

Sédimentologie et paléoclimatologie isotopique dans une grotte de Gaspésie, Québec

Sedimentological and paleoclimatological studies using isotope ratios in a cave in Gaspésie, Québec

Sedimentologie und Paleoklimatologie in einer Grotte der Gaspésie, Québec

Camille Ek, Claude Hillaire-Marcel et Benoît Trudel

Volume 35, numéro 3, 1981

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1000542ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1000542ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Ek, C., Hillaire-Marcel, C. & Trudel, B. (1981). Sédimentologie et paléoclimatologie isotopique dans une grotte de Gaspésie, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 35(3), 317–328. <https://doi.org/10.7202/1000542ar>

Résumé de l'article

La grotte appelée Spéos de la Fée est creusée dans les calcaires siluriens à l'ouest du lac Matapédia. Sa morphologie actuelle, essentiellement due à l'eau courante, est cependant influencée par des effondrements à proximité des deux entrées. La galerie principale est une conduite forcée suivant le pendage des bancs. Dans cette galerie, des dépôts d'eau courante (limons et sables fins) sont surmontés d'un diamicton comportant des cailloux de lithologie variée, parmi lesquels des éléments calcaires striés. Les compositions isotopiques de la fraction carbonatée des sédiments ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) indiquent qu'il s'agit surtout de carbonates hérités du socle. Une stalactite, datée à 7355 ± 190 BP (UQ-101), a fait l'objet d'analyses sériées des teneurs en ^{13}C et en ^{18}O , qui ont été comparées aux compositions isotopiques du CO_2 et de l'eau actuels de la grotte. On peut en conclure que les précipitations carbonatées ($\delta^{13}\text{C} \approx -6\text{‰}$ et $\delta^{18}\text{O} \approx 10\text{‰}$) s'effectuent en équilibre, dans un eau provenant surtout de la fonte des neiges. Les teneurs en ^{18}O des concrétions reflètent ainsi celles des précipitations hivernales.

SÉDIMENTOLOGIE ET PALÉOCLIMATOLOGIE ISOTOPIQUE DANS UNE GROTTE DE GASPÉSIE, QUÉBEC

Camille EK, Claude HILLAIRES-MARCEL et Benoît TRUDEL, premier et troisième auteurs, Département de géographie, université de Montréal, c.p. 6128, Montréal, Québec H3C 3J7, et deuxième auteur, Département des sciences de la Terre, université du Québec à Montréal, c.p. 8888, Montréal, Québec H3C 3P8.

RÉSUMÉ La grotte appelée Spéos de la Fée est creusée dans les calcaires siluriens à l'ouest du lac Matapédia. Sa morphologie actuelle, essentiellement due à l'eau courante, est cependant influencée par des effondrements à proximité des deux entrées. La galerie principale est une conduite forcée suivant le pendage des bancs. Dans cette galerie, des dépôts d'eau courante (limons et sables fins) sont surmontés d'un diamicton comportant des cailloux de lithologie variée, parmi lesquels des éléments calcaires striés. Les compositions isotopiques de la fraction carbonatée des sédiments ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) indiquent qu'il s'agit surtout de carbonates hérités du socle. Une stalactite, datée à 7355 ± 190 BP (UQ-101), a fait l'objet d'analyses sérieuses des teneurs en ^{13}C et en ^{18}O , qui ont été comparées aux compositions isotopiques du CO_2 et de l'eau actuels de la grotte. On peut en conclure que les précipitations carbonatées ($\delta^{13}\text{C} \approx -6\%$ et $\delta^{18}\text{O} \approx -10\%$) s'effectuent en équilibre, dans un eau provenant surtout de la fonte des neiges. Les teneurs en ^{18}O des concrétions reflètent ainsi celles des précipitations hivernales.

