

## DEVELOPPEMENT DE CAVITES D'ORIGINE MECANIQUE DANS UN KARST FROID (NAHANNI, T.N.O., CANADA)

par

Jacques SCHROEDER<sup>1</sup>

(11 figures)

**RESUME.**- Dans le karst froid de la Nahanni (T.N.O., Canada), se développent actuellement des cavités mécaniques dans les parois, où et tant qu'y aboutissent des eaux de percolation. Ces eaux favorisent d'abord une gélivation localisée, puis des effondrements qui créent des cavités à plafond plat.

Quand la cavité devient inactive (par manque d'eau), le plafond tend vers la voûte d'équilibre. Enfin, sur les versants raides instables, quand le pendage est faible et dirigé vers la vallée, des plots se décollent par leur base ou leur sommet, créant des cavités pseudo-tectoniques.

Le développement de toutes ces cavités n'est possible que parce que le karst, bien que froid, est fort arrosé en été; indication qui permet de préciser la nuance du climat froid responsable de ces nombreuses cavités aujourd'hui inactives dans les karsts tempérés.

**ABSTRACT.**- In the cold karst of the Nahanni River (N.W.T., Canada), mechanical processes have led to the development of cavities. On the cliff faces bordering the Nahanni River, flat roofed caves occur where water percolates from the cliffs. They owe their origin to frost-shattering, followed by rock failure. When the caves become dry and hence cease forming, the roof becomes arched, tending to an equilibrium vault form. On very steep and unstable slopes where strata dip gently toward the valley, blocks become dislodged and leave pseudotectonic cavities.

The development of these caves in such a cold region is made possible by the great amount of summer rainfall. Similar but presently inactive cavities in temperate karsts may have been formed under similar cold climate conditions in the past.

Le "Premier Canyon" de la rivière Nahanni Sud (61° 18' N, 124° 10' O) fait partie d'un karst septentrional, le plus évolué d'Amérique du Nord, et se trouve à l'ouest du fleuve Mackenzie, dans les montagnes du même nom qui constituent les contreforts des Rocheuses (fig. 1). La région n'a pas été englacée, au moins pendant le Wisconsin, et est actuellement dans la zone subarctique, à la limite de la toundra, sur un pergélisol discontinu. Le canyon, qui traverse un anticlinal, dégage de haut en bas et sur plus de 1000 m à sa profondeur maximum, des calcaires bioclastiques en bancs épais de la formation de Nahanni (Dévonien moyen) qui surmontent des calcaires argileux en bancs minces et des dolomies variées.

### LES CAVITES D'ORIGINE MECANIQUE

Les cavités d'origine mécanique font partie d'un réseau spéléologique composé d'un grand nombre de grottes dont la longueur varie de moins de 5 m à plus de

2 km. Ce réseau représente, à ce jour, un total cumulé de 8,8 km de galeries réparties ainsi :

petites grottes (moins de 50 m)	12,7 ‰ du réseau
grottes moyennes (50 à 500 m)	25,1 ‰ du réseau
grandes grottes (500 à 5.000 m)	62,2 ‰ du réseau

Ces cavités participent à l'évolution actuelle, mais ponctuelle, des parois; elles leur sont donc toujours postérieures, datant au plus de l'époque où la paléo-Nahanni s'encaissa sous leur niveau. On distingue, quant à leur forme et genèse, des "poches de gélivation" et des cavités pseudo-tectoniques.

### Les "poches de gélivation"

Tirant leur nom de la traduction littérale de l'anglais "frost pocket", ces cavités sont profondes d'au plus 20 m et toujours développées à partir d'un

