

YUGO ONO\*

Tsukuba

## CHRONOLOGIE ET SIGNIFICATION PALÉOCLIMATIQUE DES PHÉNOMÈNES PÉRIGLACIAIRES FOSSILES, HOKKAIDO EST, JAPON

### Abstract

In the eastern part of Hokkaido, North Japan, various periglacial phenomena such as involutions, frost cracks and ice-wedge casts have been observed in the tephra layers deposited during the last glacial age. Their distribution is mapped (fig. 1) and, by using some key tephra layers, the periods of their formation are determined (fig. 2). The paleoclimate of this region during the last glacial is reconstructed from those fossil periglacial phenomena and other data obtained recently.

### Résumé

Dans la partie orientale de Hokkaido (N du Japon), différents phénomènes périglaciaires tels que des involutions, des fissures de gel et des pseudomorphes de fente de gel à remplissage de glace ont été observés dans les couches de cendres volcaniques déposées pendant la dernière glaciation. Leur distribution est cartographiée (fig. 1) et en utilisant quelques couches de cendres repères, les périodes de leur formation sont déterminées (fig. 2). Le paléoclimat de cette région pendant la dernière glaciation est reconstitué à partir de ces phénomènes périglaciaires fossiles et d'autres données obtenues récemment.

### INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, de nombreux phénomènes périglaciaires ont été signalés au Japon. La majorité d'entre eux se concentrent à Hokkaido, l'île la plus septentrionale du Japon (fig. 1-B). Comme on voit sur cette figure, la partie est de Hokkaido est la région la plus riche en phénomènes périglaciaires fossiles. Ce sont d'abord diverses structures périglaciaires: fentes de gel, involutions, cryoturba-tions se développant surtout dans les couches de cendres volcaniques, puis des formes de terrain qui consistent en glacis d'érosion développés quelquefois en relation avec divers niveaux de terrasses fluviales (ou bien fluvio-périglaciaires), des vallées asymétriques, des coulées de blocs, des dunes intérieures et aussi des sols à buttes.

Cette région, située juste au sud de la zone de permafrost de la Sibérie orientale, a donc une grande importance pour fixer la limite méridionale du permafrost lors de la dernière glaciation, au bord oriental du continent asiatique. Bien que la détermination de la limite méridionale du permafrost reste très difficile, il est très probable que la densité des phénomènes périglaciaires augmente lorsqu'on s'approche de cette limite. En plus de la densité, les types de formes périglaciaires indiquent sans doute aussi quelque différenciation. Par cette voie, on pourra estimer, en quelque sorte, la limite méridionale du permafrost.

\* Institut de Géo-Science, Université de Tsukuba, 305, Ibaraki, Japon.

