

## DES TRACES DE GLACE DE SEGREGATION DANS LA GROTTÉ DE REMOUCHAMPS (BELGIQUE) : CONSEQUENCES EN CE QUI CONCERNE LA SEDIMENTATION ET LA PALEOCLIMATOLOGIE

par

Albert PISSART<sup>1</sup>, Brigitte VAN VLIET-LANOË<sup>2</sup>, Camille EK<sup>1</sup> & Etienne JUVIGNÉ<sup>1</sup>

(11 figures)

**RESUME.-** Des dépôts meubles de la Grotte de Remouchamps, mis en place au cours de la dernière glaciation, conservent des traces indubitables de glace de ségrégation. Celle-ci est apparue non seulement au sein de sédiments déjà déposés, mais aussi immédiatement après le dépôt de couches sablo-limoneuses. Ces observations fournissent une preuve de l'existence d'un pergélisol profond qui a modifié temporairement les conditions de sédimentation en obturant les conduits par de la glace. C'est sans doute au moment de la fusion de cette glace que se sont produits les mouvements de masse dont nous décrivons un exemple dans cette grotte. L'étude des traces de glace de ségrégation que l'on peut retrouver dans les cavités aidera à cartographier les limites du pergélisol pendant les périodes froides du Quaternaire et fournira sans doute des indications sur la profondeur atteinte par celui-ci.

**ABSTRACT.-** *Traces of segregation ice in the Remouchamps Cave (Belgium) : evidence for former permafrost.* In countries with a modern temperate climate, the extent of former permafrost is generally estimated from the observation of ice wedge casts, remnants of pingos and palsas, and periglacial involutions. These features give no indication at all about the depth of permafrost and are ineffective in identifying the limits of former permafrost.

A new tool for this research may be found in caves. We already know that speleothems did not grow — or grew little — during the colder periods of the last glaciation, probably because of the impervious nature of the frozen ground. The discovery, in the Remouchamps Cave, of the marks of segregation ice in loose fills proves that the temperature did fall below 0°C. Only one cycle of freeze/thaw would have been sufficient to create these marks which have been preserved because there was indeed little biological activity in this environment. The temperature in such caves is generally very close to the mean annual temperature outside the caves. This evidence will thus be useful for tracing the southern limit of the permafrost in Europe. When the permafrost thawed, the melting of the ice caused mass movements in the cave sediments.

The ice had blocked some passages and water levels rose to abnormally high levels, depositing sediments at these levels.

1 Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, Place du Vingt-Août, 7, B-4000 Liège (Belgique).

2 Centre de Géomorphologie du C.N.R.S., Rue des Tilleuls, F-14000 Caen (France).

## I.- INTRODUCTION

### ORIGINE DE LA GLACE DE SEGREGATION

Dans un sédiment de granulométrie fine subissant un gel lent, des lentilles de glace apparaissent. Il s'agit de glace de ségrégation, en entendant par là des lentilles de glace résultant de la séparation de la fraction minérale et d'une partie de l'eau qu'elle contient.

La figure 1 illustre ce phénomène : elle montre au sein d'une masse de limon éolien sursaturé d'eau et ayant subi en laboratoire un gel très lent venu du sommet, des lentilles de glace principalement horizontales. L'eau a migré progressivement vers le front de gel où elle s'est accumulée. Les dépôts inférieurs se sont asséchés comme le montrent les fentes de dessiccation apparues à la partie inférieure (Pissart, 1964).

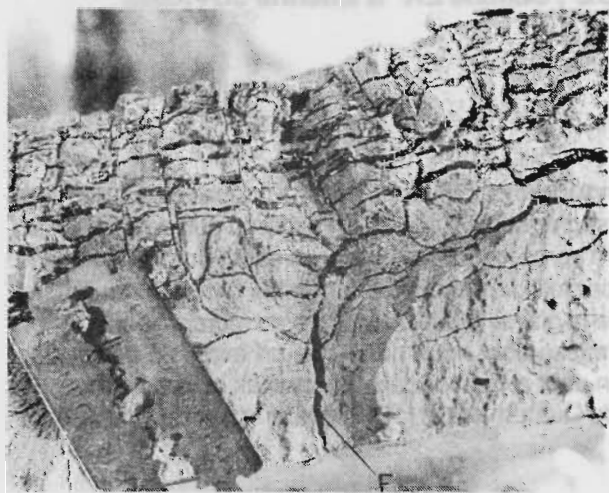


Fig. 1.- Lentilles horizontales de glace de ségrégation apparues dans une masse de limon de 6 cm d'épaisseur, sursaturé en eau et ayant subi en laboratoire un gel lent. La plus grande partie de l'humidité a migré vers la partie supérieure où elle s'est disposée en lentilles principalement horizontales soit parallèles à la direction du front de gel. Une fissure de dessiccation (F) s'est ouverte à la partie inférieure de la masse de boue (Pissart, 1964).

Les conditions d'apparition de la glace de ségrégation sont bien connues. Pour apparaître, elle demande :

1. L'existence d'eau dans le matériau en train de geler.

2. Un matériau de granulométrie suffisamment fine pour permettre le déplacement de l'eau par les films capillaires. La glace de ségrégation ne peut apparaître au sein des sables grossiers ou de cailloutis vu l'absence de films capillaires. Comme le déplacement de l'eau au sein des argiles est très lent, ce sédiment est initialement peu favorable à l'apparition de glace de ségrégation ; ce caractère se modifie cependant après 2 à 3 cycles de gel.