<sup>1</sup> UQUAM, Montréal, Canada

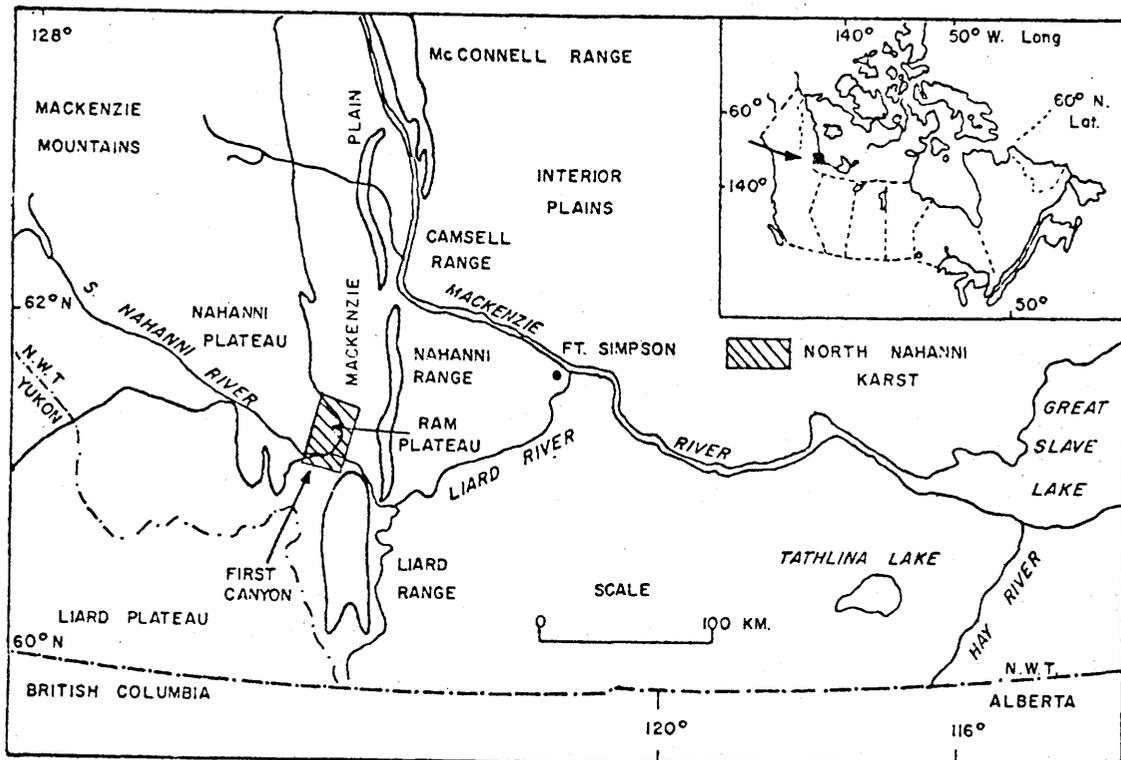


Figure 1.- Localisation du karst de la Nahanni d'après G.A. BROOK & D.C. FORD (1974)

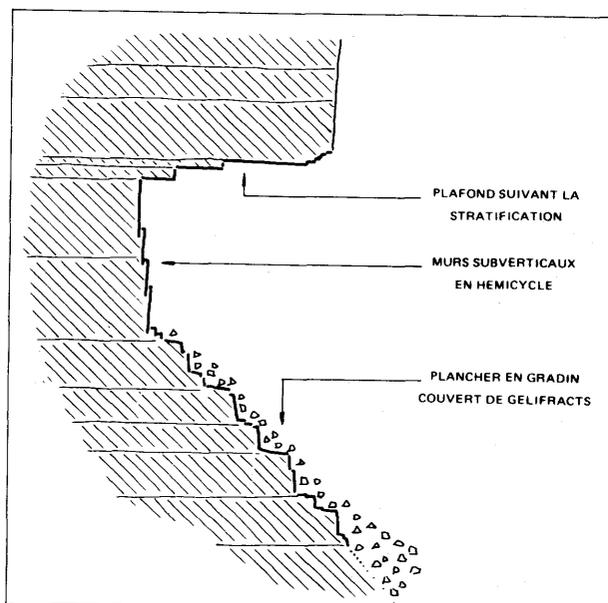


Figure 2.- Coupe d'une poche de gélivation, surcreusant la paroi

point où arrivent des eaux souterraines (FORD, 1973) (1). De ce fait, elles "cohabitent" aussi avec des grottes, en transformant leur entrée. Sur 28 cavités observées, 6 sont uniquement des poches de gélivation, les autres sont des entrées de grottes modifiées par des processus mécaniques. La longueur de la grotte prolongeant les "poches de gélivation" n'affecte en aucun cas leur évolution.

Les "poches de gélivation" proprement dites, de taille métrique à décimétrique, présentent la même morphologie : un plafond plat subhorizontal, étagé suivant un ou plusieurs plans de stratification, le fond composé d'un mur subvertical en hémicycle et d'un plancher en pente raide et à gradins couverts de débris (fig. 2). Leur développement actuel est le suivant : la gélivation attaque la paroi là où arrive, par un plan de stratification, de l'eau de percolation. Le processus se poursuit tant que filtrent ces eaux. Au fur et à mesure que s'agrandit la cavité, des effondrements du pla-

(1) D'où de fréquentes déceptions lors de l'exploration des falaises à la recherche des grottes, et le peu de "poches de gélivation" proprement dites dans la banque de données. En effet, chaque fois qu'il paraissait évident que la cavité en était une, nous nous sommes épargné son exploration.

fond après dissolution suivant les plans de stratification apparaissent.

Dès que les cavités ont environ 10 mètres de haut et près de 5 m de large et de profondeur, un seuil d'autocatalyse est atteint : le microclimat de la cavité (plus humide et plus frais que celui de la paroi) favorise la gélivation, qui provoque à son tour les effondrements des plafonds lorsque leur portée devient excessive. Quand les plans de stratification séparent des bancs épais, de l'ordre du mètre, les effondrements du plafond arrivent tôt dans l'évolution de la cavité et les débris de grande taille facilement retenus par le plancher, colmatent et fossilisent la poche (fig. 3). Tant que se maintient le plafond horizontal dont la portée peut être grande, plus de 50 mètres pour l'une d'elles, c'est que des eaux de percolation y aboutissent toujours. Pourtant, lors de leur exploration, la plupart étaient sèches; mais grâce à la présence sélective de lichens à cyanophycées, la preuve était faite qu'y subsistent des écoulements sporadiques actuels plus importants que ceux sur les parois proches où ne croît pas ce lichen indicateur, capable de reviviscence (J. SCHROEDER, 1974).