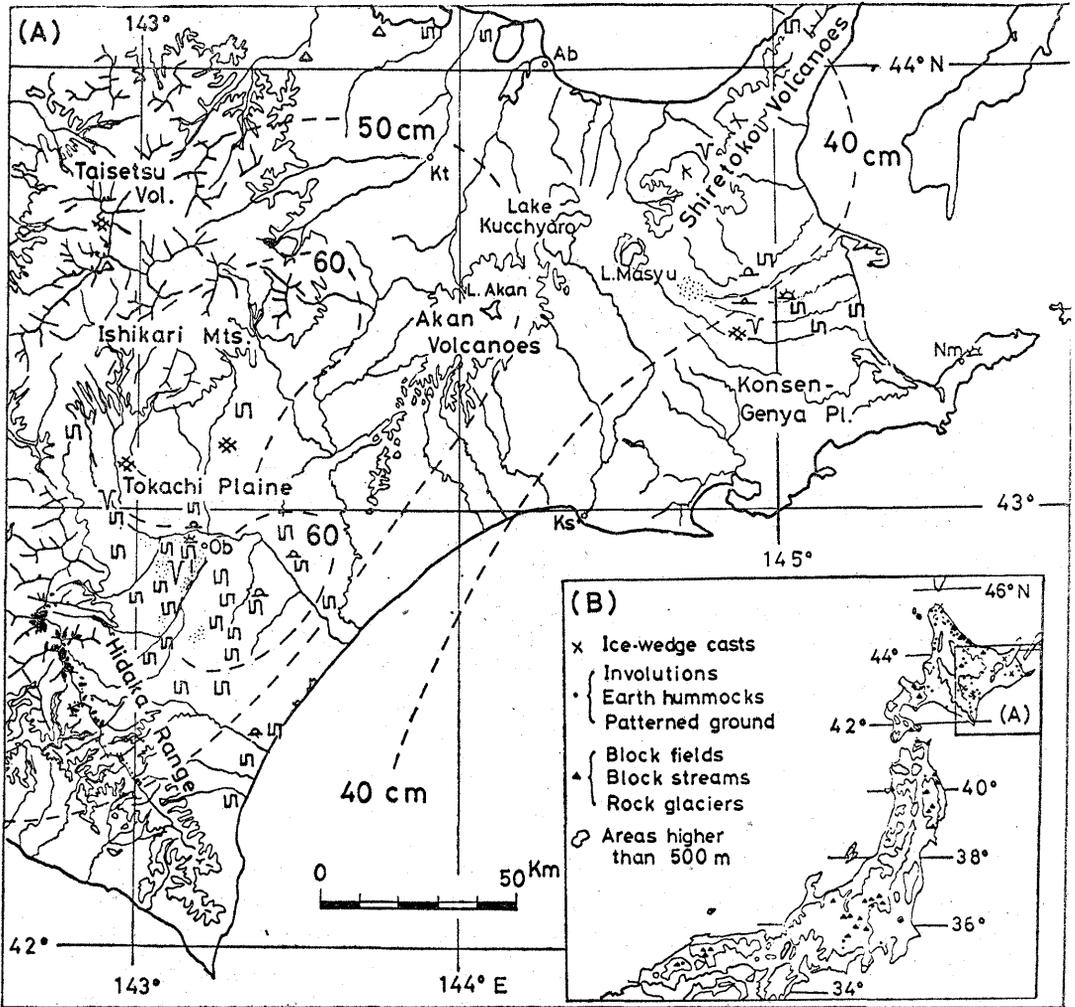


Figure 1 (A): Distribution map of the fossil periglacial phenomena in Eastern Hokkaido

⊗: earth hummocks, △: buried earth hummocks, ∴: inland dunes, □: involutions, |: frost cracks, ∇: ice-wedge casts, ⊗: (photographically recognized) large scale patterned ground, ▲: asymmetrical valleys, ▲: block streams, ●: maximum extension of glaciers during the last glacial age, -.-.-: depth of actual frost penetration (16 th, Jan. 1965; Fukuda, 1975, p.98-111), ◊: areas higher than 500 m.

Ab: Abashiri, Ks: Kushiro, Kt: Kitami, Nm: Nemuro, Ob: Obihiro.

This map is compiled from field data obtained by the author, Iwata(1977), Kimura et al.(1970,72), Koaze(1973), Koaze et al.(1974,a,b), Nogawa et al.(1972), Ono et Hirakawa(1975), Takakura et Tagami(1972) and Tmioka et al.(1974).

Figure 1 (B): Distribution map of the fossil periglacial phenomena in Japan. (Koaze, 1972; partly modified)

□(A): areas shown in Fig. 1 (A). ◊: areas higher than 500 m.

Dans cette ligne de recherche, nous avons essayé de rassembler toutes nos connaissances sur les phénomènes périglaciaires dans cette région, pour dessiner la carte de répartition des phénomènes périglaciaires fossiles (fig. 1-A). Nous nous efforçons ci-dessous d'éclaircir la chronologie et la signification paléo-climatique de ces phénomènes.

Hokkaido est situé dans la zone tempérée froide, entre 42—45° de latitude nord. Malgré sa latitude assez basse, l'île subit un climat rigoureux. A cause du vent ouest transportant la neige de la Mer du Japon, la partie ouest de Hokkaido reçoit des précipitations neigeuses élevées (1—2 m d'épaisseur en moyenne), tandis que la partie est en reçoit beaucoup moins. Sans couverture neigeuse, et de plus, refroidi par les glaces flottantes qui couvrent complètement la Mer d'Okhotsk, c'est dans la partie orientale de Hokkaido que la pénétration du gel atteint son maximum. La température minimum moyenne mensuelle à Obihiro (42° 55'N, 40 m d'altitude) atteint -16,2 °C en janvier, tandis que la température moyenne annuelle est +5,9 °C, reflétant que l'été est assez chaud (20,0 °C en août). Les précipitations annuelles sont assez faibles par rapport aux autres régions du Japon (943 mm par an en moyenne de 1931—1960). La région périglaciaire actuelle se réduit à la zone supraforestière s'étendant à l'altitude de plus de 1.500 m environ, dans les Massifs volcaniques de Taisetsu, de Shiretoko et dans les Monts Hidaka. Sauf cette région limitée, la partie est de Hokkaido est couverte par une végétation du type Taïga, constituée par des conifères (*Picea jezoensis*, *Abies sachalinensis*) et des bouleaux.

#### PÉNÉTRATION DU GEL ACTUEL ET STRUCTURES PÉRIGLACIAIRES

Comme le montre la figure 1-A, la profondeur maximum du gel dans l'est de Hokkaido dépasse 40 cm. Elle atteint son maximum au centre de la plaine de Tokachi et sur les piedmonts du Massif d'Ishikari parce que le froid devient plus sévère dans les régions éloignées de la mer. La période de gel dure entre 7 et 8 mois, et le froid accumulé compte 800—1.200 °C degrés jours dans la plus grande partie de l'est de Hokkaido.

Cependant, le gel actuel ne semble pas suffisamment fort pour former une structure périglaciaire nette. On ne voit que deux sortes de craquelures se développant dans les cendres volcaniques (téphra) plus ou moins altérées, limono-argileuses. Le premier type de craquelures se développe souvent juste au-dessous de l'horizon humifère (ou horizon A<sub>1</sub>). L'épaisseur totale de la couche à craquelures ne dépasse pas 50 cm et la profondeur de cette couche est, en général, de moins d'un mètre sous la surface du terrain. Ce sont des craquelures de forme ronde dont le diamètre est 3—4 cm. A cause de ces craquelures, apparaissent des agrégats de forme ronde ayant le même diamètre.

