTES MINCES ET DÉPÔTS CHIMIQUES SECONDAIRES EN IAKOUTIE ET AU NORD DE MOSCOU

Résumé de l'auteur

En Sibérie, Iakoutie, dans des sables à pergélisol, des fentes minces verticales, hautes de 3 à 6 mètres, incolores et gelées à 90 km au N de Iakoutsk, ferruginisées rouille à Mamontova Gora, rappellent celles du quaternaire de l'Europe Occidentale et en confirment l'origine périglaciaire, peut-être par cassure d'un pergélisol à 0°, par appel au vide près d'un versant. A Tettigi (Iakoutie) dans les graviers pléistocènes, lits, écharpes et nids discontinus rouille, semblables à ceux d'Europe Occidentale et comme eux probablement périglaciaires, peut-être par congélation des solutions du sol.

Dans le Quaternaire de régions ayant subi autrefois un climat périglaciaire, phénomènes apparentés: au Nord de Moscou, microfailles, ferruginisations recouvrant les lits, MnO₂ en nids; à Novosibirsk dans la dune datée de 9000 BC, une fente subverticale (80°) et des filets ferruginisés, épais de 2 mm, recouvrant les lits, disposition inexplicable dans ce sable très homogène et perméable, si ce n'est en faisant intervenir le gel.

INTRODUCTION

On sait que des fentes minces (1 à 10 mm) souvent proches de la verticale, et des dépôts chimiques secondaires de CaCO₃, Fe₂O₃ et MnO₂, ont été signalés, dans des sédiments meubles d'Europe (Angleterre, France, Belgique, Hongrie, Roumanie... etc.), où ils sont surtout d'âge quaternaire, et d'Alaska central, où ils sont quaternaires ou actuels. Une origine au moins en partie périglaciaire, avec des mécanismes de productions variés, a été proposée pour eux. Nous nous proposons d'exposer ici les observations que nous avons pu faire, à leur sujet en URSS, principalement lors du Symposium "Paléogéographie et phénomènes périglaciaires quaternaires" en Iakoutie et au Nord de Moscou, en septembre 1969. Notre reconnaissance va aux Professeurs K. K. Markov, P. I. Melnikov et J. Dylík, organisateurs de cette réunion, ainsi qu'au Professeur Sachs, de Novosibirsk et à tous leurs collaborateurs.

Comme les alas et pingos de Iakoutie, qui furent aussi étudiés lors du Symposium, sont pour une très large part d'âge holocène, le terme *pléistocène*, employé dans le titre du Symposium en langue anglaise, prête à confusion, et

* Université Laval, Faculté des Lettres, Cité Universitaire, Québec, Canada.

doit être remplacé par *Quaternaire*, ce dernier terme comprenant à la fois le Pléistocène et l'Holocène.

FENTES MINCES

Par *fentes minces* (encore appelées *fentes de Macar*) on entend des fentes de 0 à 10 mm d'épaisseur, rarement plus, hautes de 1 à 10 mètres environ, affectant des sédiments meubles. Elles sont souvent proches de la verticale, et fréquentes sur les versants de vallée. Les unes sont virtuelles, d'autres ont un remplissage de limon, ou de sable semblable à celui des parois, ou coloré en rouille par un peu d'hydroxyde de fer. Si de part et d'autre de la fente, les strates du sable ne sont pas en regard, mais décalées, on a une *microfaille* (encore appelée *faille décimétrique*, ou *centimétrique*, suivant le cas).

Les fentes minces diffèrent fondamentalement des coins de glace et de leurs pseudomorphoses (fentes en coin) en ce qu'elles ne sont pas évasées vers le haut, mais ont sensiblement la même épaisseur de haut en bas.

On leur connaît, à elles et à d'autres plus petites, au moins quatre origines:

(1) Contraction par le froid hivernal. En Mongolie extérieure, à une altitude de 800 mètres dans des limons et gravats épais de 2 à 3 mètres, le froid hivernal provoque la formation de fentes épaisses de 1 à 2 mm, ou plus tard s'infiltre de l'humus (renseignement verbal de Solov'ev).

En Suède du Sud, lors de coups de froid très exceptionnels (phénomènes séculaires) avant les chutes de neige, se forment dans quelques champs des fentes minces, verticales, admirablement étudiées par Svensson (1967).

C'est le même processus de contraction par le froid hivernal qui, dans les régions encore bien plus froides, à pergélisol, se répète chaque année, et descendant tantôt très profondément, tantôt moins, provoque petit à petit la formation d'une fente en coin à remplissage de glace ou de sable. Mais dans un pays sans pergélisol comme le Sud de la Suède, l'éventuel remplissage de glace (s'il existe) fond l'été venu, et la fente mince se referme: elle n'a fonctionné qu'une année.

(2) Dessication, d'où les fentes de retrait. Classique dans les sédiments argileux ou limoneux, elle joue aussi pour les sables vaseux, par exemple dans la Baie du Mont Saint-Michel (Bajard, 1966). La profondeur des fentes va de 5 à 100 centimètres, rarement plus.

Elle peut agir conjointement avec le refroidissement par exemple au Sud de Paris, lors d'un coup de froid hivernal, sur des sables artificiellement dépouillés de leur couvert végétal (Bertouille, 1964).

(3) Dans du sable humide entaillé par un chenal, sapement à la base, d'où glissement par paquets séparés par des microfailles centimétriques, inclinées de 45° à 70° sur l'horizontale; non planes mais légèrement concaves vers le haut.

Hauteur: 20 à 50 cm. Exemple: sur le bord des chenaux de haute slikke, plage de la Baie du Mont St-Michel (Bajard, 1966).

(4) Cassure d'un pergélisol, pour cause mécanique, en particulier par appel au vide sur flanc de vallée ou autre pente. Une première confirmation de cette hypothèse a été trouvée au Nord de Fairbanks (Alaska) où le pergélisol actuel est affecté de telles fentes visibles précisément dans l'entaille d'un ravin actuel engendré par l'exploitation des graviers aurifères voisins.

Un deuxième exemple, encore plus magnifique, est visible en Sibérie, à 90 km au N de Iakutsk, sur la falaise vive haute de 25 à 30 m qui entaille les sables fluviatiles de la terrasse de Bestiakh, jadis déposés par le fleuve Léna. Les sables sont en profondeur, gelés sur toute la hauteur; en été, ils dégèlent à partir de la surface du sol à la fois sur le haut de la terrasse et sur le flanc de la falaise. Sur celui-ci, le sable dégelé est sapé à la base par le fleuve et s'écroule par paquets, de sorte que la moitié supérieure de la falaise est à vif et presque verticale. La glace profonde y est mise à nu et bien visible grâce à ses reflets. Non seulement cette glace forme des lits ou lentilles horizontaux, signalés dans le livret-guide (Katasonov, Solov'ev, 1969, p. 21), mais encore on voit (Photo 1, 2 et 3), dans la masse du sable dur, des fissures presque verticales, hautes de 3 à 6 mètres au moins (le bas est masqué par le sable éboulé) formant des sortes de redans; presque toutes sont virtuelles ou très minces; mais l'une d'elles mesure 5 cm d'épaisseur. Faute de temps, je n'ai pas pu les atteindre, mais seulement les photographier. Je n'ai observé aucun rejet des lits de part et d'autre.