ABSTRACT *Sedimentological and paleoclimatological studies using isotope ratios in a cave in Gaspésie, Québec.* The object of the study is a cave known as «Spéos de la Fée», at La Rédemption. Developed by flowing water in Silurian limestones to the west of Lac Matapédia, its present morphology is influenced by collapse features near the two entrances. In the principal passage — a dip tube — water-lain silt and fine sand deposits are overlain by a diamicton containing clasts of various lithological composition, and amongst them striated limestone pebbles. The isotopic composition of the carbonate fraction of the sediments ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) indicate that these fragments are derived directly from the bedrock. A stalactite dated at 7355 ± 190 BP (UQ-101) was analysed for its composition in ^{13}C and ^{18}O . The results were then compared to the isotopic composition of present day carbon dioxide and water in the cave. The conclusions were reached that the precipitations of carbonates ($\delta^{13}\text{C} \approx -6\%$ and $\delta^{18}\text{O} \approx -10\%$) occurred in equilibrium with water derived mainly from snow melt. The ^{18}O values of the concretion thus reflect winter precipitation conditions.

ZUSAMMENFASSUNG *Sedimentologie und Paleoklimatologie in einer Grotte der Gaspésie, Québec.* Das Forschungsobjekt ist die so genannte Grotte «Speos de la fée» in La Rédemption, Québec. Durch fließendes Wasser in silurien Kalkstein gegraben und westlich vom Matapédia See gelegen, ist ihre heutige Morphologie durch den Zerfall in der Nähe der beiden Eingänge beeinflusst. In der Hauptgalerie findet man durch Wasser abgelagerten Schlack und feinen Sand, der von Diamikton bedeckt ist und Kiesel verschiedener Lithologie enthält, unter welchen auch Elemente gestreiften Kalksteins erscheinen. Die isotopische Komposition der Kohlenstoff Fraktion der Ablagerungen ($\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$) zeigen, dass diese Fragmente direkt vom anstehenden Gestein stammen. Ein Stalaktit datiert 7355 ± 190 v.u.Z. (UQ-101), wurde auf seine Bestandteile analysiert, ^{13}C und ^{18}O . Die Resultate wurden dann mit der isotopischen Zusammensetzung von heutigem Kohlendioxid und Wasser in der Grotte verglichen. Man kam zu der Schlussfolgerung, dass die Niederschläge von Kohlenstoff ($\delta^{13}\text{C} \approx -6\%$ et $\delta^{18}\text{O} \approx -10\%$) im Gleichgewicht mit dem hauptsächlich von der Schneeschmelze stammenden Wasser stehen. Die ^{18}O Werte der Verdichtungen reflektieren so die Werte der winterlichen Niederschlags Verhältnisse.

INTRODUCTION

Le Spéos de la Fée est une grotte de quelque trois cents mètres de développement, située à La Rédemption, comté de Matapédia, en Gaspésie (Québec), à une vingtaine de kilomètres de la rive sud du Saint-Laurent. Les deux entrées de la cavité et tout son réseau sont dans les calcaires siluriens du synclinal du lac Matapédia, vers 300 m d'altitude, à un kilomètre au nord-est de l'église de La Rédemption (fig. 1).

Le syndinal du lac Matapédia (BÉLAND, 1960) correspond à peu près à une ample dépression, bordée au nord par les monts Chic-Chocs, et au sud par le mont Saint-Pierre.

La grotte étudiée fait partie de tout un ensemble de phénomènes karstiques marquant le synclinal du lac Matapédia. D'autres grottes (la grotte du Canyon, le Trou Otis, etc.), des lapiés (en particulier non loin de l'entrée de la grotte étudiée), des dolines, des vallées sèches et des cours souterrains caractérisent en effet le synclinal. Le Spéos de la Fée a spécialement retenu notre attention à cause de son remplissage sédimentaire. C'est une grotte qui dans sa partie actuellement accessible n'est plus parcourue par aucun cours d'eau important, et qui a été en grande partie fossilisée par d'abondants dépôts, maintenant partiellement évacués, en partie par les eaux, en partie par l'homme.

LE CADRE STRUCTURAL ET SON INFLUENCE

Le synclinal du lac Matapédia englobe essentiellement des formations siluriennes plissées lors des mou-

vements acadiens et reposant en discordance sur une séquence ordovicienne et cambrienne plissée antérieurement, lors des plissements taconiens.