Le deuxième type se voit aussi dans les cendres volcaniques limono-argileuses. Ce sont des craquelures superficielles en forme polygonale, de 50—70 cm de diamètre. On observe quelquefois qu'à la surface d'un affleurement de cendres volcaniques, ces deux types de craquelures se superposent l'une à l'autre: en surface se développent les craquelures de forme ronde jusqu'à 15 cm de profondeur, et lorsqu'on dégage

cette couche constituée d'agrégats (se développant parallèlement à la surface d'affleurement) la surface secondaire à craquelures polygonales est exposée. Le mécanisme de formation de ces craquelures n'est pas encore suffisamment étudié; cependant, il est certain que le gel a joué un grand rôle dans leur développement.

#### FORMES DE TERRAIN PÉRIGLACIAIRES FOSSILES

Du point de vue chronologique, les formes de terrain périglaciaires ne sont pas favorables car, en beaucoup de cas, il est très difficile de dater leur formation. Ici nous traitons seulement de deux formes, les sols à buttes et les dunes intérieures dont la formation est assez bien datée.

##### SOLS À BUTTES (EARTH HUMMOCKS)

Les terrains humides un peu plus élevés que le lit majeur sont quelquefois couverts par des sols à buttes. Dans l'est de Hokkaido, les buttes ont 50—200 cm de diamètre et 50—100 cm de hauteur. Une coupe dégagée près d'Obihiro, au centre de la plaine de Tokachi, montre clairement que ces buttes sont constituées par des couches humifères provenant des ponces To-c1 et -c2 (ponces c1 et c2 du volcan Tokachi, datées  $2020 \pm 90$  ans B.P. et  $3240 \pm 150$  ans B.P., respectivement). La ponce de Ta-d (ponce d du volcan Tarumaé, datée  $8940 \pm 40$  ans B.P.) trouvée à la base de la butte reste horizontale. Bien que les déformations des couches n'y soient pas claires dans la butte, ce sont les couches humifères de To-c1 et -c2 qui ont gonflé et qui formaient la butte. YAMADA (1959) a attribué leur formation au caractère de ces deux ponces qui sont très favorables à la rétention de beaucoup d'eau. Et une autre coupe observée près de Némuro, à l'est de la plaine de Konsen-genya, montre des involutions de couches ponçueuses d'âge holocène (KOAZÉ, *et al.*, 1974b). Les involutions dans la coupe de sol à buttes ont été observées aussi dans la plaine de Tokachi au niveau de l'horizon de Ta-d.

Comme les sols à buttes dans la plaine de Tokachi sont légèrement couverts par la couche mince de la ponce de Ta-b (Tarumaé -b) déposée lors de l'éruption de 1669, la période de leur formation a été estimée entre 2000 ans B.P. environ et cette année (YAMADA, 1959). Cependant il y a quelques observations selon lesquelles des sols à buttes se forment encore actuellement dans les plaines de Tokachi et de Konsen-genya (NOGAWA, *et al.*, 1972). On ne pourrait nier que les sols à buttes se soient gonflés tout en portant la couverture mince de Ta-b. Mais nous avons aussi observé, à d'autres endroits dans la plaine de Tokachi, des sols à buttes mi-enfouis sous cette ponce.

Dans la plaine de Konsen-genya, se trouvent beaucoup d'exemples de sols à buttes enfouis. Il sont constitués par des humus provenant de la ponce de Ma-k (ponce k du volcan Mashu) et complètement enfouis sous des ponces de Ma-g, h, i (Mashu-g, h, i) qui se sont déposées successivement (TAKAKURA et TAGAMI, 1972; KOAZÉ, *et al.*, 1974b). Nous pourrions donc conclure que, sous le climat actuel de l'est de Hokkaido, la formation de sols à buttes n'est pas active. Elle aura été provoquée par un faible refroidissement ou bien par un événement facilitant cette formation comme une retombée de ponce épaisse.