3. Un gel lent. En effet, un gel brutal fige l'eau à l'endroit où elle se trouve ; elle ne permet pas sa migration vers les lentilles de glace en croissance. Le gel doit être d'autant plus lent que la vitesse de déplacement de l'eau au sein du sédiment est faible, c'est-à-dire que la texture du sédiment est fine.

4. Une faible pression des terrains surincombants. L'apparition de ces lentilles de glace détermine le soulèvement du sol, aussi le poids des terrains qui doivent être soulevés limite les possibilités d'apparition de cette glace. C'est la raison pour laquelle elle ne peut guère se former sous une épaisseur de dépôts de plus d'une dizaine de mètres. Par contre, comme les sédiments des grottes ne subissent pas la pression des terrains au sein desquels la cavité s'est développée, la glace de ségrégation peut apparaître quelle que soit la profondeur à laquelle se situe la cavité.

L'apparition de glace de ségrégation dans un sédiment a pour effet de structurer le sol : entre les lentilles de glace, le sol est progressivement déformé et asséché et comme de l'air ne peut y pénétrer, les agrégats limités par les lentilles de glace sont extrêmement comprimés. Dans des coupes de limon, la structuration du sol apparue au cours de la dernière glaciation s'observe souvent très bien du moins lorsque cette structure n'a pas été détruite par des actions biologiques ou par une dessiccation complète suivie d'une rehydratation. Ce dernier processus a en effet pour résultat de provoquer l'explosion des agrégats au moment où l'air entré dans le sédiment est comprimé par l'eau qui y pénètre de nouveau.

Dans les grottes, où les actions biologiques sont réduites et où, sous notre climat en tout cas, une dessiccation complète est presque impossible, l'existence ancienne de glace de ségrégation peut de ce fait être reconnue. Elle apparaît spécialement par l'agencement des vides résiduels laissés béants après la fusion des lentilles de glace.

## II.- LES TRACES DE GLACE DE SEGREGATION OBSERVEES DANS LA GROTTTE DE REMOUCHAMPS

La grotte de Remouchamps est située à 20 km au sud-est de Liège dans des roches paléozoïques. Elle est constituée principalement de deux couloirs horizontaux dont l'inférieur est occupé par un ruisseau souterrain (fig. 2). L'un de nous (Ek, 1961) a montré que ces conduits pouvaient être raccordés à des terrasses de l'Amblève, rivière qui coule dans la vallée sur le versant de laquelle s'ouvre cette grotte.

## PROFIL EN LONG (développé)

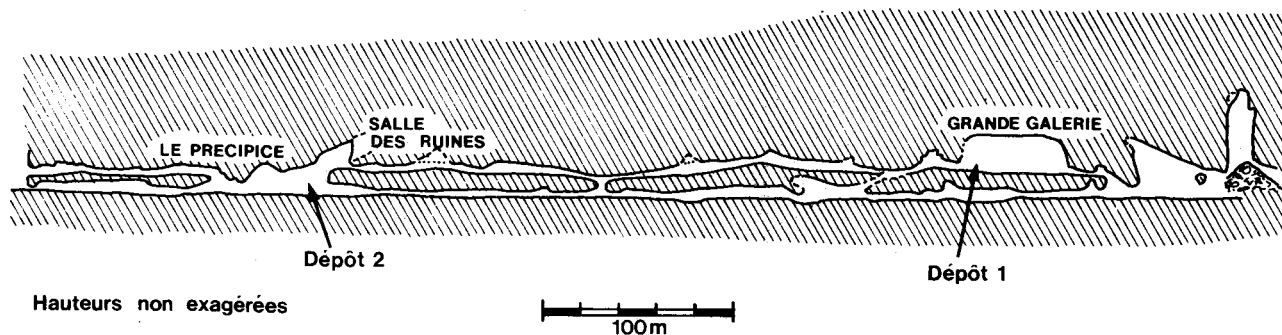


Fig. 2.- Profil en long (développé) de la grotte de Remouchamps et localisation des deux dépôts étudiés. Seuls les conduits principaux ont été indiqués (d'après Ek, 1970, modifié).

Deux accumulations distinctes de sédiments ont été étudiées dans cette grotte. Elles sont localisées sur la figure 2 : la première se trouve dans la Grande Galerie ; la seconde plus près de l'entrée, 50 m en amont de l'embarcadère.

#### A.- LA GRANDE GALERIE

Située à près de 500 m de l'entrée, la Grande Galerie apparaît comme un couloir présentant un développement vertical dépassant 20 m. Le sommet de cette galerie se trouve environ 30 m sous la surface du sol.

La figure 3 montre très schématiquement la localisation dans la grotte du dépôt qui a été étudié. Nous avons seulement examiné la partie supérieure d'une sédimentation sablo-limoneuse située à l'extrémité SE de cette galerie ; la figure 4 montre avec plus de détails comment se présentent ces sédiments.

Les excavations que nous y avons effectuées n'ont pas atteint la base du colmatage. Elles ont montré des dépôts de sables limoneux fins finement stratifiés. Quelquefois de très minces liserés argileux témoignent de brèves périodes de sédimentation sous une nappe d'eau stagnante.