Des fentes assez semblables sont visibles aussi dans des régions où de nos jours il n'y a plus de pergélisol, ainsi, au Nord de Moscou, à environ 16 km, au Sud de Zagorsk, dans une sablière à flanc de vallée entaillant des sables fluvioglaciaires stratifiés à lits obliques de la glaciation d'âge Moskva. Les sables affleurant au bout de la sablière, entre 2 et 6 m de profondeur, montrent de très belles diaclases (joints) et microfailles; le rejet de l'une de celles-ci (photo 4) est de plusieurs décimètres. Par leur netteté, elles rappellent celles observées par J. Tremblay au lac Saint-Jean (Québec, Canada), dans des dépôts fluvioglaciaires datant d'environ 7500 BC, et par nous-mêmes près de Paris à Valenton-Bonneuil. Il s'agit donc d'un phénomène à vaste répartition, et il est intéressant de le trouver aussi en Russie. Le rejet ne peut guère s'expliquer que par fonte de glace enfouie. Mais s'agissait-il de glace morte de glacier, ou glace de ségrégation? Près de Paris, il ne peut évidemment pas s'agir de glace de glacier. Pour les régions jadis englacées, comme les environs de Moscou, la question reste ouverte. La même sablière russe montre, à quelques mètres de là, entre 2 et 3 mètres de profondeur, une pseudomorphose de coin de glace, attestant qu'ici, postérieurement à la glaciation Moskva, a existé un pergélisol, auquel on peut supposer raisonnablement un âge Valdai.

Dans une autre région aujourd'hui sans pergélisol, à Novosibirsk, Akademgorod, lieu dit Lisi Gorki, dans une dune de sable datée de -9000 BC, à 3 m de profondeur, parmi les ferruginisations que je décrirai plus loin, une fente presque verticale (80°) tranche les lits de la dune. Comme les ferruginisations, elle est donc d'âge postérieur à -9000 BC, peut-être contemporaine de l'une des Salpausselkä (8800 à 8200).

DÉPÔTS CARBONATÉS

On sait que la congélation des solutions du sol et du sous-sol a été invoquée comme l'une des causes possibles de concentration de ces solutions et donc de dépôt secondaires, entre autres carbonatés, ferrugineux ou manganiques (Krivan, 1958; Cailleux, 1964) les deux autres causes déjà connues étant l'évaporation et les actions microbiologiques.

Dans les régions de Iakoutie et de Russie étudiées en été 1969, les croûtes blanches sur (ou plutôt sous) galets quaternaires ou actuels sont très rares et très minces. Tel est le cas en Iakoutie, sur l'Aldan, à 130 km en amont de son confluent avec la Léna, à Tettigi, (peut-être un galet sur 500 ou sur 1000) et à Chuiskaja Gora, sur la grève (bétchevnik) de la même rivière Aldan.

La rareté du calcaire secondaire rend d'autant plus intéressantes les observations faites à Iakoutsk même, à l'Institut du pergélisol, dans les caves creusées directement dans les alluvions de la Léna, galées à $-4^{\circ}5$ C, sans interposition de maçonnerie. Dans ces alluvions bien en place, j'ai observé quelques nids de concrétions calcaires blanches de 1 à 2 centimètres, friables et un peu plus loin, des lits calcaires ou imprégnés de calcaire, horizontaux, épais de 1 à 2 mm, et espacés de 2 à 5 centimètres suivant la verticale.

FERRUGINISATIONS

Les dépôts chimiques secondaires d'hydroxyde ferrique revêtent des formes très variées, parmi lesquelles sont bien connues, dans les pays aujourd'hui tempérés, les horizons B de sols bruns, continus, épais de 20 à 100 cm et plus; les liserés de niveau phréatique, minces (1 à 5 mm) et bien horizontaux; les anneaux de Liesegang, en belles ondes arquées ovales emboîtées. Il n'en sera pas question ici, mais seulement de concentrations plus localisées ou de formes plus capricieuses.

(a) RÉGIONS À PERGÉLISOL ACTUEL

En Iakoutie sur la rivière Aldan, à Tettigi, dans le Quaternaire inférieur fluviatile tempéré, à Tanga, peut être contemporain du Cromérien, on peut observer une grande variété de formes:

1° Enduit brun-ocre vif poussiéreux entourant la totalité de la surface d'un galet. Surtout dans les bancs de galets d'environ 3 à 7 cm, sans matrice interposée et toujours en des sites rares et peu étendus (20 à 50 m). Tous les galets du site portent, en ce cas, le même endroit généralisé. D'après nos collègues soviétiques, celui-ci se forme juste au-dessus du pergélisol, dans un horizon où il y a de l'eau liquide, et pourtant aérée.

J'ai observé des galets à enduit exactement semblable dans les dépôts de contact glaciaire quaternaires du Lac St-Jean (Québec, Canada).

2° A la surface de galets, taches ferrugineuses, rouille, disséminées petites (mouches) ou un peu plus grandes rappelant les taches et mouchés noires de MnO_2 , mais ici 70 à 100 fois plus fréquentes. Aspect très uniformément répandu et banal, au moins sur les galets de la grève (= du bétchevnik).

3° Dans les graviers et sables pléistocènes sûrement *in situ*, à 3 kilomètres de l'ancre du bateau, lits, écharpes et nids discontinus, rouille tirant sur l'orange, très semblables à ceux du quaternaire des environs de Paris. Dans du sable parfaitement homogène la ferruginisation rouille pâle a une limite tranchée au couteau, recouvrant les strates. En un autre endroit, une partie ferruginisée est traversée par une fente non ferruginisée, ou réduite, grise, redressée à 85° environ. En dégageant au piochon, on peut s'assurer qu'elle se poursuit à l'intérieur du sable. Ces divers aspects 3°, impliquent évidemment, comme l'a fort bien rappelé Siuta (Siuta, Motowicka-Terelak, 1969), des cheminements privilégiés des solutions du sol, en conditions oxydantes dans les premiers cas, réductrices dans d'autres. La question est de savoir si un sédiment partiellement gelé, ou un pergélisol fissuré, n'ont pas justement créé ces cheminements privilégiés, les parties gelées formant au contraire obstacle. A Tettigi, présentement, comme partout dans la région, le pergélisol existe en profondeur; mais le sable qui dégèle, à la belle saison, au flanc de la falaise, est emporté en partie par l'eau du fleuve ou par les glaces, de sorte que le flanc de la falaise recule d'année en année, et à son intérieur la limite du pergélisol, qui lui reste parallèle, et en moyenne à la même profondeur, recule d'autant.