Parmi les dépôts siluriens figure la formation de Sayabec, essentiellement calcaire. C'est dans celle-ci que se situe le Spéos de la Fée. La formation de Sayabec a été étudiée par HÉROUX (1975) et a constitué l'objet d'une mise au point de HÉROUX, HUBERT, MAMET et ROUX (1977). D'après ces deux travaux, la formation de Sayabec, d'âge wenlockien-ludlovien, comporte, outre des calcaires, quelques dolomies, grès et schistes. Sa puissance moyenne est de 150 m; elle repose sur les quartzites de la formation de Val-Brillant et est surmontée par les schistes de la formation de Saint-Léon. La stratigraphie et la structure des formations du synclinal du lac Matapédia ont été récemment revues en détail par Beaupré (p. 38-55, *in* SCHROEDER, 1980). Les travaux de Beaupré ont montré, en particulier, que l'essentiel de la structure très complexe de la partie occidentale du synclinal est dû à un mouvement dextre le long de la faille des Chic-Chocs qui borde au sud le synclinal. La cartographie nouvelle présentée par Beaupré (*op. cit.*, fig. 8, p. 40 et fig. 10, p. 56) apporte une vue nouvelle sur la répartition des formations et la structure, en particulier à l'ouest de La Rédemption.

La formation de Sayabec affleure sur tout le pourtour du synclinal et, à l'endroit de la grotte étudiée, elle est exactement d'orientation est-ouest, avec un pendage nord de 21°. Cette structure se reflète très fidèlement dans la morphologie de la cavité, dont le passage principal est une conduite cylindrique inclinée à 21° vers le nord.

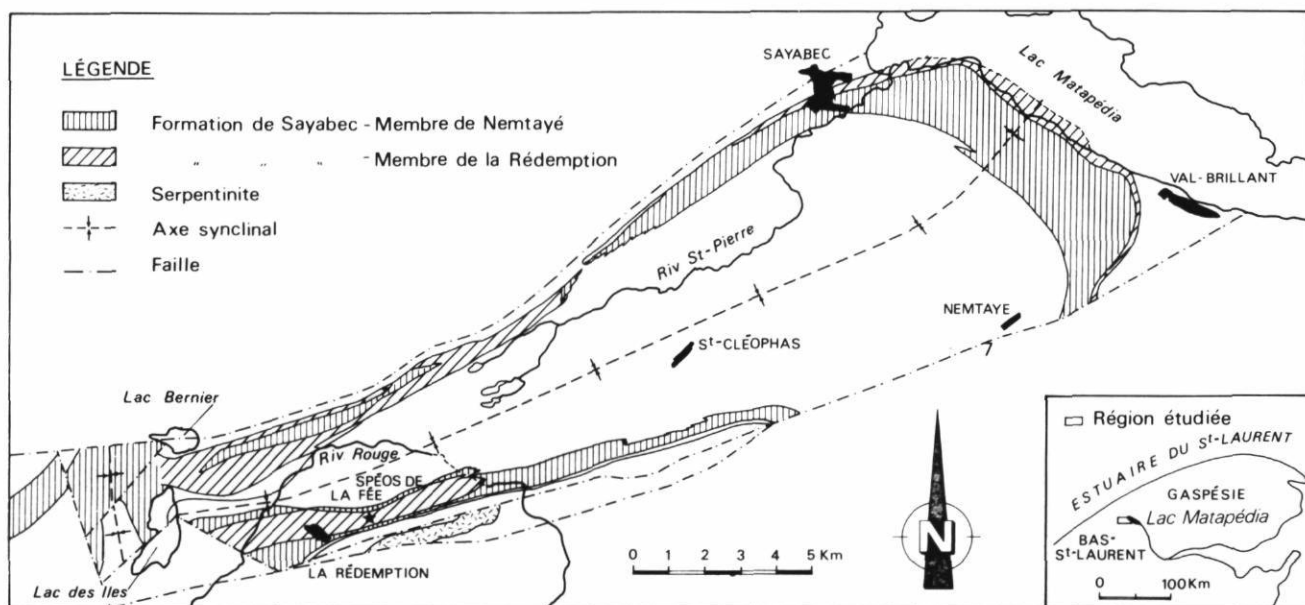


FIGURE 1. La formation de Sabayec dans le synclinal du lac Matapédia, simplifié d'après HÉROUX (1975).

The Sabayec Formation in the Lake Matapédia syncline, simplified from HÉROUX (1975).