Deux unités distinctes sont séparées par une discordance de stratification témoignant de l'action d'une érosion avant l'arrivée des sédiments supérieurs. La partie SE du dépôt inférieur montre une stratification fortement inclinée qui résulte sans doute de l'arrivée de sédiments amenés par un courant d'eau dans un conduit noyé : ces sédiments semblent en effet être l'équivalent des *foreset beds* d'un dépôt deltaïque. L'absence de cassures témoigne de ce que ces couches ne résultent pas d'un effondrement. La présence de déformations qui pa-

#### Remouchamps

Grande galerie

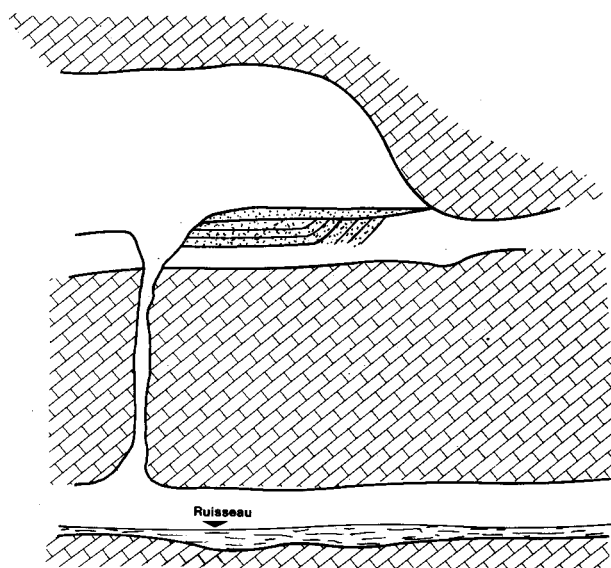


Fig. 3.- Schéma de localisation des dépôts étudiés dans la partie SE de la Grande Galerie, montrant les relations hydrologiques très probables avec le ruisseau inférieur occupé par la rivière.

raissent être dues à des glissements syngénétiques du dépôt nous incite à défendre cette interprétation.

Au sein de toute la coupe étudiée, des traces des téphra de Rocourt (enstatite, clinopyroxène vert dentelé = augite *sensu* Juvigné, 1977, amphibole brune = hornblende *sensu* Juvigné, 1977) ont été trouvées. Comme ces téphra sont tombées sur notre pays à un moment indéterminé compris entre 61 000 et 106 000 B.P. (Juvigné & Gewalt, 1988), ces minéraux prouvent que la mise en place de ce dépôt a eu

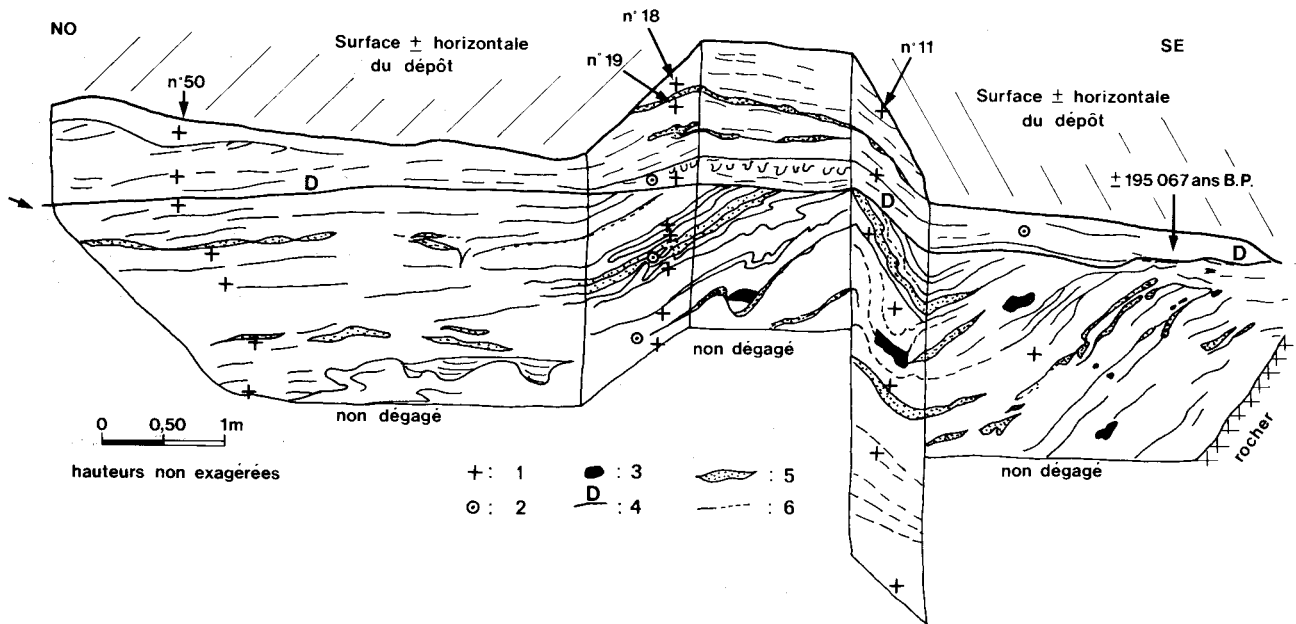


Fig. 4.- Coupe dégagée dans la partie SE de la Grande Galerie montrant l'allure de la stratification :

1. localisation des prélèvements étudiés au point de vue microstructures ; 2. idem au point de vue minéraux denses ; 3. blocs ; 4. discordance de stratification ; 5. lit sableux ; 6. stratification plus ou moins visible.

lieu après l'Eemien *sensu stricto*. C'est la deuxième fois que l'étude des minéraux denses montre que des sédiments, mis en place dans la galerie supérieure, ont été déposés vraisemblablement longtemps après le façonnement de cette partie de la cavité (Juvigné, *in* Dewez *et al.*, 1974). Le niveau supérieur de la grotte, vu son raccord avec la terrasse de 8 m de l'Ambève, serait en effet bien antérieur au dernier interglaciaire.