Sur la rive gauche de la Lena, à Turij Vzvoz, dans les sables de la première terrasse d'inondation, à 3 m de profondeur, se voient des ferruginisations rouille en filets épais de 2 à 5 mm, subhorizontaux, plus rarement en nids ou en tubes verticaux. En attaquant au marteau, la falaise, on atteint le pergélisol: les ferruginisations s'y poursuivent, donc lui sont, dans ce cas, anté-

rières. Katasonov estime qu'elles se sont formées à une époque où le sommet des alluvions n'était pas encore au niveau actuel, mais à 2 ou 2,5 m plus bas; la limite du mollisol (horizon dégelé estival) était alors plus basse d'à peu près autant, et c'est un peu au-dessus d'elle que se seraient déposés les hydroxydes ferriques.

De fait à 25 km de là, à Shamansky Bereg, se voient une fente un peu ferruginisée et quelques taches rouille, justement dans l'horizon terreux du mollisol, un peu au-dessus de la limite du pergélisol et des beaux filons (coins) de glace.

A Krest-Khal'dzhay, en haut de la terrasse de 20-30 m, dans le limon gris de couverture, on note 3 ou 4 trainées rouille, de 20 à 60 cm de long et 2 à 3 cm d'épaisseur. Mais c'est la coupe de Mamontova Gora, sur la rivière Aldan, qui nous montre les faits les plus nets, justification nouvelle du choix si heureux qu'en a fait K. K. Markov pour ses travaux et ceux de ses collaborateurs. Les sables miocènes sont ici tantôt ocre très pâle, tantôt gris; le Pliocène, ocre très pâle. Dans les deux, et dans le Quaternaire, il y a de loin en loin des fentes surtout verticales ou presque, plus rarement horizontales, toujours de couleur rouille foncée. Dans le Pliocène, l'une des fentes verticales est accompagnée, à deux centimètres de distance, par une autre fente parallèle, qui en est probablement une ramification. En compagnie de MM. Dresch et Journaux, j'ai pu photographier à mi-hauteur de la falaise, en plein Pliocène, ces fentes rouille (photo 5). Chacune d'elle est doublée, de part et d'autre, par une partie tout à fait décolorée, grise large d'environ 10 à 20 cm; des analyses chimiques montreraient si la concentration de fer dans la fente s'est bien opérée aux dépens des parois, comme il semble. En tout cas, l'érosion rapide de la falaise, sapée au pied lors de chaque crue printanière ne laisse aucun doute quant à l'âge non actuel de la ferruginisation. A l'affleurement, les parties rouilles, plus cohérentes que le sable gris ou ocre pâle, forment des saillants.

Au bas de la falaise, l'une des fentes, et un bloc de sable encore humide qui s'en était détaché, ont pu être dégagés au marteau. Le sable encaissant paraît parfaitement homogène, et rien ne justifie la concentration du fer, si ce n'est la fissure. Faute de temps, on n'a malheureusement pas pu s'assurer que les fentes préexistent dans le pergélisol, ce qui paraît probable, ni si leur intérieur y est en-dessus ou en-dessous de la température de congélation.

Toujours à Mamontova Gora, en haut de la coupe, dans le grand entonnoir de glissement qui nous a été montré, les limon gris où se voient deux générations de filons de glace, présentent à plusieurs niveaux des ségrégations de filets de glace épais de 1 à 3 mm débitant le limon en un réseau de blocs plus ou moins parallélépipédiques, à maille de 2 à 6 cm de haut et 4 à 12 de large. Une coloration rouille, tranchant nettement sur le gris, s'observe dans

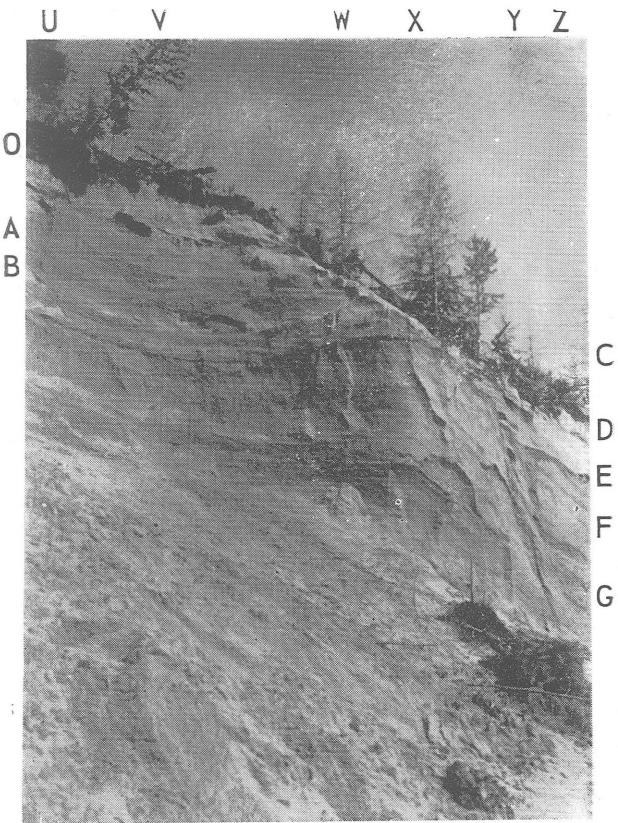


photo de l'auteur

Photo 1. Dans les alluvions anciennes de la Léna, gelées, entaillées en falaise par le fleuve, fentes minces subverticales, à paroi gelée: VA, VB et surtout WB à WD, XC à YF, YE à ZG... etc. Au pied, éboulis, récents. Tout en haut, de UO à WA, horizon d'accumulation B ferrugineux du sol. Sibérie, 90 km N de Iakoutsk, terrasse de Bestiakh