La formation de Sayabec comporte deux unités lithologiques assez nettement différenciées, bien que plusieurs types de transition, parfois progressive, existent entre ces deux unités. La première, à laquelle HÉROUX (1975) a donné le nom de membre de La Rédemption, est essentiellement caractérisée par des calcaires et dolomies massifs ou stratiformes. La seconde, ou membre de Nemtayé (HÉROUX, *loc. cit.*) comporte des calcaires en lits lenticulaires et des calcaires noduleux emballés dans du schiste (*shale*) ou d'autres roches terrigènes. Le membre de La Rédemption a, en gros, un caractère récifal, à biostromes et biohermes, et comporte essentiellement des calcarénites, des calcirudites et des dolomies cristallines, le tout massif, ou en bancs d'épaisseur variable. Il est plus favorable à la karstification que le membre de Nemtayé, et ceci se reflète nettement aussi dans la morphologie de la grotte : la plus grande partie de celle-ci s'est développée dans le membre de La Rédemption, et la partie minime (dite « le Petit Spéos ») qui est dans l'unité lithologique comportant plus de matériel terrigène a une morphologie beaucoup plus marquée par les effondrements (et moins par la dissolution) que le reste de la cavité.

Enfin, le synclinal du lac Matapédia comporte diverses failles, particulièrement nombreuses et complexes dans sa partie occidentale. Nous avons retrouvé ces accidents dans la grotte, et, en particulier, près de l'entrée ouest (la plus petite) de la cavité ; là s'observent des stries de faille et certains passages sont parallèles à des plans de faille.

La structure, on le voit, commande directement bien des aspects du plan de la grotte.

MORPHOLOGIE DE LA CAVITÉ

1. LES GRANDS TRAITS DE LA TOPOGRAPHIE

Connu sur une longueur de 320 m, comportant une dénivellation de 41 m entre son point le plus haut et son point le plus bas, le Spéos de la Fée comporte deux entrées. La première est un puits elliptique dont le grand axe a à peu près trois mètres de long. Ce puits débouche, à quelque cinq mètres de profondeur, sur la galerie principale de la grotte. La seconde entrée, à 40 m au nord-ouest de la précédente, est beaucoup plus étroite ; c'est un petit puits oblique, peu profond (un mètre), s'ouvrant sur des passages étroits (« le Petit Spéos »), par lesquels on peut rejoindre le reste de la grotte (fig. 2).

La cavité se présente dans l'ensemble comme suit : le puits de l'entrée principale donne accès à une galerie à peu près rectiligne d'une cinquantaine de mètres de long, orientée sud-nord et descendant en pente régulière (de quelque 21°) vers le nord. C'est la galerie prin-

cipale, dite galerie Ti-Panthé-Plante, du nom du prospecteur Panthaléon Plante qui la découvrit et la désobstrua. Cette galerie est spacieuse sur ses 30 premiers mètres, puis son plafond se rapproche du sol. Près du puits d'entrée s'ouvre dans la galerie principale un étroit boyau qui donne accès à la partie orientale de la grotte, la galerie des Deux Sœurs, à l'extrémité de laquelle coule un ruisseau qui, lors des crues, est susceptible d'inonder une grande partie de la galerie des Deux-Sœurs.

Si on descend tout droit la galerie Ti-Panthé-Plante et son prolongement surbaissé, on arrive dans la partie occidentale de la grotte qui débouche à l'air libre par la seconde sortie. Le passage le plus spacieux de la grotte (« la Grande Allée ») a une section oblique, c'est-à-dire que plafond et sol présentent tous deux, sous les effets de la structure, une pente nord. Quant au point le plus profond de la grotte, c'est également son point le plus septentrional, et il est situé au bas de la « Glissoire », étroit couloir en pente de 42°.

Les conduits de la grotte comportent un abondant remplissage, qui a dû être partiellement déblayé pour permettre le passage. Dans l'ensemble, le remplissage est plus fin (argileux et limoneux) dans la galerie des Deux Sœurs et plus grossier (surtout sableux et caillouteux) dans la galerie Ti-Panthé-Plante et le reste de la cavité. Les concrétions sont assez rares et de dimensions modestes, sauf dans la Grande Allée, où le lait de lune abonde sur les parois en grosses formations mamelonnées.