Rien ne nous a permis de distinguer les dépôts situés de part et d'autre de la discordance. Des débris de concrétions trouvés sur ce contact ont donné un âge  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  de  $195\ 000 + 29\ 000 / - 21\ 000$  B.P., établissant qu'il s'agit du remaniement de concrétions très anciennes (1), ce qui ne nous a apporté aucune donnée utile.

Vingt-deux lames minces ont été préparées pour étudier les microstructures existant dans ces formations. Certaines parties du dépôt montraient déjà une structuration remarquable, bien apparente lorsque macroscopiquement on examine des blocs prélevés dans la coupe, mais il convenait d'en vérifier la nature sous le microscope.

Dans 21 lames sur 22, les traces de glace de ségrégation sont évidentes. Elles consistent dans :

- (1) l'agencement des vides subsistant au sein de la formation et dont la disposition évoque la répartition de la glace de ségrégation. La figure 5 en donne un bon exemple. La disposition des vides peut être comparée avec la répartition de la glace donnée sur la figure 1.
- (2) l'allure des parois des vides, dont les éléments ne pourraient s'imbriquer les uns dans les autres si on refermait la fissure. Ce manque de concordance entre les deux faces s'explique par une poussée due à la croissance de glace de ségrégation. Il est particulièrement apparent par la présence de vides triangulaires comme le montre la figure 6.
- (3) l'existence au sein des dépôts de microdéformations et ruptures de ce qui était des strates continues, à la suite des mouvements qui se sont produits lors de la fusion de la glace (fig. 7).

N'ayant subi qu'un nombre très restreint de cycles de gel/dégel, et même sans doute un seul cycle pour les formations supérieures, il est vain de rechercher dans ces sédiments les traces d'alternances gel/dégel que constituent les structures lamellaires triées (Van Vliet-Lanoë, 1976).

Les lames observées ne montrent pas de trace de glace en quantité égale. Ceci peut résulter : 1. de la granulométrie du matériau à l'emplacement de chaque lame étudiée ; 2. de la quantité d'eau disponible

(1) Cette datation a été réalisée au «Centre pour l'Etude de l'Energie nucléaire» à Mol, par le Dr. G. Koch, chef du service «Mesures Bas-Niveaux».

dans le matériau au moment du gel ; 3. des conditions de refroidissement qui ont pu être différentes d'un endroit à l'autre ; 4. de la compacité du matériau avant le gel.

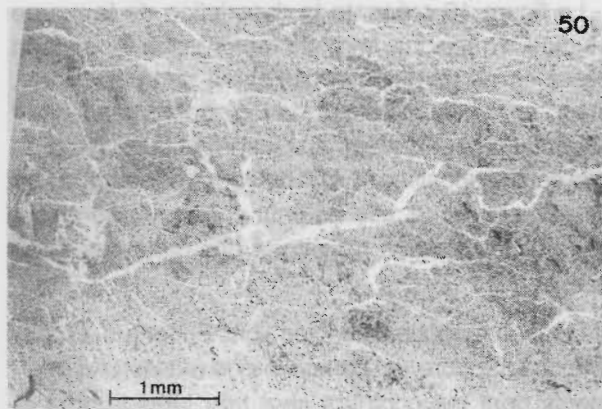


Fig. 5.- Traces de glace de ségrégation syngénétique du dépôt. Prélèvement 50 à la partie supérieure de la coupe donnée à la figure 4.

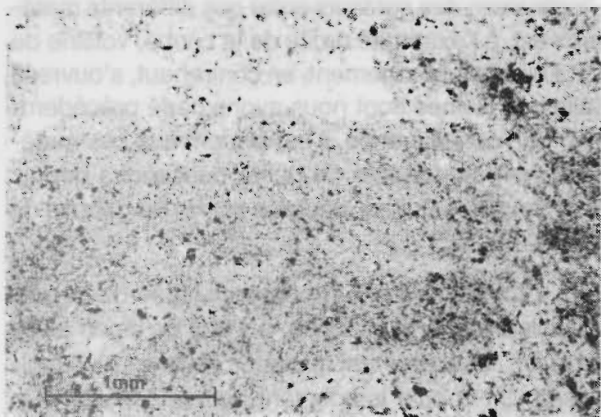


Fig. 6.- Vides triangulaires témoignant de l'existence ancienne de glace de ségrégation.

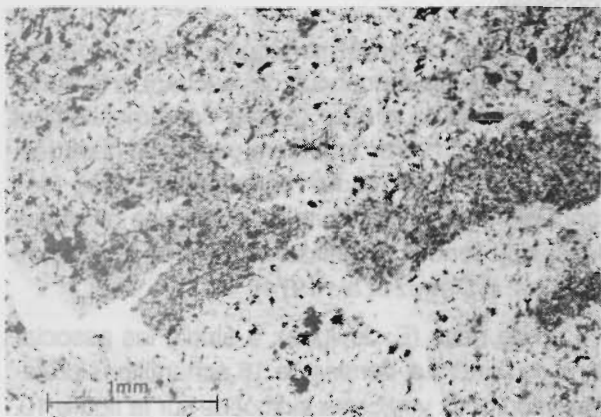


Fig. 7.- Microdéchirements résultant de la fonte de glace de ségrégation (Echantillon R 18).