Quand la cavité est morte, donc que n'y arrivent plus les eaux de percolation, le plafond plat disparaît progressivement pour devenir une voûte d'équi-

libre. C'est dans cet état que sont connues les fréquentes cavités de ce type qui surcreusent les versants à parois de karsts tempérés.

Les poches de gélivation occupent aussi des brèches subverticales et présentent la même morphologie quand elles sont actives, y compris le plafond plat, bien que n'existe pas dans ce cas la contrainte du plan de stratification ! Les eaux souterraines y aboutissent par les éponges de la brèche.

Il existe aussi des cas complexes, lorsque la "poche de gélivation" surcreuse une entrée de grotte. Si la grotte consiste en conduits submétriques qui amènent à la paroi des eaux souterraines, la "poche" peut s'y développer au point de gruger dans sa presque totalité la morphologie souterraine antérieure. Ici aussi, tant que l'alimentation en eau est assurée, la "poche" croît et son plafond se maintient subhorizontal.

L'altération de la morphologie karstique souterraine dans ces cavités n'est cependant pas toujours complète. Une forme fréquente se présente en coupe, en une sorte de A droit ou légèrement penché dépendant de l'allure initiale de l'entrée de la grotte. Ainsi, la grotte 25B se compose de deux parties : une entrée dissymétrique large de 3 m et haute de 7 m dont le mur gauche est sculpté de formes résiduelles

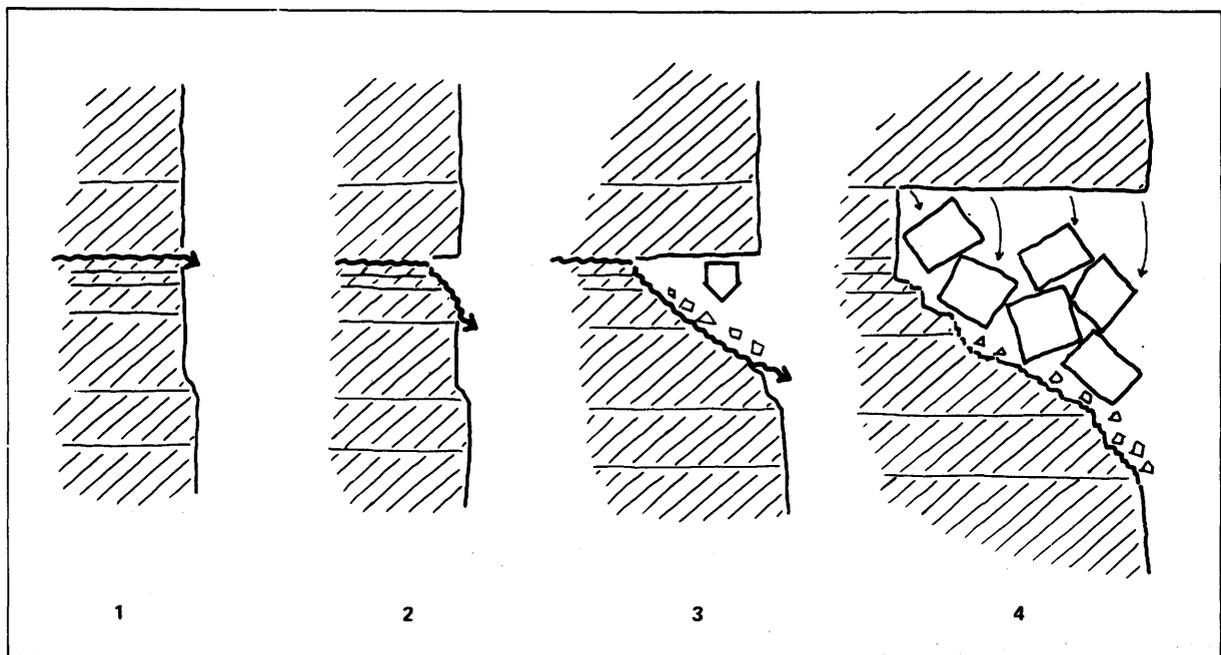


Figure 3.- Développement d'une poche de gélivation à partir d'une arrivée d'eau de percolation suivant un plan de stratification

de corrosion altérées jusqu'à disparaître par une gélivation sur les bords les plus anguleux et par des effondrements de blocs submétriques limités par des diaclases et des plans de stratification; le mur de droite est plus redressé mais présente les trois mêmes familles de formes d'érosion.