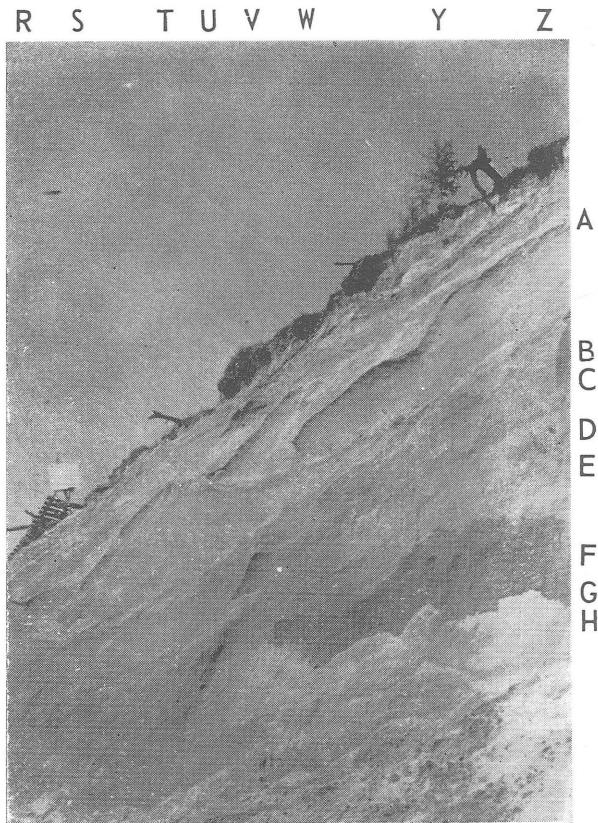


photo de l'auteur

Photo 2. Comme photo 1; Fentes minces subverticales gelées: de ZA à YB et à WD, de WC à UE et à SF, VF, RG. Le pan subvertical sombre (humide) WG à ZF est probablement une fente mince de direction parallèle à la falaise, et en voie de dégel fin juillet. En BV, le sombre est l'horizon du sol riche en racines; le plus clair juste en dessous est l'horizon B de couleur rouille

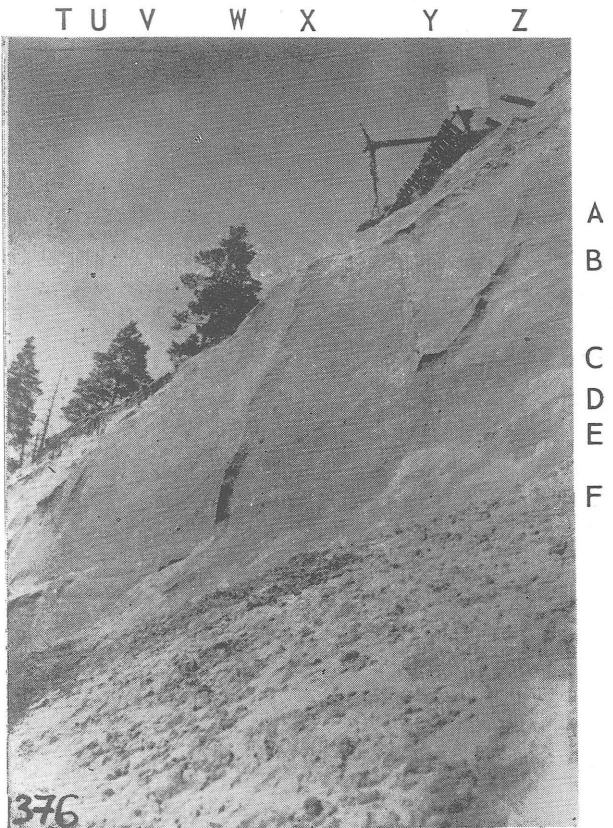


photo de l'auteur

Photo 3. Comme photo 2: Fentes minces subverticales gelées: de ZA à YC, de XB à WF, en UF et en-TF. De VC à TE, en sombre, le sol avec humus et horizon B ferruginisé

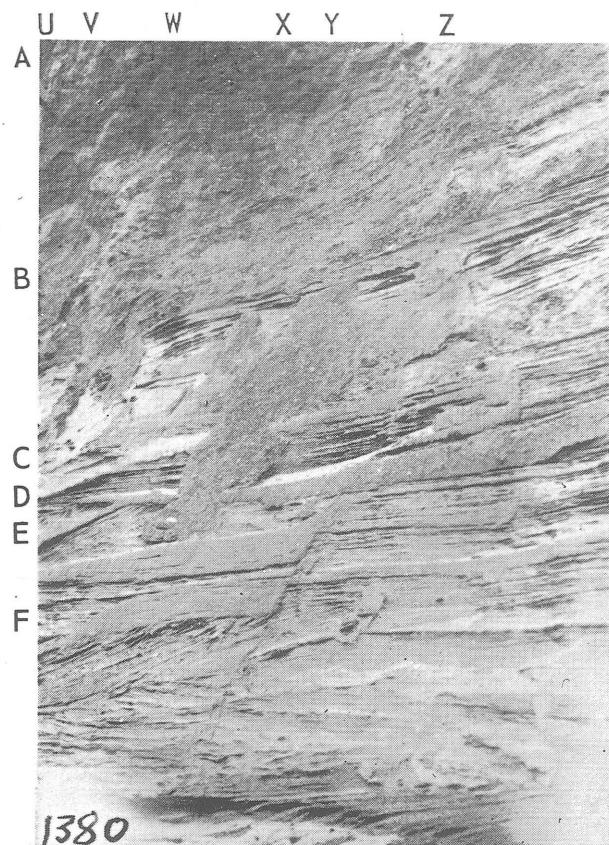


photo de l'auteur

Photo 4. Dans les sables fluvioglaciaires stratifiés quaternaires d'âge Moskva, de YD à XF et peut-être plus bas, microfaille qui ne paraît pas affecter le banc ZC-VD. Par places, du sable éboulé cache les strates, notamment de ZB à WF. En VA, racines, proximité de la surface du sol. Zagorsk (Russie) 16 km sud

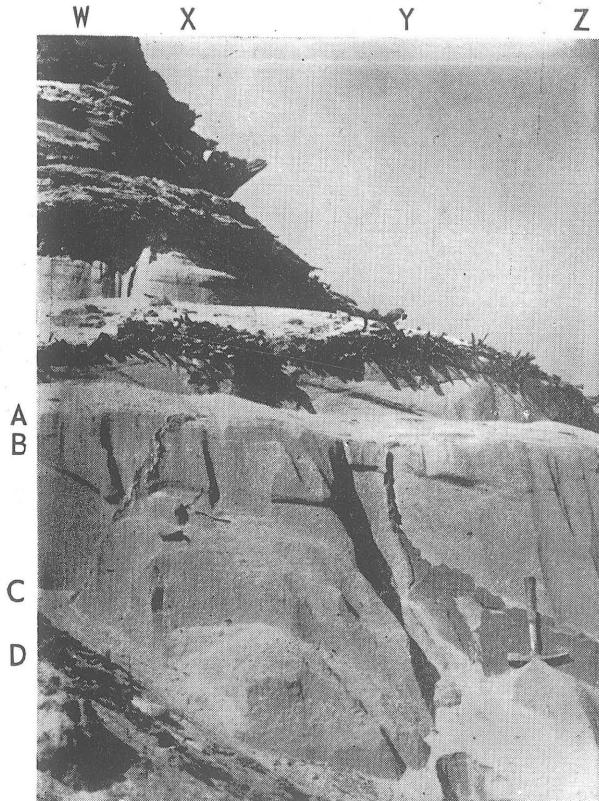


photo de l'auteur

Photo 5. Dans les sables fluviatiles pliocènes ocre très pâle, perpétuellement gelés en profondeur, entaillés en falaise par le fleuve Aldan, deux fentes subverticales ferruginisées rouille (XA à WC et surtout YB à ZD). De part et d'autre de chacune, la paroi est décolorée, grise (bien visible sur la seconde fente). Au-dessus, bancs à nombreux bois fossiles.