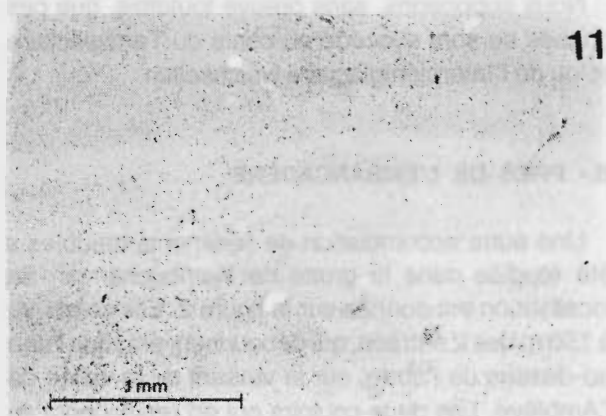


Fig. 8.- Aucune trace de glace de ségrégation n'est visible à la partie tout à fait supérieure de la coupe donnée à la figure 4. Prélèvement n° 11.

La similitude d'aspect entre la glace visible sur les figures 1 et 5 ne nous paraît pas résulter du hasard. Nous pensons en effet que dans un cas comme dans l'autre, il s'agissait d'une masse boueuse qui a gelé peu après avoir été déposée. La disposition des fissures verticales, qui ont également été occupées par la glace, résulte du retrait au moment du gel. Il s'agit vraisemblablement d'un gel quasi syngénétique du dépôt (Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1984).

Une seule lame, dont la localisation au sommet de la coupe est indiquée sur la figure 4, ne montre pas d'action du gel. Elle témoigne peut-être des derniers dépôts qui se sont mis en place en cet endroit au moment où les formations sous-jacentes étaient complètement dégelées (fig. 8).

L'ensemble des observations effectuées conduit à l'interprétation suivante :

1. Les formations sous-jacentes à la discordance sédimentaire se sont mises en place lors de la disparition d'un pergélisol : la glace syngénétique du dépôt atteste en effet du gel quasi immédiat des sédiments déposés. Cela n'a été possible que parce que cette cavité était gelée ; en même temps, la partie supérieure du sol devait être dégelée pour fournir l'eau qui a amené les sédiments.
2. Une période de dégel a permis le développement d'une érosion qui a tronqué les formations déposées.
3. Un nouveau gel est survenu, permettant, au moment de sa disparition, la sédimentation de nouvelles couches limoneuses qui se sont mises en place alors que le sol était toujours sous 0°C. La température du substrat était toujours négative.



Nous supposons, sans preuve toutefois, que ces phases se sont succédé au cours du Tardiglaciaire et/ou de l'Interpléniglaciaire weichselien.

## B.- PRES DE L'EMBARCADERE

Une autre accumulation de sédiments meubles a été étudiée dans la grotte de Remouchamps. Sa localisation est donnée sur la figure 2. Elle se trouve à 150 m des 2 entrées, qui débouchent presque l'une au-dessus de l'autre, sur le versant de la vallée de l'Ambève. Les deux couloirs qui en proviennent se réunissent à l'emplacement du lieu-dit le «Précipice». Cette disposition donne lieu à une circulation cyclique de l'air qui, en fonction des conditions de température extérieure, pénètre par un étage et ressort par l'autre. De légères fluctuations de température ont, de ce fait, été observées au lieu-dit le «Précipice».

### Remouchamps

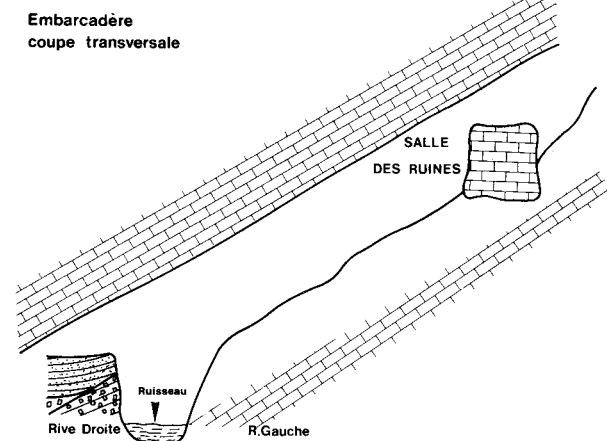


Fig. 9.- Schéma de localisation du dépôt accumulé en amont de l'embarcadere au pied de la Salle des Ruines.

Le dépôt que nous allons considérer maintenant se trouve 60 m en amont de la jonction des deux conduits et ne subit dès lors que des variations de température très faibles.

L'accumulation de sédiments meubles étudiée se trouve sur la rive droite de la rivière souterraine, avec son extrémité sommitale à 5,40 m au-dessus du niveau du cours d'eau tel qu'il est tenu constant pour la navigation (organisée pour la visite touristique de la grotte).

En raison des difficultés d'excavation, seuls les 3,60 m supérieurs du dépôt ont été observés. Pour

expliquer la mise en place de ces dépôts meubles, il est indispensable de tenir compte de leur localisation en face d'un grand couloir très incliné appelé la «Salle des Ruines», situé sur la rive gauche du ruisseau (fig. 9).