À 8 mètres de l'entrée, la cavité cesse brusquement d'être contrôlée par des agents mécaniques et se poursuit durant 5 mètres sous la forme de "fissures de corrosion" développées suivant une géoclase légèrement oblique. Comme des vestiges de corrosion subsistent dans la "poche de gélivation", son évolution morphologique (fig. 4) est la suivante : apparition d'un chapelet de "cloches de corrosion" suivant une

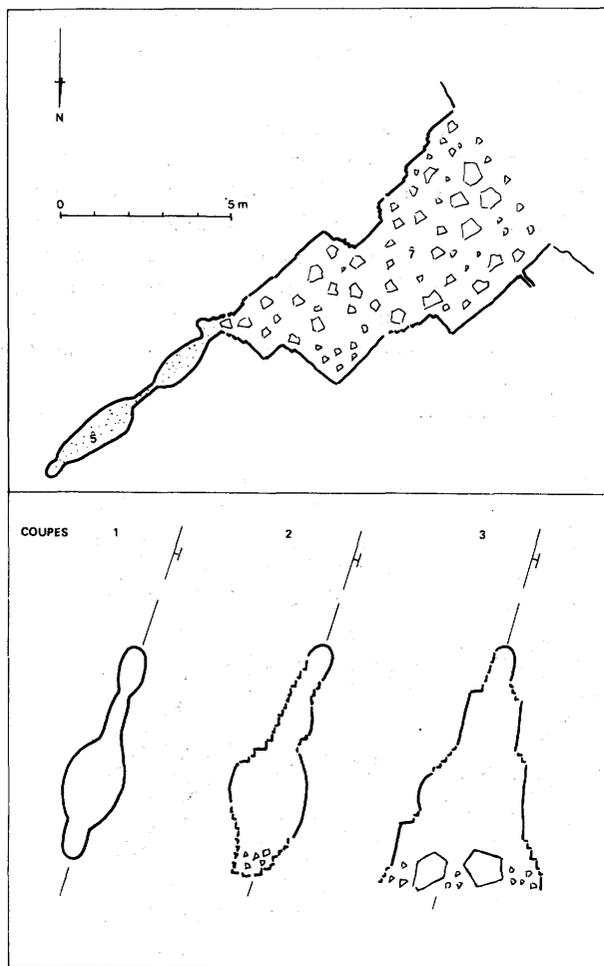


Figure 4.- Petite grotte constituée par une fissure de dissolution (1) dont l'entrée se transforme en poche de gélivation (2, 3) après exhumation de la grotte par le recul du versant.

géoclase oblique, puis exhumation de son extrémité par recul de la paroi. Le système spéléologique captant des eaux d'infiltration par la géoclase oblique préexistante et par d'autres fissures de décompression parallèles à la paroi, amène ces eaux à l'entrée, ce qui favorise sa gélivation. La voûte de gauche étant le toit de la géoclase évolue plus vite par simple gravité que celle de droite, le mur. La largeur à la base passe progressivement d'environ 1 mètre (largeur de la partie spécifiquement spéléologique du fond) à 3 mètres. Les deux modes d'action mécanique s'expliquent par la même arrivée d'eau d'infiltration : la gélivation s'effectue sur les bords et favorise un débitage de petite dimension après saturation du matériel et les effondrements de blocs submétriques résultent d'une dissolution préliminaire le long des plans de stratification, processus de "dissolution-effondrement" (EK, C., 1969). De nombreux aspects transitoires de "poche de gélivation" existent entre les "poches" proprement dites et cet exemple, sans plafond plat. Un des plus fréquents consiste en la modification de l'entrée de la grotte par une gélivation du rebord de la voûte et de la paroi extérieure. L'accumulation des débris construit un talus dont la hauteur approche les deux mètres dans l'entrée de la grotte 12A par exemple (fig. 5).

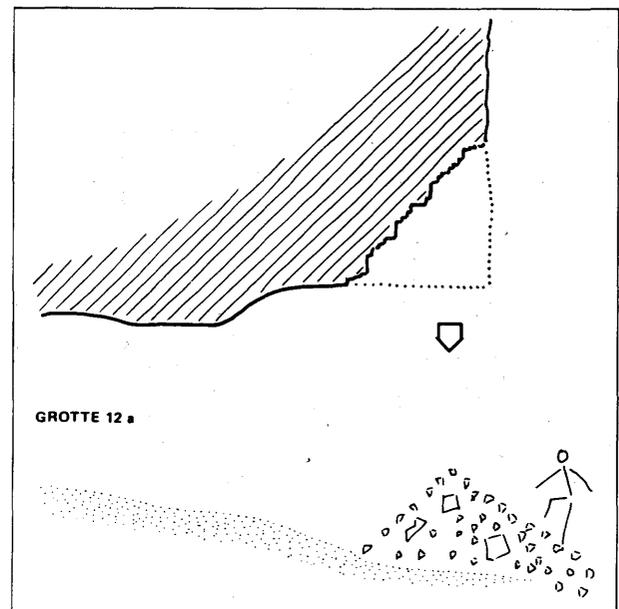


Figure 5.- Coupe d'une entrée de grotte remontante dont la voûte est actuellement modifiée par une gélivation localisée.