Mamontova Gora, Sibérie, Iakoutie

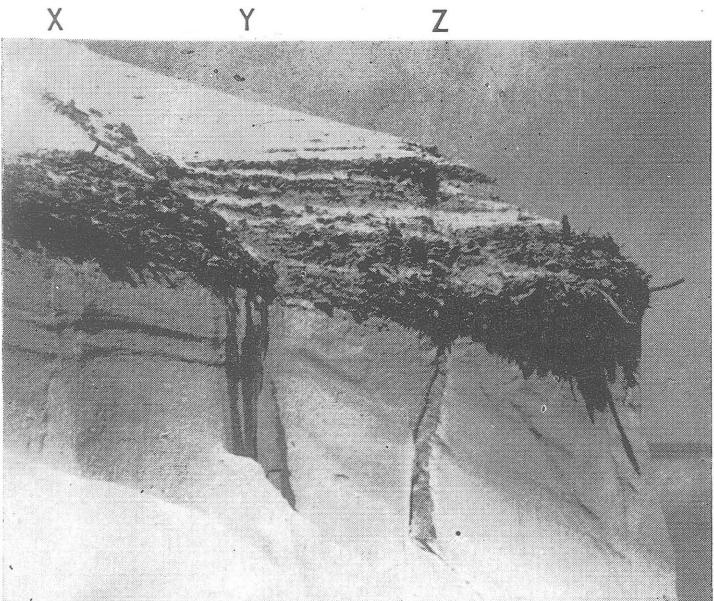


photo de l'auteur

Photo 6. Comme photo 5: Trois fentes subverticales X, Y et Z. Y et Z sont ferruginisées rouille. Décoloration bien visible de part et d'autre de Z. Au-dessus, bois fossiles abondants. A droite la rivière Aldan

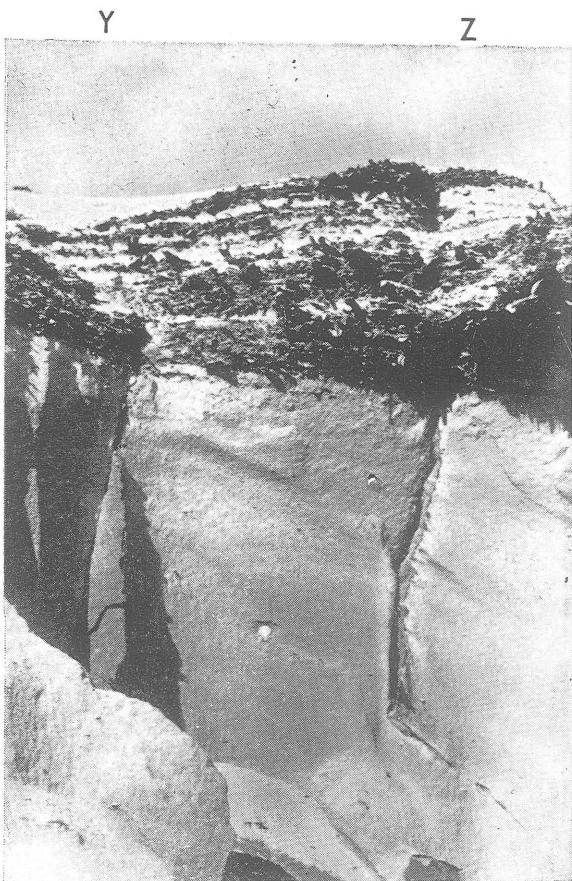
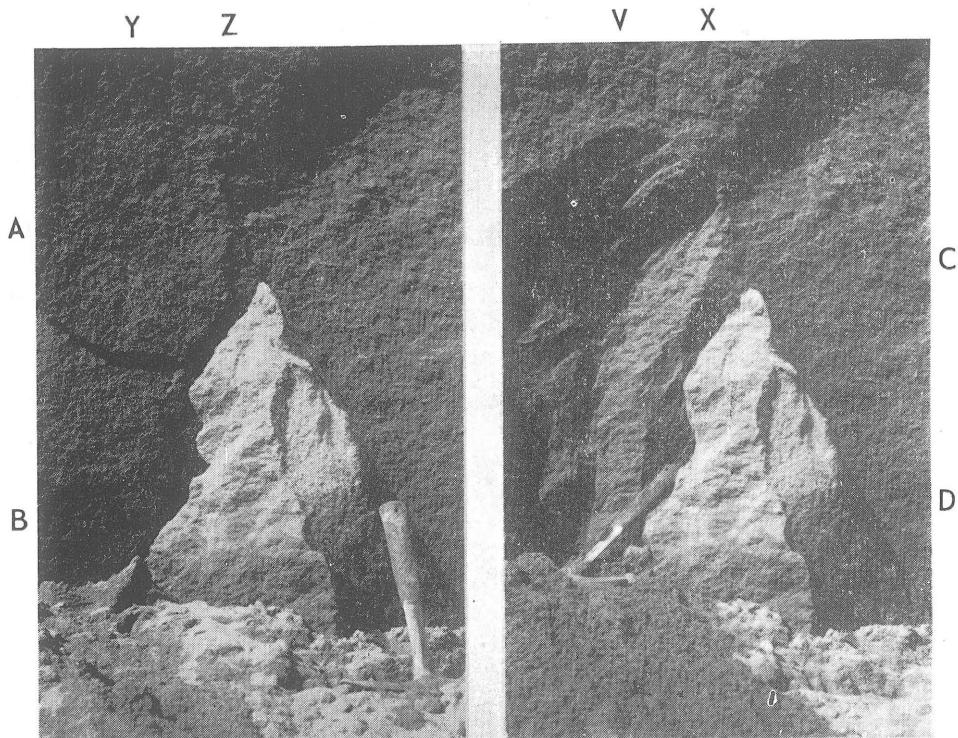


photo de l'auteur

Photo 7. Détail du photo 6, fentes rouille Y et Z. Entre les deux, une pièce de monnaie donne l'échelle



photos de l'auteur

Photo 8. (à gauche) – Au pied de la falaise de sable fluviatile de Mamontova Gora, naguère gelée, aujourd'hui dégelée, humide, gris foncé (YA), un bloc de sable s'est détaché. L'une de ses faces (ZB) est un plan de fente, ferruginisée, rouille, paraissant ici claire parce qu'elle est sèche

Photo 9. (à droite) – Avec le marteau, on a attaqué à gauche le sable humide et dégagé ainsi la fente XC-VD, dont la face ZB du bloc faisait partie. Cette fente se continue donc bien en profondeur