La figure 10 présente la description de la coupe étudiée. Précisons immédiatement que la section dessinée ne se dispose pas selon un plan unique, mais approximativement selon trois plans dont l'orientation est donnée aussi sur la figure 10. Bien que cette disposition soit un peu gênante lorsque l'on examine la figure, elle ne peut entraîner une erreur dans l'interprétation génétique des différents sédiments.

Deux formations distinctes sont évidentes. La formation inférieure est constituée de masses de sédiments dont les contours sont très irréguliers et la nature très hétérométrique. A côté de gros blocs de calcaire éboulés existent des débris de schiste, le tout emballé dans une matrice localement extrêmement argileuse, mais parfois uniquement limoneuse. L'inclinaison des contacts entre ces différents matériaux est, à l'extrémité droite de la coupe, voisine de 35°. Dans le prolongement, en contrehaut, s'ouvre la Salle des Ruines dont nous avons parlé précédemment. En conséquence, il est évident que ces matériaux sont des dépôts de pente descendus depuis cette Salle des Ruines localisée sur la rive gauche du ruisseau.

La formation supérieure est constituée de dépôts fluviatiles finement stratifiés. Il s'agit de limon et de sable fin, avec rarement quelques couches plus argileuses. Un chenal témoignant non seulement d'un arrêt de la sédimentation, mais du ravinement du dépôt est clairement apparent au milieu de la coupe. Ces dépôts stratifiés ont été mis en place par le ruisseau qui actuellement coule quelques mètres en contrebas.

Le sommet du dépôt correspond approximativement à l'altitude du conduit débouchant à la sortie supérieure de la grotte. Quand ce remblaiement s'est produit, la sortie inférieure était donc obstruée. Cette observation cadre parfaitement avec des conclusions obtenues suite à l'étude des minéraux denses du conduit aboutissant à l'entrée supérieure (Juvigné, *in* Dewez *et al.*, 1974).

L'un de nous (E. Juvigné), a étudié les associations de minéraux denses de 16 échantillons prélevés selon deux verticales indiquées sur la figure 10. Sauf dans les couches argileuses les plus inférieures, des minéraux provenant des téphra de Rocourt (voir plus haut) ont été reconnus. Rappelons que ces