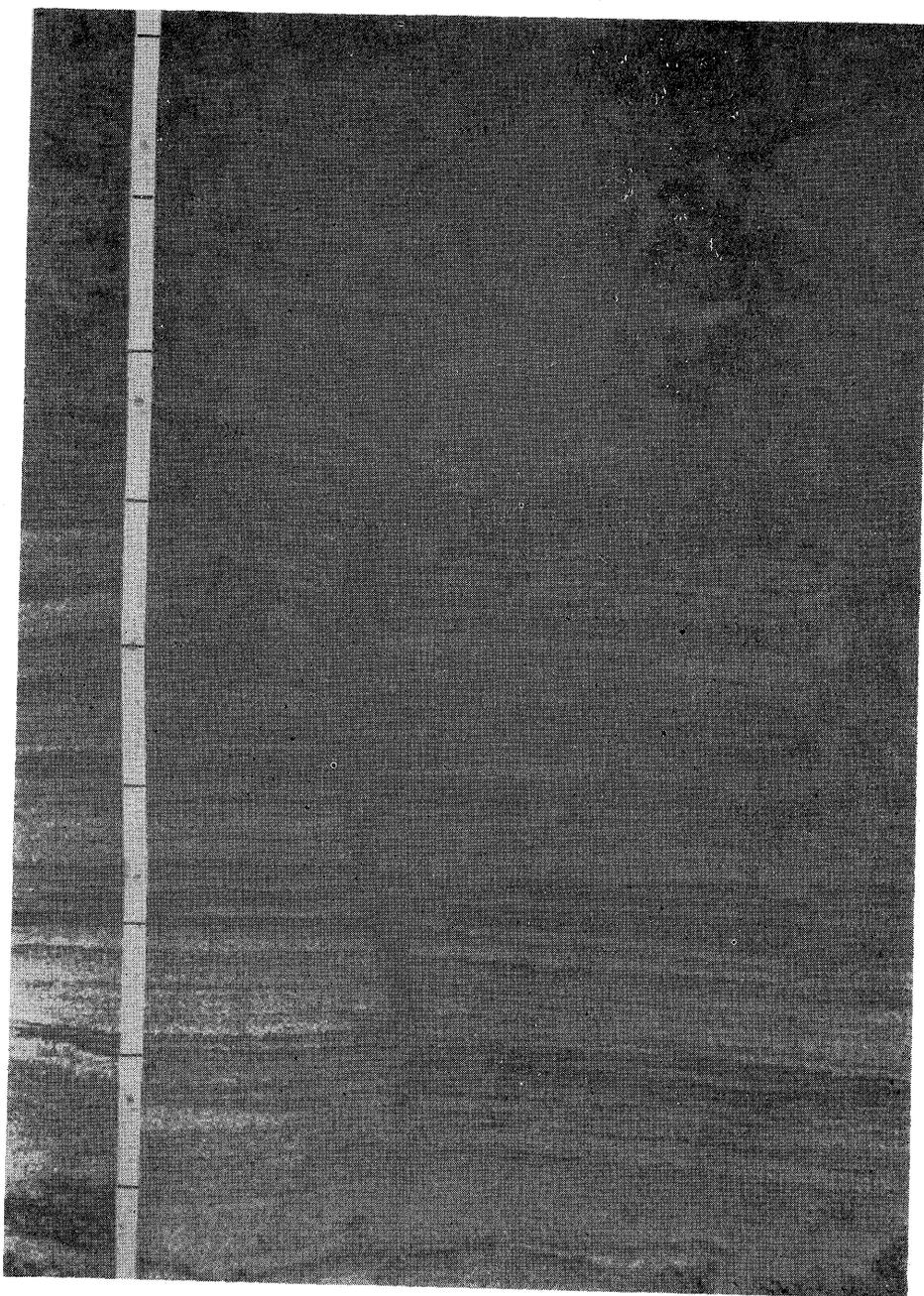


Photo 1. Fentes de gel développées dans le dépôt de ponce de Eniwa-a constituant des dunes intérieures de la Plaine Tokachi. La lamination nettement marquée résulte du triage éolien des minéraux lourds et légers de la ponce. L'échelle est marquée chaque 10 cm