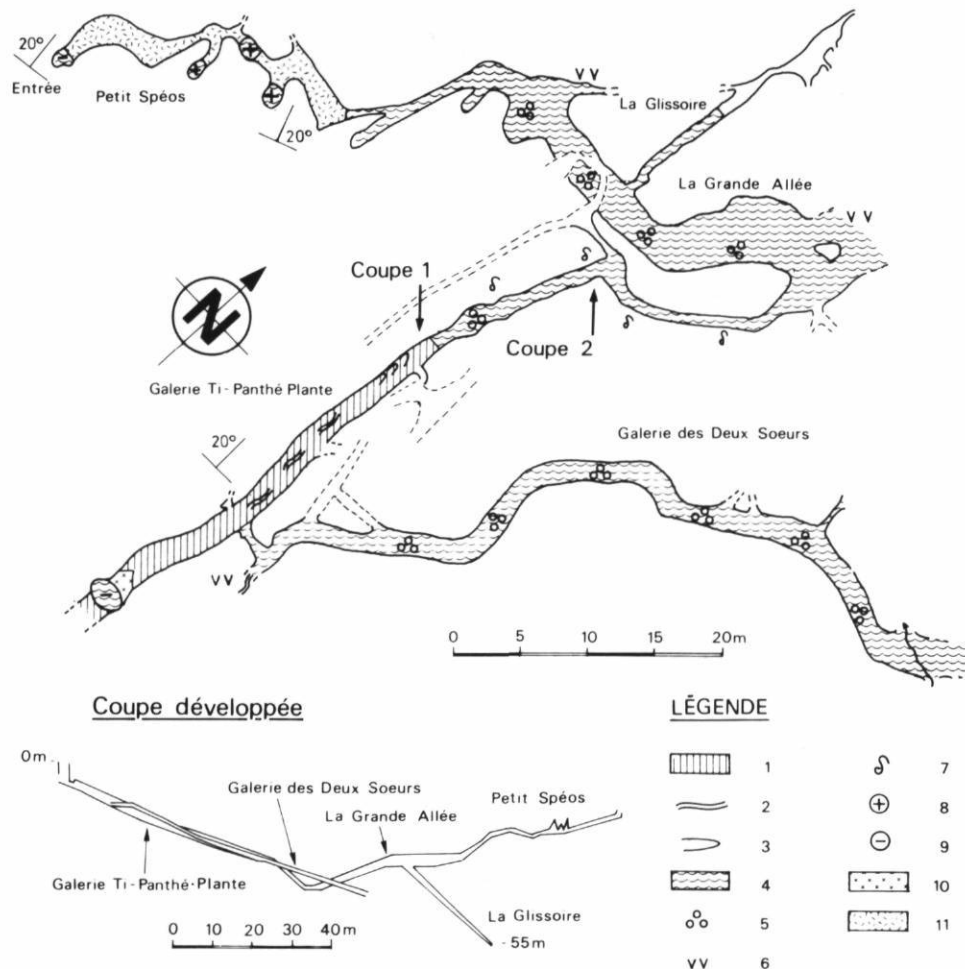
2. LES AGENTS DU CREUSEMENT

Les deux agents principaux du modelé actuel de la grotte sont d'une part l'eau, et essentiellement l'eau courante, et d'autre part la gravité, à l'origine d'éboulements et d'effondrements, parfois aidée par les alternances de gel et de dégel.

a. L'eau

La galerie Ti-Panthé-Plante est une conduite forcée très typique : c'est un couloir presque rectiligne sur une cinquantaine de mètres, cylindrique, de quelque 2,50 m de diamètre. Plus on va vers le bas et plus le remplissage oblitère la forme de la galerie, mais sa forme originelle ne fait aucun doute : c'est un « tube » de section constante creusé par l'eau circulant sous pression. On peut se demander d'où venait cette eau. Vers le haut, la conduite forcée semble s'arrêter au fonds du puits de l'entrée principale. Mais ce puits s'ouvre presque au sommet d'une petite butte et, actuellement, il ne peut donc rien drainer. Cependant, au bas du puits, une observation attentive montre que la galerie cylindrique se prolongeait jadis vers le sud. Cette continuation est maintenant obstruée par des blocs éboulés. Elle devait

SPÉOS DE LA FÉE - MORPHOLOGIE



Fond topographique de D. Caron et J. Roberge. Soc. québécoise de Spéléologie

FIGURE 2. Le Spéos de la Fée, schéma morphogénétique. A. Creusement par l'eau: 1) conduite forcée; chenaux de plafond; 3) coup de gouge; 4) autres actions de l'eau, avec prédominance de la dissolution; 5) cupules; 6) pendentifs rocheux; 7) dissolution différentielle, *spongework*; 8) cheminée; 9) puits. B. Actions mécaniques: 10) effondrement, cryoclastie; 11) plafond plat structural (débris sur le sol). Au bas de la figure, coupe développée.