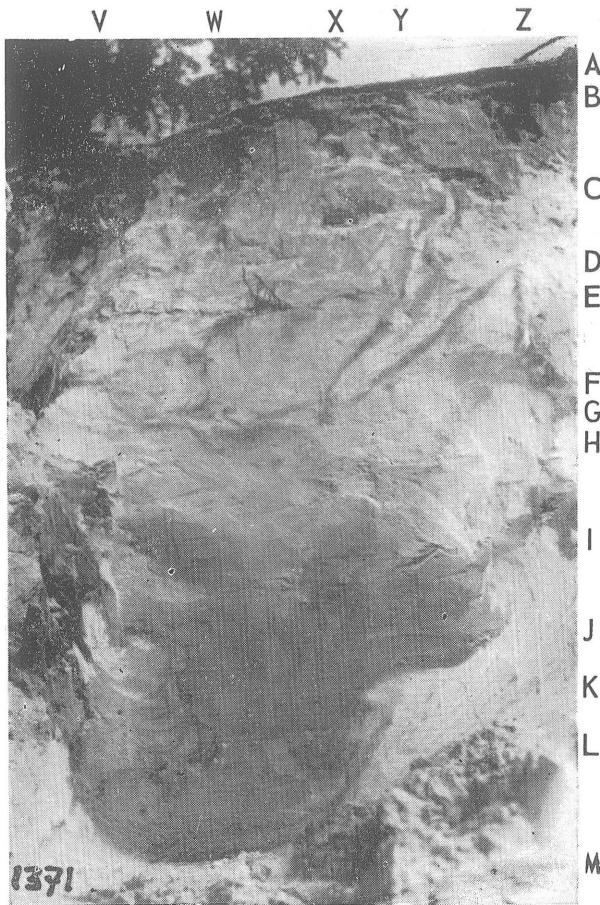


photo de l'auteur

Photo 10. A 90 km au N de Iakoutsk (Sibérie), terrasse de Bestiakh entaillée par le fleuve Léna. Coupe verticale. Horizon humifère et lessivé gris du sol actuel ZA. En dessous vient l'horizon de légère accumulation rouille, jusque vers ZD et VE. Tout le reste, vers le bas, est rouille pâle sauf les parties plus foncées, qui sont grises, probablement humifères, et le bas vers ZK, YL et VM, qui est plus clair, ocre pâle. Très belle poche VJ-VL-WM-YL-YK-YJ, probablement due à la cryoturbation, de même que les plications ZF-ZD-XF-YF-YE-XE-WE-WF

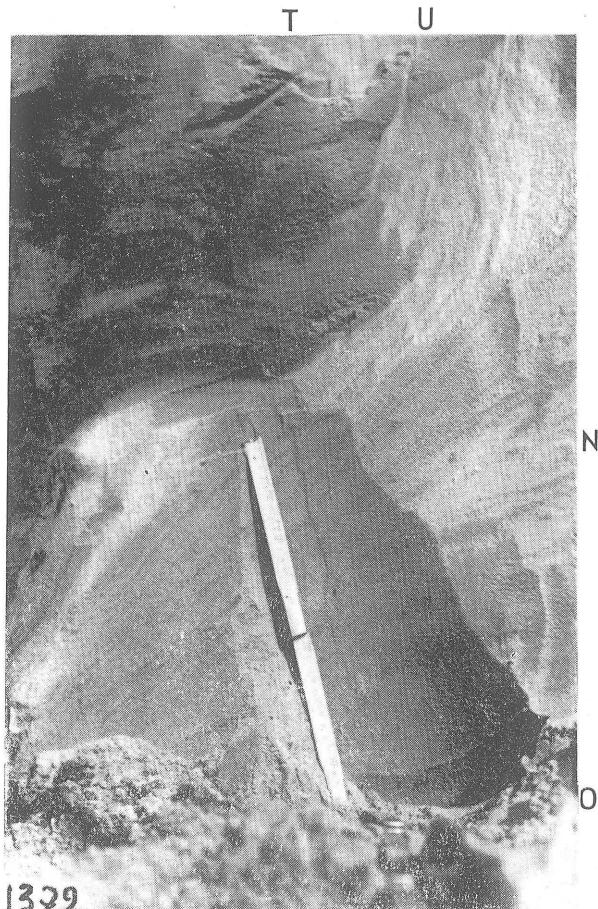


photo de l'auteur

Photo 11. Sur l'affleurement de la planche 10, on a dégagé à la pelle la région YK-ZM. Dans le sable ocre pâle, poreux, présentement dégelé et perméable, on voit, juste à droite du mètre et parallèle à lui, une fente ferruginisée rouille foncée, inclinée à 75-80°, TN-UO.

Interprétation : l'eau y a circulé entre deux parois gelées à 0°

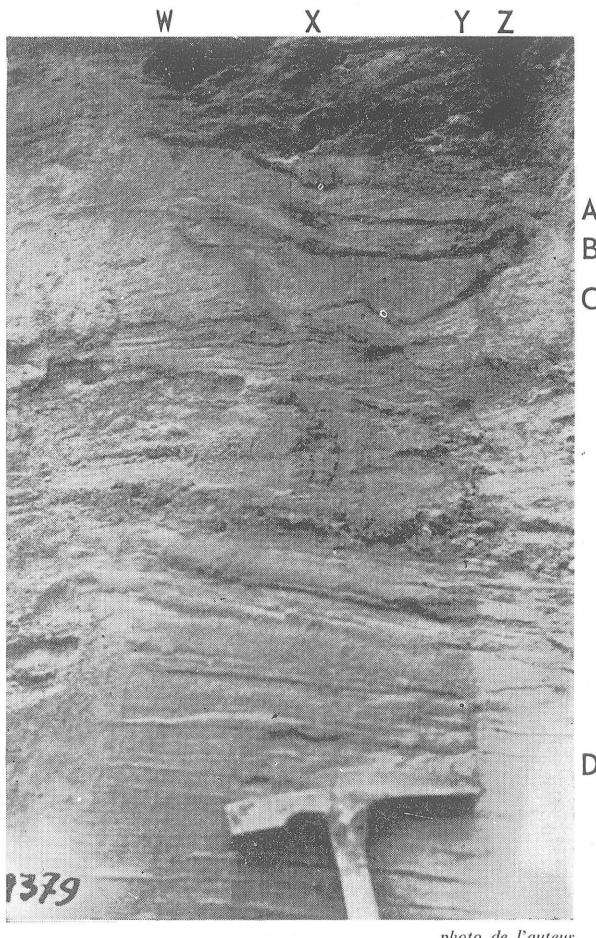


Photo 12. Dans les sables fluvioglaciaires stratifiés quaternaires d'âge Moskva, rouille pâle, des concentrations ferrugineuses plus foncées XA-ZA, WB-ZB, WB-XC-ZB, recoupant les lits. De même en YD, juste au-dessus de la pointe du marteau, petite bordure. Zagorsk (Russie), 16 km Sud

les fentes subverticales et aussi sur les côtés du réseau, tant subverticaux qu'horizontaux; là, le rouille est plus pâle et tire un peu sur le vert.