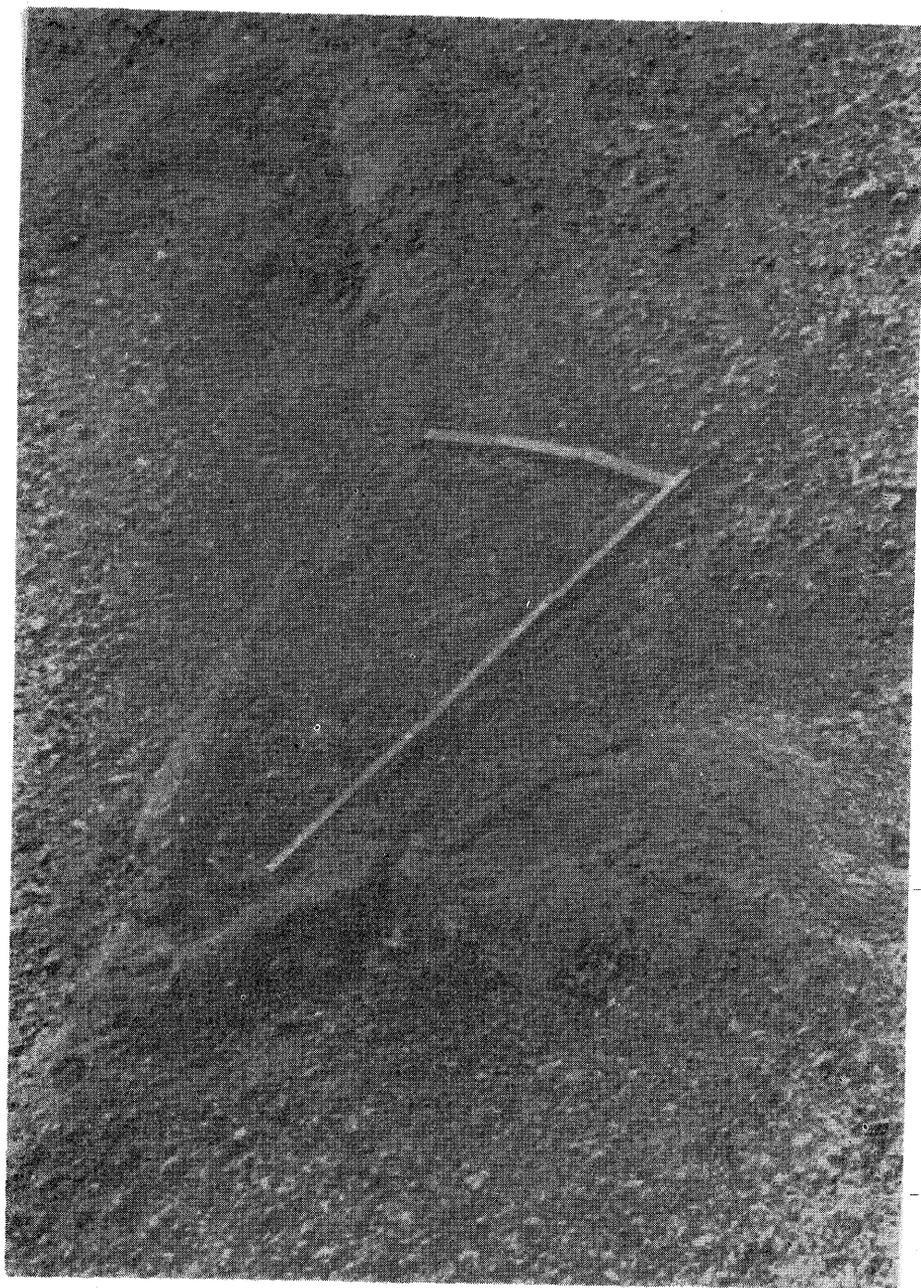


Photo 2. Fente de gel remplie développée dans les couches de ponces et de scories de (Mashu?) au sud-est d'Abashiri. L'échelle de 50 cm en sens vertical et horizontal

## DUNES INTÉRIEURES (INLAND DUNES)

Comme dans le cas de sols à buttes, la formation de dunes est liée aussi à un événement qui a facilité cette construction, c'est-à-dire la retombée de ponce épaisse. Leur genèse, donc, n'est pas seulement climatique mais aussi volcanique. C'est le caractère commun de tous les phénomènes périglaciaires dans l'est de Hokkaido, car la plupart se développent dans les couches volcaniques. On a supposé que la formation de dunes intérieures s'est produite au cours des 4 périodes suivantes:

1° Après la retombée de Spfa-1 (première ponce du Volcan Shikotsu, datée  $32.200 \pm 2.000$  ans B.P.), dans la plaine de Tokachi (KIMURA *et al.*, 1970, 1972);

2° Après la retombée d'En-a (ponce a du Volcan Eniwa, datée  $15.000 \pm 400$  ans B.P.) dans la plaine de Tokachi (KIMURA *et al.*, 1970, 1972);

3° Après la retombée de Ma-f (ponce f du Volcan Mashu, datée  $6.460 \pm 130$  ans B.P.), dans la partie nord-ouest de la plaine de Konsen-genyu (TOMIOKA *et al.*, 1974);

4° Après la retombée de Ma-b (ponce b du Volcan Mashu, émise plus récemment que  $1.850 \pm 90$  ans B.P.), dans la même région de la plaine de Konsen-genyu (TOMIOKA, *et al.*, 1974).

Dans la plaine de Tokachi, la formation de dunes fut la plus active après la retombée d'En-a. Même si des dunes s'étaient formées après la retombée de Spfa-1, elles auraient été, sans doute, modifiées complètement à cette période-là. La formation de dunes après la retombée de Spfa-1 est donc probable mais pas décisive.

La déflation de cendres volcaniques est encore active actuellement dans la plaine de Tokachi ( $10-20$  t/1000 m<sup>2</sup>, an; KIMURA *et al.*, 1972). Elle fonctionne surtout pendant la période de sécheresse après la fonte des neiges (fin avril — fin mai), cependant la formation de dunes est interrompue par la végétation et l'augmentation de l'humidité. Par conséquent, à l'époque de la formation dunaire, surtout entre  $15.000-10.000$  ans B.P. environ, on pourrait imaginer que la végétation était pauvre et le climat très sec.

## STRUCTURES PÉRIGLACIAIRES FOSSILES

## INVOLUTIONS

Ce sont les structures périglaciaires les plus fréquemment observées dans l'est de Hokkaido. Dans la plaine de Tokachi, nous admettons trois périodes majeures de cryoturbation pendant la dernière glaciation (fig. 2). Ce sont, dans l'ordre chronologique:

## 1° La période entre la retombée de RP II et celle de Spfa-1

Cette période de cryoturbation est montrée par les involutions des couches de ponces et de scories intercalées dans les cendres volcaniques entre l'horizon de RP IV et Spfa-1: ce sont de haut en bas, RP II (Rakko Pumice II), TBS (Tokachi Black Scoria) et RP IV (Rakko Pumice IV). Les déformations totales dépassent quelquefois 2 m. La forme est le plus souvent de type "injection" mais quelquefois irrégulière.