The Spéos de la Fée, morphogenetic sketch. A. Water action: 1) pressure flow tube; 2) roof channel; 3) flutes; 4) other water actions, predominantly solutional; 5) scallops; 7) *spongework*; 8) chimney; 9) shaft. B. Mechanical actions: 10) collapse and frost shattering; 11) structural flat roof with frost shattered debris on the floor. Bottom: developed profile.

déboucher à la surface du sol au sud du puits actuel, au pied de la butte sur laquelle s'ouvre le puits. Là pourrait être l'origine de l'eau. Cependant, la galerie Ti-Panthé-Plante montre de grands coups de gouge qui indiquent un courant dirigé vers le sud, donc un courant ascendant. Les coups de gouge sont des formes d'érosion sur les parois consistant en larges cannelures, plus profondes à leur extrémité située vers l'amont du courant qu'à l'extrémité aval; ils indiquent donc le sens du courant. Leur longueur peut d'autre part donner une indication de la vitesse du courant qui les a formés (GOODCHILD et FORD, 1971; BLUMBERG et CURL, 1974). Jean Roberge, qui a étudié les coups de gouge du Spéos de la Fée, les considère comme formés par un courant lent de l'ordre de 3 ou 4 cm/sec (Roberge, in SCHROEDER, 1980). On peut se demander si ce cou-

rant est celui qui est à l'origine de la conduite ou s'il est intervenu plus tard. Il n'est en effet pas exclu, jusqu'ici, que la galerie Ti-Panthé-Plante ait d'abord été un drain absorbant les eaux de surface et ait fonctionné plus tard comme un orifice émissif, par exemple à la suite de modifications induites par la présence de glaciers. On verra cependant plus loin que l'étude des dépôts nous fait considérer qu'au moment de leur mise en place, le courant d'eau était descendant.

En dehors de la conduite forcée typique que constitue la galerie Ti-Panthé-Plante, les parois des passages de la grotte manifestent presque partout l'action de l'eau, mais de façon différente. La galerie des Deux Soeurs présente une section assez régulière mais aplatie, marquée un peu partout par des cupules de dissolution. Des cupules semblables s'observent aussi dans la

Grande Allée et dans le secteur occidental de la grotte. En outre, des pendentifs rocheux (*roof pendants*, BRETZ, 1942) et de fines formes de dissolution différentielle, donnant à la roche l'aspect d'une éponge (*sponge-work*, BRETZ, 1942), confirment la prépondérance des actions de dissolution dans la genèse des conduits, et témoignent en beaucoup de points d'un courant lent, probablement plus lent que dans la conduite forcée de la galerie Ti-Panthé-Plante.

b. La gravité et la cryoclastie

Si c'est par ses actions chimiques que l'eau se manifeste le plus sur les parois de la grotte, il est par contre deux facteurs qui ont modelé la cavité par des effets mécaniques : la gravité et la cryoclastie. C'est aux deux extrémités de la grotte, dans les zones d'entrée, que se voient le mieux leurs effets.

L'entrée occidentale, la plus petite, est située plus bas que le puits d'entrée principal. En hiver, la circulation de l'air se fait donc de l'entrée occidentale vers le puits principal ; le courant d'air est très sensible et favorise la pénétration du gel dans le Petit Spéos. En 1980, beaucoup de glace subsistait encore dans ce secteur le 31 mai : l'endroit est climatiquement très favorable à la cryergie. La structure de la roche l'est aussi, car dans ce secteur la roche encaissante est noduleuse et se débite aisément. Des surfaces de faille, datant très probablement des mouvements acadiens, se laissent aisément dégager. Aussi, les vingt premiers mètres à partir de l'entrée sont-ils jonchés d'éboulis, sous des plafonds souvent plats marqués par la désagrégation mécanique.