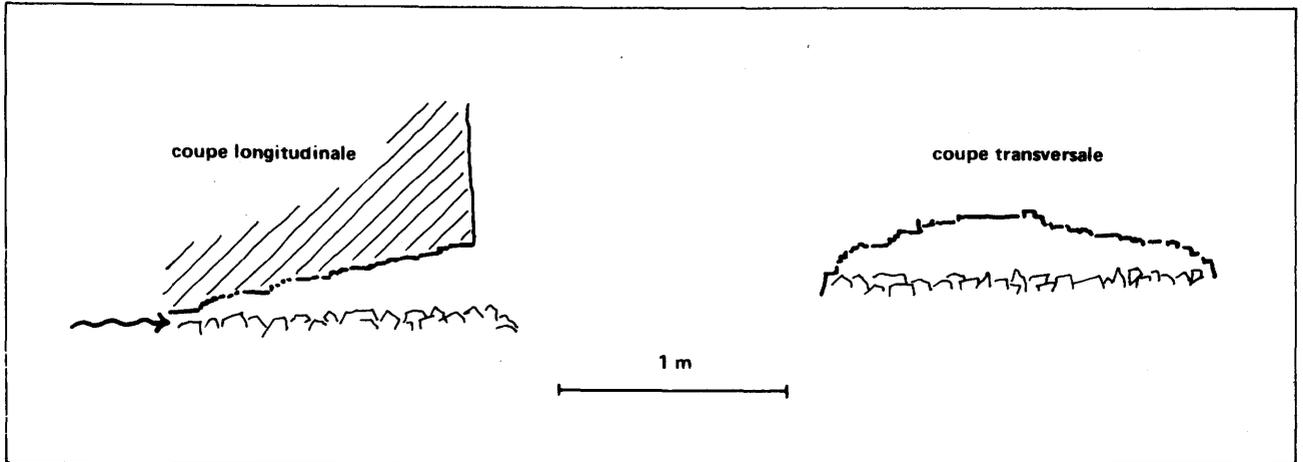


Figure 6.- Cavité surbaissée où aboutissent sporadiquement des eaux souterraines.  
La gélivation de la voûte est le processus de creusement majeur

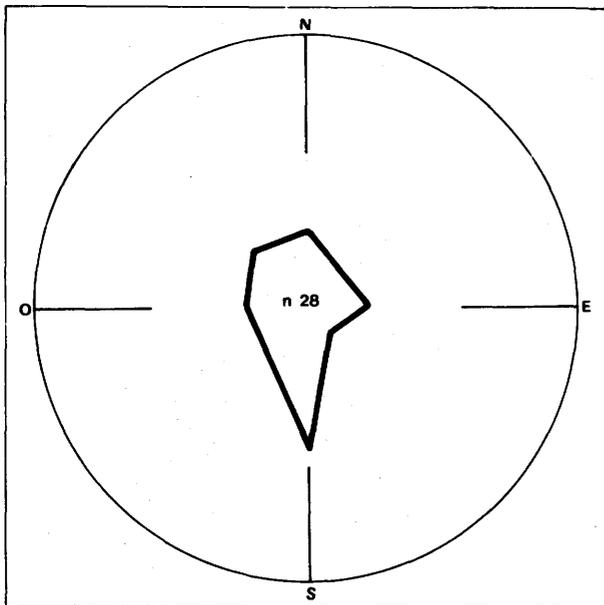


Figure 7.- Orientation des poches de gélivation

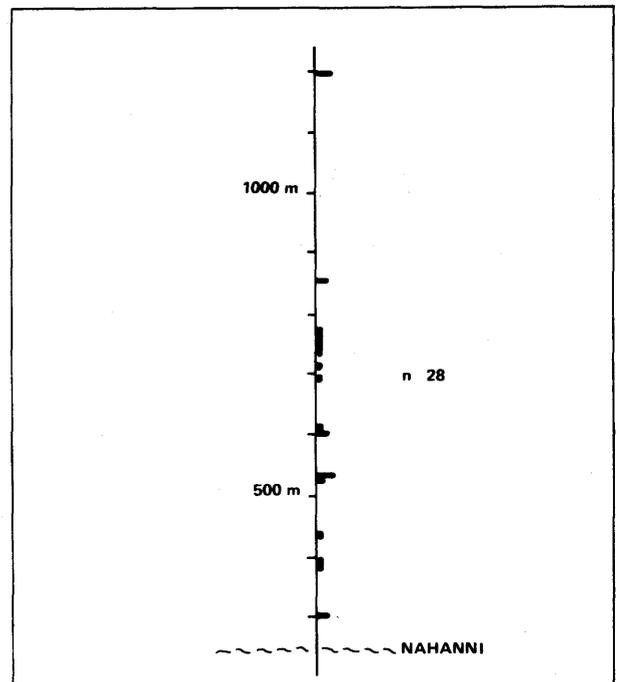


Figure 8.- Hypsométrie des poches de gélivation

Comme la grotte est remontante donc "chaude", la gélivation localisée à la voûte de l'entrée est provoquée par des eaux de condensation qu'y amène la circulation saisonnière de l'air de la cavité (SCHROEDER, 1974). Il y a aussi de nombreuses entrées étroites et basses en "boîte aux lettres" dont la voûte est complètement attaquée par la gélivation (fig. 6), des eaux souterraines y circulent sporadiquement et un courant d'air froid y est toujours observable. Ici aussi, la gélivation actuellement active résulte au moins en partie d'une condensation d'eau par circulation de l'air.