D'ailleurs, l'accumulation des alluvions dans la plaine de Tokachi qui durait pendant tout le stade Poroshiri (ONO et HIRAKAWA, 1975; HIRAKAWA, 1978) a cessé et une incision faible a eu lieu pendant cet interstade. Bien que la cause de cette accumulation remarquable ne soit pas encore nette, le fait que beaucoup de rivières, non seulement à Hokkaido mais aussi au Japon central, étaient dans une époque de dépôt pendant cette période-là (fig. 2), laisse supposer une cause climatique.

En effet, pendant le stade Poroshiri, la glaciation des montagnes avait atteint son-extension maximum au Japon et sur les versants des Monts Hidaka prédominaient les processus de type de gélifluxion ou de coulées boueuses (ONO et HIRAKAWA,

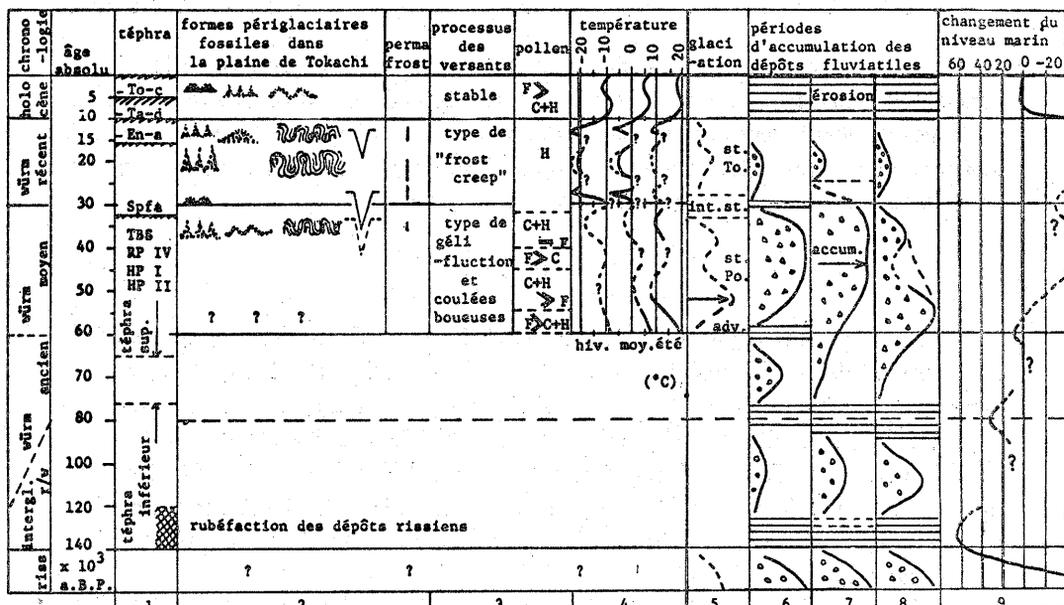


Figure 2: Chronological table of the fossil periglacial features in the Tokachi Plain and related phenomena.

1: Each name indicates the horizon of pumice or scoria layers (Ono et Hirakawa, 1974), ~~~~: humic horizon,  
 2: Each symbol indicates the periods of cryoturbation or dune formation; ▲▲▲: vertical stones, ▲▲▲: earth hummocks, ▲▲▲: inland dunes, ▲▲▲: involutions (depth < 2 m), ▲▲▲: involutions (depth > 2 m, irregular type), V: ice-wedge casts, 3: processus des versants: change of the mode of slope processes in Hidaka Range (Ono et Hirakawa, 1975, Hirakawa, 1978); pollen: result of the pollen analysis in Tokachi Plain, H: grass, C: conifers, F: deciduous trees, (Ono et Hirakawa, 1975); température: estimated from periglacial & glacial features, and data of pollen analysis; hiv: winter, moy: annual mean, été: summer, 5: extension of mountain glaciers in Hidaka Range and Japanese Alps, st.To.: Tottabetsu Stade, st.Po.: Poroshiri Stade, int.st.: Poroshiri/ Tottabetsu Interstade (Ono, 1974, 77, Ono et Hirakawa, 1975), 6-8: main periods of aggradation in Hokkaido (6) and in Central Japan (7-8), 6: Tokachi Plain and adjacent regions, (Ono et Hirakawa, 1975, Hirakawa, 1978), 7: Tenryu Valley (Isono, 1974), 8: Sagami Valley (Kaizuka et Machida, 1970, Shiojima et Yoshino, 1972), 9: Sea level changes estimated by the levels of marine terraces along the Pacific coast of Tokachi Plain (Hirakawa et Ono, 1974) and of Southern Kanto (Machida et Suzuki, 1971).