A Chuiskaya Gora, toujours sur la falaise de la rivière Aldan, dans le haut du Pliocène, le sable lité crème ou blanc est affecté de ferruginisations rouille. Les unes forment des bandes épaisses de 5 à 20 mm, en général suivant les strates: mais un petit nombre sautent d'une strate à l'autre, en oblique. D'autres n'affectent une strate que sur une partie de sa longueur, puis brusquement cessent. D'autres encore forment de gros nids (15 cm), toujours sans qu'aucune différence lithologique ne le justifie.

Enfin dans la coupe de la terrasse de Bestiakh, à 90 km au N de Iakoutsk, en-dessous du sol lessivé humifère actuel, et jusqu'à la profondeur de 2 ou 3 mètres, se voient des involutions de sable humifère, déformations probables d'un sol fossile, ressemblant à s'y méprendre à celles qu'Edelman, Jeswiet et Florschütz ont décrites aux Pays-Bas, et interprétées comme un effet de cryoturbation. Entre elles et l'horizon B humifère du sol actuel se voient par endroits des ferruginisations rouille, les unes en marbrures, les autres dessinant des U ou des poches, ouverts en haut, profonds de 50 à 100 cm. Sous les involutions d'humus, d'autres ferruginisations rouille sont dans du sable sans argile et ont les caractères déjà décrits dans le Quaternaire des environs de Paris: lits de 2 mm d'épaisseur, tantôt suivant les strates, tantôt plissotés, tantôt brusquement arrêtées; il y a aussi des fentes inclinées à 70°; l'une d'elle (photo 11) recoupe nettement des lits de sable blanc un peu inclinés. Si, quand l'hydroxyde de fer s'y est déposé, le sable des parois avait été non gelé, on comprendrait mal pourquoi la ferruginisation ne s'y est pas propagée vers le bas. L'hypothèse d'un pergélisol à 0°, affecté de fentes, dans lesquelles les solutions ont pu circuler apparaît ici plus vraisemblable, puisqu'en fait ce pergélisol a existé là, et existe encore à moins de 1 ou 2 mètres de la surface.

(b) RÉGIONS ACTUELLEMENT SANS PERGÉLISOL

Au Nord de Moscou, à 16 km environ au Sud de Zagorsk, dans la sablière déjà citée, dans les sables fluvioglaciaires, entre la surface du sol et la profondeur de 2,5 m, se voient des ferruginisations en filets plus ou moins horizontaux, tantôt suivant les strates du sable, tantôt sautant bresquement de l'une à l'autre, souvent anastomosés, et aussi des fentes ferruginisées redressées jusqu'à 80 ou 90°, comme il en a été dérit en Europe Occidentale et centrale et jusqu'en Roumanie.

Plus au Nord encore, près de Rostov Yaroslavskii, à Levina Gora, dans les sables cryoturbés, se voient des écharpes ou nids rouille, discontinus.

A Novosibirsk, Akademgorod, lieu dit Lisi Gorki, la dune de sable datée de 9000 BC montre à 560 cm de profondeur et en-dessous 5 ou 6 filets fer-

ruginisés, épais de 2 mm, espacés de 5 à 18 cm, si sinueux et si contournés, qu'ils ne peuvent pas être la trace d'un hypothétique niveau phréatique. Un peu plus loin, à 3 m de profondeur, des filets ferruginisés semblables, espacés de 8 à 30 cm, suivent surtout les strates esquissées dans le sable de la dune, mais par endroits s'en écartent ou sont recoupés par une fente subverticale, signalée plus haut (page 24). La date de la ferruginisation est ici postérieure à 9000 BC, mais ici, comme dans les deux localités précédentes, son origine est discutable: cheminements différentiels de Siuta: ou congélation des solutions du sol? ou circulation de solution entre des blocs de sable congelés à 0° C?

DÉPÔTS DE MnO₂

En Iakoutie, dans la localité de Tettigi déjà citée, sur les cailloux de la grève (= bétchevnik) de l'Aldan, les taches noires de manganèse sont rares (environ 1 % des cailloux) et en forme de mouches petites (1 à 3 mm). Rapelons qu'à partir de mouches semblables, prélevées dans des sables au Sud de Paris, ont pu être isolées des souches de *Bacillus cereus* qui, cultivées in vitro, ont permis de reproduire, suivant les conditions de l'expérience, soit des dendrites, soit des mouches de MnO₂ (Billy et Cailleux, 1969). Aussi peut-on souhaiter une meilleure étude de ces différentes formes des dépôts de manganèse, indices possibles des conditions physiques de leur formation.

Au Nord de Moscou, dans la localité de Levina Gora, parmi les écharpes ou amas ferruginisés signalés ci-dessus (p. 27) se voient quelques amas où cailloux et sable sont imprégnés de MnO₂. L'un d'eux à 20 cm de large et 13 de haut. Ces amas, ici comme dans le Quaternaire de France, occupent environ 20 fois moins de surface que les ferruginisations. Une concentration sélective aussi remarquable d'un élément ne peut s'expliquer ni par un hypothétique niveau phréatique, ni par simple infiltration à partir du haut. On doit envisager bien plutôt soit une congélation des solutions du sol, lors d'un retour offensif du froid, soit une action microbiologique, soit les deux en même temps ou successivement.

CONCLUSIONS

Les observations faites dans les régions à pergélisol actuel (Iakoutie) et quaternaire (Nord de Moscou, Novosibirsk) confirment les interprétations jusqu'ici proposées, et qui font une belle part aux conditions périglaciaires; de plus elles permettent de les préciser.

Les fentes minces sont tout-à-fait distinctes des fentes en coin, et de genèse différente: la cassure d'un pergélisol, par effet de porte-à-faux, sur un terrain en pente, paraît bien l'une de leurs causes fréquentes.

Des microfailles et certaines fentes minces résultent de la fusion de glace enfouie, mais il y a lieu dans chaque cas de se demander s'il s'agissait de glace du sol, ou de glace de glacier (premier problème), et si les sédiments cassés étaient gelés ou non au moment de la cassure (second problème).

Quant aux dépôts chimiques secondaires, l'importance des cheminement différentiels et en ce qui concerne le fer et le manganèse, des potentiels d'oxydo-réduction est soulignée à juste raison par Siuta et son école. Mais à notre avis ceci est parfaitement compatible avec les faits signalés ici et dans des publications antérieures, et montrant que sont intervenus aussi, au moins pour une bonne part, des actions microbiologiques, la congélation des solutions du sol (et du sous-sol) et les cheminements de solutions dans les interstices entre les blocs du même sol (ou sous-sol) gelés à la température de congélation.