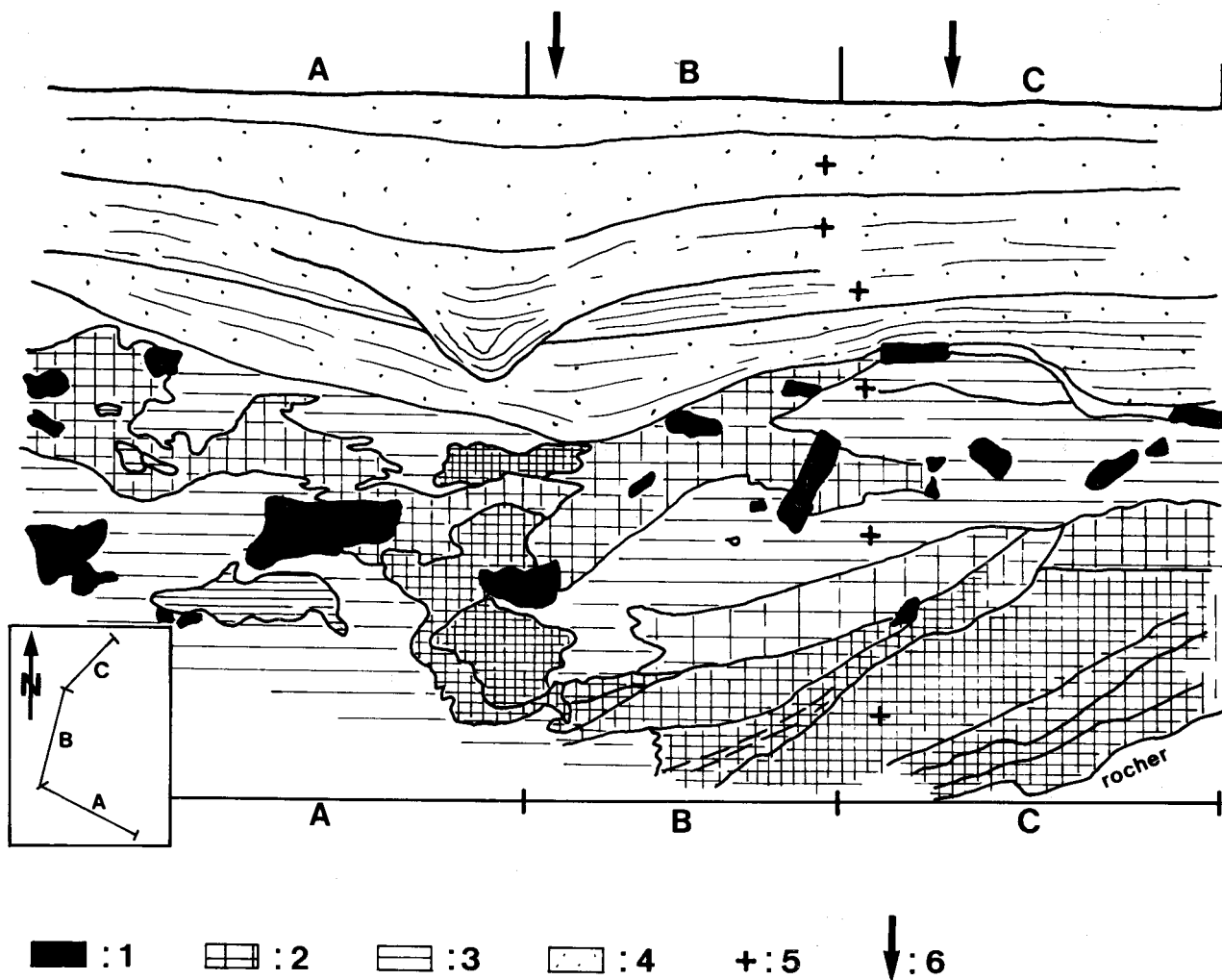


Fig. 10.- Vue générale des dépôts étudiés en amont de l'embarcadere.

1. bloc; 2. dépôt d'autant plus argileux que la maille du quadrillage est étroite; 3. dépôt limoneux; 4. dépôt sableux; 5. localisation des prélèvements pour étude des microstructures; 6. verticale où ont été prélevés par ratissage les échantillons étudiés au point de vue des minéraux denses.

poussières volcaniques sont tombées dans la première moitié de la dernière glaciation et que les couches qui les contiennent sont donc indiscutablement postérieures à l'Eemien. Les couches très argileuses de la base du dépôt, où elles n'ont pas été trouvées, sont avant tout constituées d'argile de décalcification. Les études microstructurales montrent que ces couches comprennent de petits éléments bréchiés provenant du remaniement des dépôts antérieurs. Il s'agit également de matériaux déplacés par des agents de transport en masse, soit des traces de phénomènes assez équivalents à ce qui se produit en surface dans des milieux périglaciaires (glissement thermokarstique).

Les traces de glace de ségrégation sont évidentes dans la partie supérieure du dépôt fluvial. La glace

ya été abondante et des actions d'affaissement dues à la fusion de celle-ci sont très nettes. A un mètre de profondeur toutefois, un échantillon n'a montré aucune perturbation due au gel. Au sein des formations sous-jacentes mises en place suite aux transports en masse venus de la Salle des Ruines, les actions du gel sont aussi évidentes. La disposition des fissures au sein de blocs déplacés par ces agents de transport en masse atteste que les formations ont été gelées avant de glisser sur le versant.

En conséquence, nous pensons retrouver des témoins de l'évolution suivante :

1. Des sédiments meubles se sont accumulés sur des pentes raides situées dans la galerie s'étendant en contrehaut du dépôt actuel.

2. Ces sédiments ont été gelés et de la glace de ségrégation y est apparue en abondance.
3. La fusion de cette glace au moment d'un épisode d'amélioration climatique a permis le déclenchement de mouvements de masse qui ont formé la partie inférieure de l'accumulation étudiée. Au moment de cette mise en place, la rivière ne s'écoulait pas, sans doute par obturation des conduits d'amont.
4. Une reprise par le gel s'est produite au sein de ces sédiments.
5. La rivière qui a recommencé à s'écouler, a trouvé les conduits d'aval partiellement obstrués et a accumulé les sédiments fluviatiles à caractère plus loessique, jusqu'au niveau de l'entrée supérieure par où les eaux s'écoulaient.
6. Une reprise par le gel, sans doute quasi contemporaine de la sédimentation supérieure, s'est produite.
7. Le ruisseau retrouvant son exutoire inférieur, a incisé rapidement les sédiments déposés.

Nous supposons que ces différents événements se sont tous produits à la fin de la dernière glaciation, lors des fluctuations climatiques du Tardiglaciaire weichselien.

### III.- CONCLUSIONS

La découverte de traces de glace de ségrégation dans des grottes présente de l'intérêt dans deux domaines très différents, à savoir :

1. la sédimentologie des dépôts occupant les cavités karstiques,
2. la paléoclimatologie.

La présence de glace dans les grottes de Belgique pendant les périodes froides est ainsi pour la première fois démontrée. Cette observation confirme que l'obturation des chantoirs n'a pas seulement été la conséquence de l'apport dans les thalwegs de grandes quantités de sédiments meubles. La découverte de traces de glace syngénétique du dépôt, c'est-à-dire de glace apparue immédiatement après la sédimentation, s'explique par le fait que lors de la disparition du pergélisol, le réchauffement a progressé de la surface vers la profondeur. Les conduits supérieurs ont pu de la sorte être inondés alors que les conduits inférieurs étaient toujours gelés. Pendant un temps probablement relativement bref, la sédimentation n'a pu se produire dans les conduits inférieurs obturés par la glace, alors qu'elle avait lieu

dans des conduits plus proches de la surface et déjà dégelés. S'il en est bien ainsi, il est très délicat, dans des régions où un pergélisol a existé, de vouloir expliquer la sédimentation souterraine laissée par des eaux courantes en tenant compte d'un abandon définitif des conduits supérieurs lorsque des conduits inférieurs étaient bien développés.

D'autre part, il nous paraît évident qu'au moment du dégel, les masses de sédiments dégelées ont été instables et ont pu se déplacer sur des pentes où auparavant elles étaient en équilibre. Nous expliquons ainsi la partie inférieure du dépôt que nous avons décrit près de l'embarcadère. Cette accumulation s'est d'ailleurs produite au moment où le ruisseau ne coulait plus, sinon on retrouverait en son sein des masses de sédiments lités témoignant de l'action du cours d'eau. Ajoutons encore que de pareils dégels ont probablement entraîné la chute et la fracturation simultanée d'un certain nombre de stalagmites reposant sur des formations meubles.