1975; HIRAKAWA, 1978). Nous attribuons maintenant la cause de cette accumulation à l'activité de ces processus de versants provoquée par l'élargissement de la zone périglaciaire dans les montagnes. La phase d'incision correspondant à cet interstade peut être interprétée comme le résultat du changement de régime fluvial dû à la diminution du débit solide par rapport au débit liquide, provoquée par le réchauffement.

STADE TOTTABETSU  
(vers 30.000—10.000 ans B.P.)

Le refroidissement à nouveau est indiqué par la cryoturbation la plus intense de couche de Spfa-1 dans la plaine de Tokachi. Les fentes de gel remplies par T.B.S. et Spfa-1 ont pu être aussi formées pendant cette période-là. KOAZÉ, *et al.* (1974a, b) pensent que les fentes de gel se sont formées juste après la retombée de T.B.S. et ont été dégradées juste après celle de Spfa-1. Mais comme nous n'avons pas encore de données suffisantes concernant l'épaisseur du mollisol se développant au-dessus du permafrost, il est aussi possible que les fentes de gel se soient formées juste après la retombée de Spfa-1, dans l'horizon sous-jacent de T.B.S., et dégradées quelque temps après. Le fait que la cryoturbation atteint son ampleur maximum pendant cette période est en faveur de cette deuxième interprétation, car si on accepte la première, on se heurte à la difficulté suivante: le permafrost n'existait que lors de la formation de la cryoturbation moins forte.

Le réchauffement après cette période de cryoturbation est montré par un horizon humifère sous-jacent d'En-a, et de plus par la déglaciation rapide dans des cirques des Monts Hidaka (ONO, 1974, 1977; ONO et HIRAKAWA, 1975). La dernière période de froid rigoureux est indiquée par la cryoturbation d'En-a. Les fentes de gel et les structures semblables remplies par En-a confirment l'existence du permafrost ou, au moins, de gel saisonnier assez profond dans la plaine de Tokachi.

Pendant ce moment-là, les dunes intérieures constituées par En-a se sont répandues grâce au climat très sec. La sécheresse poussée, pendant le stade de Tottabetsu, est vérifiée, d'autre part, par l'extension très limitée des glaciers dans les Monts Hidaka et la diminution remarquable de l'accumulation des dépôts fluviaux dans la plaine de Tokachi (ONO et HIRAKAWA, 1975), et aussi au Japon central (ISONO, 1974; KAIZUKA et MACHIDA, 1970; SHIOJIMA et YOSHINO, 1972). Quant à l'est de Hokkaido, la cause principale de cette sécheresse est le gel complet de la Mer d'Okhotsk et surtout celui de la partie nord de la Mer du Japon qui, normalement, humidifie cette région sous forme de neiges.

Or, les involutions peuvent être interprétées comme l'aspect vu en coupe d'un sol à butte ou ostiole de toundra (KOAZÉ, *et al.*, 1974b; PISSART, 1976). Du fait que la hauteur maximum des sols à buttes dans cette région ne dépasse pas un mètre, KOAZÉ, *et al.* (1974b) ont émis l'hypothèse que les involutions dépassant 1 m d'ampleur étaient la forme fossile en coupe de palsas ou de pingos. Mais puisqu'il ne reste aucune trace de ces formes, il est difficile de leur attribuer la genèse de ces involutions. Les involutions à grande ampleur seraient plutôt la structure du mollisol formée par les dépôts ou la dégradation du permafrost sous-jacent.

A cause soit de la densité faible de fentes de gel remplies, soit de leur ampleur assez limitée, nous croyons que l'est de Hokkaido, à la dernière glaciation, était principalement dans la zone de permafrost discontinu — ou bien sporadique — mais jamais dans la zone de permafrost continu. D'ailleurs, il faut souligner que la durée de la présence du permafrost dans cette région a été très courte (3.000—4.000 ans au maximum suivant l'estimation par KOAZÉ *et al.*, 1974a, b).

Pour la cartographie précise de la limite méridionale du permafrost pendant la dernière glaciation, les données de la région critique telle que constitue l'est de Hokkaido, doivent être encore multipliées et des progrès doivent être encore réalisés à propos de l'interprétation paléoclimatique des structures périglaciaires fossiles.

#### REMERCIEMENTS

Les recherches sur le terrain, dans la plaine de Tokachi, ont été réalisées avec la collaboration du Dr. KAZUOMI HIRAKAWA. Le Dr. SHUJI IWATA m'a donné des conseils utiles pour la rédaction de cet article. Je leur adresse mes remerciements sincères. Par ailleurs, je remercie très vivement le Professeur ALBERT PISSART qui m'a donné l'occasion de participer au Symposium et a aussi examiné mon manuscrit.