Enfin, l'incidence de l'orientation semble modeste (fig. 7). En effet, le graphique montre qu'il y a des poches de gélivation ouvertes dans toutes les directions avec même un maximum de "poches" exposées au sud. Ce qui résulte, non d'une influence climatique, mais de la situation topo-structurale des falaises où se trouvent toutes ces cavités, qui se développent toujours plus du côté amont-pendage, donc dans notre région vers le sud. Une légère dissymétrie, elle climatique, se dessine entre les cavités exposées, en gros, vers l'est

ou l'ouest. Celles tournées vers l'ouest jouissent, en effet, d'un micro-climat plus favorable grâce au cheminement solaire très bas à ces latitudes, ce qui entraîne un réchauffement avec dégel superficiel et quotidien des cavités creusées dans ces falaises, donc une gélivation plus active que dans les "poches" exposées à l'est (J. SCHROEDER, 1977). Tandis que leur hypsométrie (fig. 8) montre une distribution régulière entre 300 et 850 mètres d'altitude, c'est-à-dire là où les versants sont le plus souvent composés de falaises.

En résumé, les "poches de gélivation" sont des formes d'érosion qui affectent les parois subverticales dans les conditions climatiques actuelles, quand y arrivent des eaux souterraines infiltrées par les fissures de décompression et captées par un plan de stratification subhorizontal ou un réseau karstique souterrain. Elles se développent mieux dans les falaises exposées à l'ouest. Lorsqu'elles sont mortes, leur plafond plat tend vers la voûte d'équilibre mécanique par "incision". Enfin, leur nom ne reflète que partiellement les processus mis en cause qui sont articulés l'un à l'autre de la façon suivante :

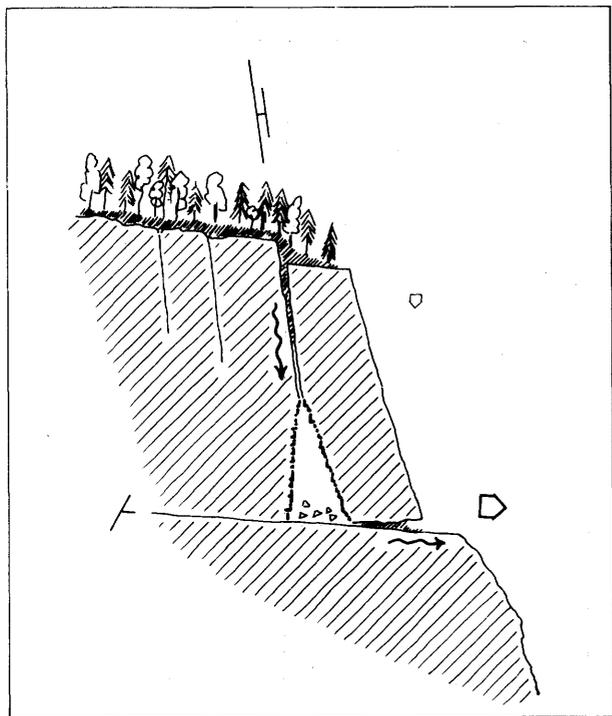


Figure 9.- En coupe, cavité pseudo-tectonique résultant du déplacement d'un plot sur un plan de stratification

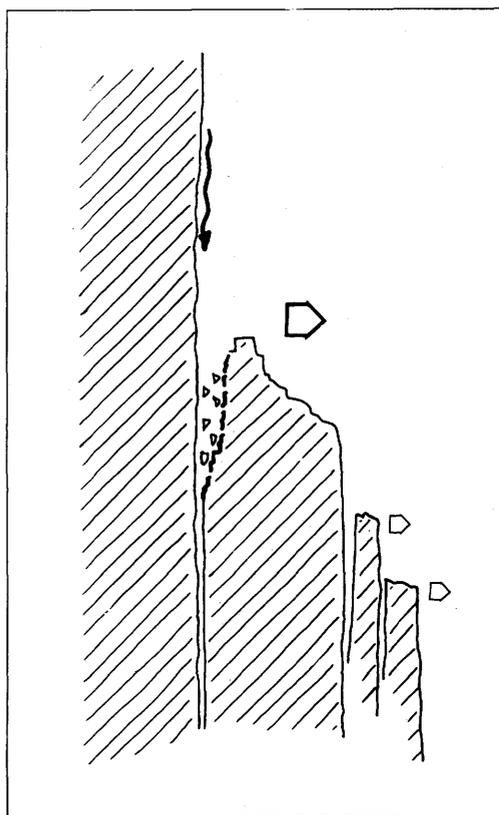


Figure 10.- Cavité pseudo-tectonique résultant du décollement du haut d'un plot

1. une circulation d'eau et/ou peut-être d'air saturé d'eau;
2. une gélivation stricto sensu;
3. de la "dissolution-effondrement";
4. des effondrements par gravité.