L'étude des traces de glace existant dans les grottes des régions actuellement tempérées est par ailleurs susceptible d'apporter des indications précieuses sur l'extension du pergélisol pendant les périodes froides du Quaternaire. L'application est immédiate si l'on admet que la température de la cavité correspond à la température moyenne annuelle de l'endroit où se trouve la grotte. Il est toutefois bien connu que s'il existe des courants d'air dans la cavité, comme ceux-ci agissent, du fait de la topographie de la cavité, préférentiellement soit pendant la saison froide, soit pendant la saison chaude, la température peut s'écarter de la température moyenne annuelle. Comme le montre la figure 11 donnée par Harris (1982), des «ice caves» peuvent exister lorsque la température moyenne annuelle atteint + 3°C. En se limitant cependant à l'étude de dépôts situés loin des entrées de grottes et à l'écart des puits verticaux qui peuvent entraîner un refroidissement local notable, l'étude de la glace de ségrégation existant dans les grottes constitue un nouvel outil pour cartographier l'extension atteinte par le pergélisol pendant les phases froides du Quaternaire. En outre, on peut espérer obtenir par là des indications directes sur la profondeur atteinte par le pergélisol, donnée qui nous manque totalement aujourd'hui dans les régions périglaciaires fossiles.

Soulignons pour terminer qu'il faut espérer que des descriptions directes de la glace contenue dans des sédiments gelés seront un jour publiées. Bien que la comparaison entre la disposition des lentilles de glace de ségrégation apparues lors d'expériences et à la surface du sol, paraisse ne laisser aucun



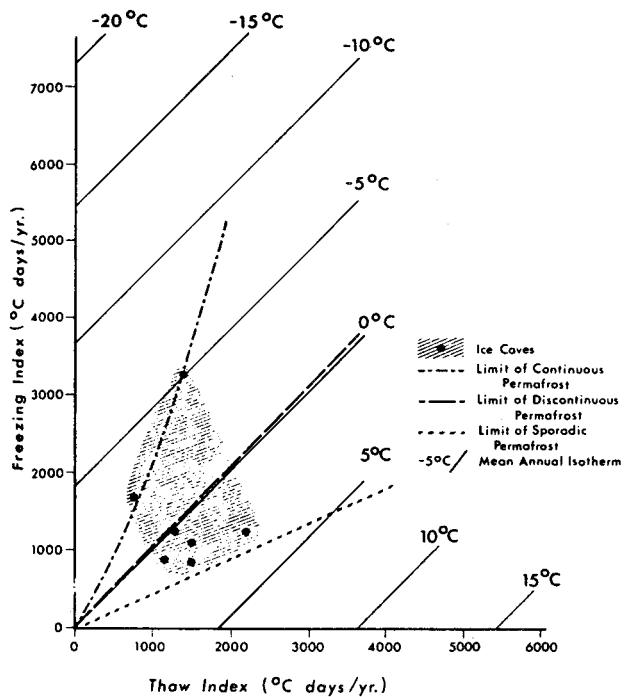


Fig. 11.- Relation entre la température et les ice-caves selon Harris (1982).

doute quant à la valeur de notre interprétation, il serait souhaitable de pouvoir observer directement

celle-ci, car les conditions de gel lent qui ont existé dans les cavités sont différentes de celles qui contrôlent le gel plus près de la surface.

## BIBLIOGRAPHIE

DÉWEZ, M., BRABANT, H., BOUCHUD, J., CALLUT, M., DAMBLON, F., DÉGERBÖL, M., EK, C., FRERE, H. & GILOT, E., 1974.- Nouvelles recherches à la Grotte de Remouchamps. *Bull. Soc. Roy. Belge Anthropol. et Préhist.*, 85 : 5-161.

EK, C., 1961.- Conduits souterrains en relation avec les terrasses fluviales. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 84 : 313-340.

EK, C., 1970.- La Grotte de Remouchamps. Compte rendu de l'excursion de la Société Géographique de Liège, le 28 mai 1969. *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 6 : 197-203.

HARRIS, S., 1982.- Identification of permafrost zones using selected permafrost landforms. C.R. de la 4e Conf. canadienne sur le Pergélisol, Calgary, Alberta, March 1981. *National Research Council of Canada, Ottawa 1982* : 49-58.

JUVIGNÉ, E., 1977.- Zone de dispersion et âge des poussières volcaniques du tuf de Rocourt. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 100 : 13-22.

JUVIGNÉ, E. & GEWELT, M., 1988.- Téphra et dépôts de grottes : intérêt stratigraphique réciproque. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 111 (1) : 135-140.

PISSART A., 1964.- Contribution expérimentale à la connaissance de la genèse des sols polygonaux. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 87 (7) : 213-223.

VAN VLIET-LANOE, B., 1976.- Traces de ségrégation de glace en lentilles associées aux sols et phénomènes périglaciaires fossiles. *Biul. Perygl.*, 26 : 41-55.

VAN VLIET-LANOE, B., COUTARD, J.P. & PISSART, A., 1984.- Structures caused by repeated freezing and thawing in various loamy sediments : a comparison of active, fossil and experimental data. *Earth Surface Processes and Landforms*, 9 (6) : 553-566.