À l'autre sortie, le puits de cinq mètres, les effondrements sont également présents, mais moins développés. En hiver, cet orifice est le plus souvent émissif et, surtout, la roche encaissante de la galerie Ti-Panthé-Plante est massive et compacte. Des bancs sont cependant décollés dans les deux premiers mètres de cette galerie.

SÉDIMENTOLOGIE

1. LES REMPLISSAGES DU SPÉOS DE LA FÉE

a. Les sédiments détritiques

Tous les secteurs de la grotte comportent un important remplissage sédimentaire. Ce remplissage fut jadis encore plus imposant car la cavité a été notablement déblayée par les eaux et par les actions humaines, ainsi qu'en témoignent les traces d'un ancien comblement qui allait en beaucoup d'endroits pratiquement jusqu'au toit des galeries : les chenaux de plafond en sont un témoignage. C'est du reste le cas dans beaucoup de grottes en général : là réside une des causes de l'intérêt des études spéléologiques en géologie du Quaternaire.

On peut diviser le Spéos de la Fée en quatre secteurs quant aux types de remplissage prédominant. Du puits principal à la Grande Allée, des dépôts de cailloux, de sable, et, en moindre quantité, de matériaux plus fins, témoignent du passage d'eaux courantes. Dans le secteur nord, Grande Allée et Glissoire, des dépôts fins, souvent argileux, représentent le résultat de l'épandage par l'eau d'une nappe aquifère de matériaux provenant en partie de la circulation fissurale, et probablement en partie du remaniement de dépôts antérieurs ou de la décomposition de la roche en place. Le secteur ouest, ou Petit Spéos, est rempli surtout d'éboulis cryoclastiques. Quant à la galerie des Deux Sœurs, ou secteur est, elle comporte surtout des dépôts fins, d'eau calme, mais aussi, tout en bas, des sables et graviers témoignant d'un transport par un cours d'eau : le ruisseau qui coule encore au fond de cette galerie.

b. Les dépôts de précipitation

Les stalactites et stalagmites sont assez rares et généralement de dimensions modestes. Elles sont présentes, cependant, dans la galerie Ti-Panthé-Plante, dans la Grande Allée et dans la galerie des Deux Sœurs, sous forme de stalactites (dont l'une a été datée, voir plus loin), stalagmites, colonnes et draperies (dont l'une a été prélevée pour analyse isotopique : voir plus loin).

Le mondmilch (lait de lune, calcite en cristaux aciculaires) est abondant dans le Petit Spéos, sous forme d'enduit sur les parois, dans la partie proche du puits de la galerie Ti-Panthé-Plante, en dépôts interstratifiés dans des dépôts détritiques fins, et dans la Grande Allée, sous forme d'épaisses formations mamelonnées (dont le mondmilch ne constitue peut-être que la croûte extérieure).

2. LES COUPES ÉTUDIÉES

a. Localisation et description générale

La coupe n° 1 a été levée à 34 m au nord de l'entrée principale, sur la paroi ouest de la galerie Ti-Panthé-Plante. La coupe n° 2 est sise à 46 m au nord de l'entrée, dans le prolongement de la même galerie, mais sur la paroi est. Une troisième coupe, qui n'a pas été levée de façon détaillée, mais à laquelle il sera fait référence plus loin, se trouve à 70 m de l'entrée, à l'endroit où le prolongement du même passage aboutit dans la Grande Allée.

Les trois coupes présentent plusieurs traits communs. Leur partie inférieure et médiane est surtout constituée de sédiments sableux (ou plus fins) dont la stratification indique une mise en place par des eaux courantes. À la partie supérieure, les cailloux prédominent. Au sommet même de chacune des coupes, cependant, les derniers centimètres sont constitués d'un sédiment fin, limon ou argile. On voit que les trois coupes

participent d'un même processus de remplissage de la galerie.

Les cailloux de la partie supérieure de la coupe sont plus gros dans la coupe n° 1 que dans la coupe n° 2, et plus gros dans celle-ci que dans la coupe n° 3. Même sans postuler le synchronisme des trois dépôts, on trouve là un indice de plus que l'écoulement se faisait du sud vers le nord, de la galerie Ti-Panthé-Plante vers la Grande Allée et donc aussi de haut en bas.