Bibliographie*

- Adolphe, Jean-Pierre, 1969 – Nature et genèse du calcin en chou-fleur de France. *C. R. Ac. Sci.*, t. 268; p. 752–755, 4 fig., Paris.
- Alimen, Henriette, 1965 – Quelques notions de portée générale déduites d'observations sur le Quaternaire moyen du Béarn. *Bull. Ass. fr. Et. Quat.*, f. 2; p. 103–115, 5 fig., Paris.
- Bajard, Jacques, 1966 – Figures et structures sédimentaires dans la zone intertidale de la partie orientale de la baie du Mont-Saint-Michel. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, v. 8, f. 1; p. 39–11; 160 fig., Paris.
- Bertouille, Horace, 1964 – Etude d'un réseau actuel de fentes de gel. *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*; p. 137–139, 3 fig., Paris.
- Bertouille, Horace, et Cailleux, André, 1966 – Dépôts calcaires, fentes et ferruginisations quaternaires près de Paris. *Tijds. Kon. Ned. Aard. Gen.*, D. 83, n. 3; p. 208–219, 12 fig.
- Billy, Cécile, et Cailleux, André, 1969 – Dendrites de manganèse et bactéries. *Science-Progrès Découverte*, n. 3414; p. 381–385, 4 fig., Paris.
- Boyé, M., 1967 – Etude des veines de calcaire friable dit „trufe pulvérulent” dans une carrière de „molasse de l'Agenais” au lieu dit „La Forêt”, commune d'Agnac (Lot-et-Garonne). *Actes Soc. Limn. Bordeaux*, v. spéci. Congrès A.F.A.S.; p. 59–62, 3 fig.
- Boyé, M., Mouline, M. P., et Viguer, O., 1967 – Phénomènes de dépôts physico-chimiques dans le Sud-Ouest Aquitain (Hypothèse ouyogénique). *Actes Soc. Limn. Bordeaux*, t. 104, s. B, n. 15; p. 1–31, 12 fig.

* Nota: On se reportera aussi aux ouvrages cités dans ceux qui suivent.

- Cailleux, André, 1964 – Genèse possible de dépôts chimiques par congélation. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, f. 1; p. 11–12, Paris.
- Cailleux, André, 1965 – Quaternary secondary chemical deposition in France. *Geol. Soc. Amer., Sp. Paper* 84; p. 125–138, 6 fig., New-York.
- Cailleux, André, 1967 – Actions du vent et du froid entre le Yukon et Anchorage, Alaska. *Geogr. Annaler*, v. 49, s. A.; p. 145–154, 7 fig.
- Cailleux, André, 1968 – Periglacial of Mc Murdo Strait (Antarctica). *Bulletyn Peryglacjalny*, no. 17; p. 57–90, 12 fig., Łódź.
- Cailleux, André, 1969 – Ein Beitrag zu Krumbein: Über den Einfluss des Mikroflora auf die exogene Dynamik (Verwitterung und Krustenbildung). *Geol. Rundschau*, Bd. 58, H. 2; p. 363–365, Stuttgart.
- Cailleux, André, 1969a – Observations à la communication de F. D. Cook: Significance of microorganisms in paleosols, parent material and ground water. *Pedology and Quaternary Research*; p. 59–61, Edmonton.
- Ek, Camille, et Pissart, Albert, 1965 – Dépôt de carbonate de calcium par congélation et teneur en bicarbonate des eaux résiduelles. *C. R. Ac. Sci.*, t. 260; p. 929–932, Paris.
- Horemans, Pierre, 1969 – Etude pédologique de la basse terrasse alluviale de la Seine à Marolles. *Bull. Ass. Nat. Vallée Loing*, t. 45, n. 11–12, cf. p. 120. Fontainebleau.
- Katasonov, E. M., and Solov'ev, P. A., 1969 – Guide to trip in Central Yakutia. Paleogeography and periglacial phenomena. 87 p., 40 fig., Ljubertsy.
- Krivan, P., 1958 – Tundrenerscheinungen mit Eislinzen und Eisblattrigkeit in Ungarn. *Acta Geol.*, t. 5, f. 3–4; p. 323–335, 7 fig., Budapest.
- Krumbein, Wolfgang E., 1968 – Geomicrobiology and geochemistry of the „Nari-lime-crust” (Israel). In: Recent Dev. in Carbonate Sedim. in Central Europe, p. 138–147 5 fig., Berlin.
- Krumbein, Wolfgang E., 1969 – Über den Einfluss der Mikroflora auf die exogene Dynamik (Vervitterung und Krustenbildung). *Geol. Rundschau*, Bd. 58; p. 333–363, 16 fig., Stuttgart.
- Macar, P., 1969 – A peculiar type of fossil ice fissure. In: P é w é (Troy L.) – The periglacial environment, p. 337–346, 3 fig., Montreal.
- Macar, P., et Leckwijck, W. Van, 1958 – Les fentes à remplissage de la région liégoise. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 81; p. B. 359–407, 40 fig., Liège.
- Markov, K. K. and coauthors, 1969 – Symposium „paleogeography and periglacial phenomena”. Guidebook for field excursions Moscow – Upper Volga. 70 p., 34 fig., Moscow.
- Michel, Jean-Pierre, 1966 – Ferruginisations quaternaires dans des sables stampiens (Oligocène moyen) soufflés à Maintenon (Evre-et-Loir). *C. R. Ac. Sci.*, t. 263; p. 1564–1567, 3 fig., Paris.
- Michel, Jean-Pierre, 1967 – Grès à ciment calcaire et conglomérats quaternaires des alluvions anciennes de la Marne et de la Seine en amont de Paris. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7 s., t. 9; p. 63–67, 5 fig., Paris.
- Mielecke, Walter, 1965 – Über die Silizifikate in den pliozänen (eopleistozänen) Kiesen der Lausitz. *Géologie*, t. 14, H. 5/6; p. 677–685, 5 fig., Berlin.
- Picard, Karl, 1965 – Frostspalten mit Flugsandfüllung in Schleswig-Holstein. *Schr. Naturw. Ver. Schleswig-Holstein*, Bd. 36; p. 84–87, Kiel.

- Samuelsson, Lennart, 1965 – Subglacialt bildade Kalkstenar. *Geol. För. Förh.*, v. 87; p. 162–163, Stockholm.
- Siuta, J., and Motowicka-Terelak, T., 1969 – The origin and systematics of ferruginous precipitates in Quaternary formations and in present-day soils. *Biuletyn Peryglacjalny*, no. 18; p. 209–257, 48 fig., Łódź.
- Svensson, Harald, 1967 – Jordskalven vid Hallandssen i februari 1966. *Geol. För. Förh.*, 89; p. 151–180, 13 fig., Stockholm.
- Washburn, A. L., Smith, D. D., Goddard, R. H., 1963 – Cold cracking in a middle-latitude climate. *Biuletyn Peryglacjalny*, no. 12; p. 175–189, 3 fig., Łódź.