### Les cavités pseudo-tectoniques

Dans la littérature, sont regroupées sous le terme de "tectonique", les cavités qui résultent de déformation cassante de la roche encaissante ouvrant n'importe quelle géoclase. Ces cavités sont toujours étroites et hautes suivant la géoclase qui a subi le mouvement, ou résultant de l'effondrement de plots ou du déplacement d'un bloc de calcaire massif par déformation plastique du matériel sous-jacent, sous l'effet d'une pression trop grande; ce sont alors des cavités "pseudo-tectoniques" (L. JAKUCS, 1977).

Sur la Nahanni existent quelques petites cavités qui s'apparentent à ce type, mais elles résultent d'un contrôle mécanique plus précis encore que celui des grottes dites pseudo-tectoniques. Elles sont toujours étroites (2 mètres de large au plus), hautes relativement (au moins 3 à 4 mètres) et allongées (proches du décimètre). Elles apparaissent toujours par déplacement d'un plot de calcaire bioclastique descendant vers la vallée. Si les limites subverticales du plot consistent en géoclasses, sa base semble toujours être un plan de stratification à pendage faible. Quand le décollement se fait par le pied du plot, la cavité suivant la géoclase parallèle à la paroi se présente, en coupe, comme un A plus ou moins ouvert à la base (fig. 9). C'est le cas le plus fréquent.

Le plan de stratification habituellement "choisi" pour le décollement du plot est un de ceux qui ont subi le ripage lors de l'installation de l'anticlinal en profondeur. Et le glissement s'amorce quand les eaux d'infiltration venant du plateau surplombant ont décollé par dissolution le plan de stratification. Dernière condition topo-structurale nécessaire à l'amorçage du décollement du plot : que le vide de la vallée soit du côté aval-pendage. Sinon, par simple gravité, le plot décollé par dissolution reste "appuyé" sur le versant. Enfin, la morphologie de détail de ces cavités s'apparente à celle des "poches de gélivation", car plus la cavité est grande plus le décollement de la géoclase parallèle à la paroi s'accroît, captant d'autant mieux les eaux d'infiltration du plateau, ce qui permet une gélivation prononcée des deux murs de la cavité.

Il arrive que l'appel au vide soit tel que c'est la partie supérieure du plot qui s'écarte du massif (fig. 10).

La cavité de même dimension que la précédente mais alors ouverte vers le haut, se remplit de blocailles et de la glace qui y subsiste localement tout l'été. Cette glace continuellement alimentée par les écoulements d'eau amenés du plateau par la paroi surplombante (ne fût-ce que par les pluies estivales) agit comme un coin et accélère le décollement du plot. Les cavités pseudo-tectoniques sont aussi actuelles et liées à l'évolution en cours des parois.

### DISCUSSION

Ainsi toutes les cavités mécaniques du Karst de la Nahanni sont actuelles et d'abord tributaires des conditions microclimatiques de paroi. Les autres contraintes (orientation, conditions topo-structurales) n'interviennent que pour sélectionner des sites plus favorables.

Les conditions microclimatiques aux parois reflètent le climat régional actuel qui s'apparente au climat continental intérieur froid du type sibérien ( $T^0$  moyenne annuelle  $-1,5^{\circ}\text{C}$ , précipitations  $51,2$  cm surtout en pluies estivales). C'est le climat Dfc-E de la classification de Köppen.

D'autres (BURNS, 1973) le définissent comme alpin avec une végétation oscillant de la forêt subarctique à la toundra et un pergélisol discontinu. Mais, vu que le karst se trouve à plus de 150 km de la première station météorologique importante (Fort Simpson) et 1000 mètres plus haut (pour les plateaux karstiques entourant les canyons), il est nécessaire de pondérer ces classifications. Le karst est sûrement plus pluvieux car il est en position pour recevoir des pluies orographiques d'autant plus importantes qu'il se situe exactement à la croisée des couloirs que suivent les centres de basses pressions d'avril à septembre (fig. 11). Donc, malgré un été nordique court, les pluies y sont abondantes. Les hauts plateaux drainent alors vers les canyons en contrebas des eaux de percolation d'autant plus importantes que le sous-sol est localement imperméabilisé par un pergélisol discontinu. Ces eaux émergent dans la zone des parois et permettent l'apparition des cavités mécaniques. Ainsi se trouvent précisées les nuances du climat froid responsables du développement de ces cavités. Ce qui devrait permettre de mieux