#### Bibliographie

- FUKUDA, M., 1975 — Gel du sol et permafrost à l'époque glaciaire, étude à Hokkaido. Problèmes de l'époque glaciaire au Japon. (éd. SHIKI, M.), Kokon Shoin, Tokyo; 205 p.
- HIRAKAWA, K., ONO, Y., 1974 — The landform evolution of the Tokachi Plain. *Geogr. Rev. Japan*, 47; p. 607—632.
- HIRAKAWA, K., 1978 — Chronology and evolution of landforms during the late Quaternary in the Tokachi Plain and adjacent areas, Hokkaido, Japan. *Catena*, 4; p. 255—288.
- ISONO, T., 1974 — Une considération sur la période de formation des terrasses aux rivières Tenryu et Saru. *Abstr. Assoc. Jap. Geogr.*, 6; p. 116—117.
- IWATA, S., 1977 — Asymmetrical valleys in the Konsen Genya Plain, Eastern Hokkaido, Northern Japan. *Geogr. Rev. Japan*, 50; p. 455—470.
- KAIZUKA, S., MACHIDA, H., 1970 — Livret guide de l'excursion dans la vallée de Sagami. *Assoc. Jap. Geogr.*; 12 p.
- KIMURA, M., OTSUKI, H., KONDO, Y., KONDO, R., SASAKI, S., SASÉ, T., TANAKA, M., FUJIYAMA, H., 1970 — On the ancient dunes in the Tokachi Plain, Hokkaido (Part I). *The Quat. Res. (Daiyonki-kenkyu)*, 2; p. 91—99.
- KIMURA, M., FUJIYAMA, H., KONDO, Y., KONDO, R., SASÉ, T., OTSUKI, H., 1972 — On the ancient dunes in the Tokachi Plain, Hokkaido (Part II). *The Quat. Res. (Daiyonki-kenkyu)*, 11; p. 161—170.
- KOAZÉ, T., 1972 — La répartition et sa limite la plus basse des phénomènes périglaciaires au Japon. *Abstr. Assoc. Jap. Geogr.*, 2; p. 46—47.
- KOAZÉ, T., 1973 — Les phénomènes périglaciaires fossiles dans Hokkaido Nord. *Sundai-Shigaku*, 32; p. 1—22.
- KOAZÉ, T., NOGAMI, M., IWATA, S., 1974a — Ice-wedge casts in eastern Hokkaido. *Jour. Geogr. Tokyo Geogr. Soc.*, 83; p. 48—60.
- KOAZÉ, T., NOGAMI, M., IWATA, S., 1974b — Paleoclimatic significance of fossil periglacial phenomena in Hokkaido, northern Japan. *The Quat. Res. (Daiyonki-kenkyu)*, 12; p. 177—191.
- MACHIDA, H., SUZUKI, M., 1971 — Chronologie du quaternaire récent établie par la datation de fission-track. *Kagaku*, 41; p. 263—270.

- NOGAWA, K., KOSAKA, T., MATSUI, M., 1972 — On the Pleistocene periglacial phenomena and their stratigraphic position in the Tokachi Plain, Hokkaido (1). *The Quat. Res.* (Daiyonki-kenkyu), 11; p. 1—14.
- ONO, Y., HIRAKAWA, K., 1974 — The pleistocene tephra in the western and southern part of Tokachi Plain. *The Quat. Res.* (Daiyonki-kenkyu), 13; p. 35—47.
- ONO, Y., 1974 — Etude géologique quaternaire des Monts Hidaka et de la plaine de Tokachi, Hokkaido, Japon. Thèse doct. Univ. d'Education de Tokyo; 165 p.
- ONO, Y., 1977 — Quaternary glaciation of the Hidaka Range, Hokkaido, Japan. Abstr. X INQUA Congr., Birmingham; p. 336.
- ONO, Y., HIRAKAWA, K., 1975 — Glacial and periglacial morphogenetic environments around the Hidaka Range in the Würm Glacial age. *Geogr. Rev. Japan*, 48; p. 1—26.
- PISSART, A., 1976 — Sols à buttes, cercles non triés et sols striés non triés de l'Île de Banks (Canada, N.W.T.). *Biuletyn Peryglacjalny*, 26; p. 275—285.
- SCHAEFER, J. P., 1949 — Some periglacial features in central Montana. *Jour. Geol.*, 57; p. 154—174.
- SHIOJIMA, Y. et YOSHINO, M., 1972 — Terrasses fluviaux de la Rivière Doshi. *Abstr. Assoc. Jap. Geogr.*, 2; p. 40—41.
- TAKAKURA, Y., TAGAMI, R., 1972 — Phénomènes périglaciaires fossiles dans la plaine de Konsen-gonya. *Abstr. Assoc. Jap. Geogr.*, 2; p. 52—53.
- TOMIOKA, E., AMANO, Y., SASAKI, T. and KATAYAMA, M., 1974 — The ancient sand dunes in the plain to the Southeast of the Lake Mashu, Hokkaido. *The Quat. Res.* (Daiyonki-kenkyu), 13; p. 9—20.
- WATSON, E., WATSON, S., 1971 — Vertical stones and analogous structures. *Geogr. Ann.*, 53A; p. 107—114.
- YAMADA, S., 1959 — Sur Yachi-bozu et Tokachi-bozu. *Nihon Dojo-Hiryogaku Zasshi*, 30; p. 49—52.