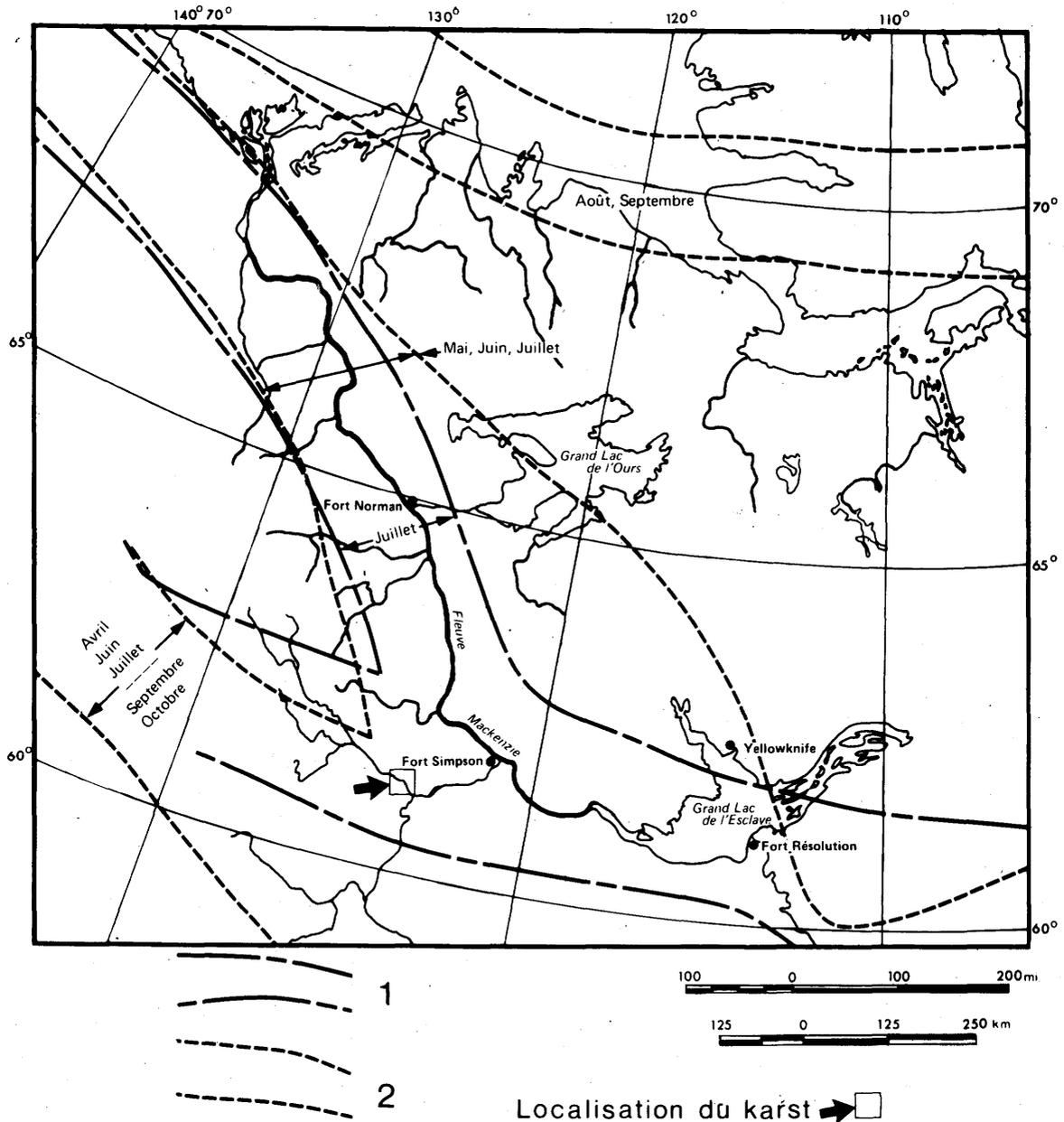


Figure 11.- Localisation des couloirs de basses pressions primaires (1) et secondaires (2), d'avril à septembre (d'après BURNS, 1973).

connaître les modalités paléogéographiques de l'Holocène (au moins) dans les régions karstiques aujourd'hui tempérées où subsistent nombre de ces cavités à l'état inactif. Ce sont des vestiges d'un passé à climat froid avec d'importantes précipitations estivales et, au mieux, un pergélisol discontinu.

### BIBLIOGRAPHIE

- BROOK, G.A. & FORD, D.C., 1974. The karst lands of the South Nahanni region N.W.T. Dept. of Indian Affairs and Northern Development, National and Historic Parks Branch. Contract 12-32B.
- BURNS, B.M., 1972. The climate of the Mackenzie Valley. Beaufort Sea, I, II. Environment Canada, Climatological Studies, 24, Toronto.
- EK, C., 1969. Facteurs, processus et morphologie karstiques dans les calcaires paléozoïques de la Belgique. Thèse de doctorat en Sciences. Université de Liège.
- FORD, D.C., 1973. Development of the Canyons of the South Nahanni River, N.W.T. Can. J. of Earth Sc., 10 (3) : 366-378.
- JAKUCS, L., 1977. Morphogenetics of karst regions. Adam Hilger, Bristol.
- SCHROEDER, J., 1968. Les parois calcaires de la Vallée de la Meuse, de Waulsort à Marche-les-Dames. Mém. Lic. Sc. Géogr., Fac. Sc. Université de Liège.
- SCHROEDER, J., 1977. Les formes de glaces de grottes de la Nahanni, T.N.O., Canada. Journ. Can. Sc. T., 14 (5) : 1179-1185.
- SCHROEDER, J., 1977. La paroi subverticale unité morphologique. NOROIS, 95 bis : 37-46.