Quant aux dépôts fins et très fins du sommet des trois coupes, ils sont sans doute liés au ralentissement de la circulation au moment où le remplissage était si important que les conduits étaient presque totalement obstrués.

La coupe n° 1 comporte, de haut en bas, les couches suivantes (fig. 3) :

5) Sable fin, lité. Épaisseur maximale : 5 cm. N'existe que localement, sous forme d'un comblement de vides entre la couche 4 et le plafond.

4) Cailloux très hétérométriques, dans une matrice sableuse mal lavée. Épaisseur maximale : 50 cm.

3) Sable surtout grossier, bien lavé. Épaisseur maximale : 50 cm. On peut le subdiviser comme suit : c) sable fin à litage très apparent (5-10 cm) ; b) sable grossier et fin gravier (30-40 cm) ; a) gravier passant localement à sable fin (10 cm).

2) Sable fin et limon. Épaisseur maximale : 20 cm. Comporte du sable fin sans litage apparent, mais interrompu par un mince lit de limon beige (1 cm).

1) Argile massive beige clair et limon gris foncé (total : 80 cm) interrompu par un fin lit (1 cm) de sable.

Le sol de la galerie se situe, par rapport à cette coupe, vers le sommet de la couche 2.

Dans la coupe 2, nous avons distingué les 5 couches suivantes, décrites ici en partant du sommet (fig. 4) :

5) Limon rouge foncé, légèrement feuilleté, passant localement à sable fin gris clair, stratifié. Épaisseur maximale : 10 cm.

4) Cailloux très hétérométriques, présentant localement un litage grossier, dans une matrice sableuse et limonneuse abondante. Épaisseur maximale : 40 cm.

3) Alternance de sable grossier (qui prédomine), parfois graveleux, et de sable fin en lits inclinés vers le nord. Le sable grossier est bien lavé. Épaisseur maximale : 40 cm.

2) Sable fin, stratifié, en lentilles. Épaisseur maximale : 20 cm.

1) Sables et galets, en un ensemble stratifié où sable (parfois fin) et galets dominant tour à tour. Vu sur 30 cm.

3. ANALYSES SÉDIMENTOLOGIQUES

Une quarantaine d'échantillons de sédiments ont été prélevés. On a soumis chacun d'entre eux à cer-

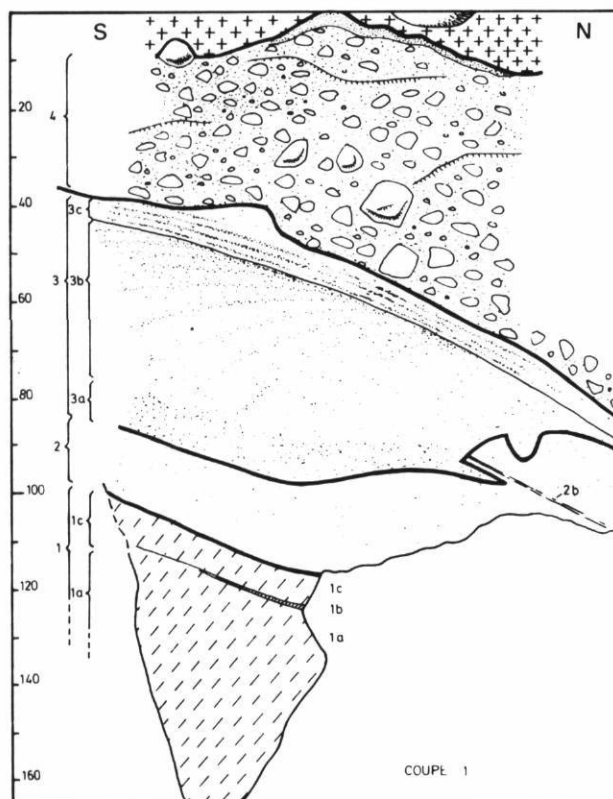


FIGURE 3. La coupe n° 1 du Spéos de la Fée. Galerie Ti-Panthé-Plante, à 34 m, du puits d'entrée. Les numéros des couches renvoient au texte.

Profile 1 in Galerie Ti-Panthé-Plante at 34 m from the entrance shaft. Layer numbers refer to text.

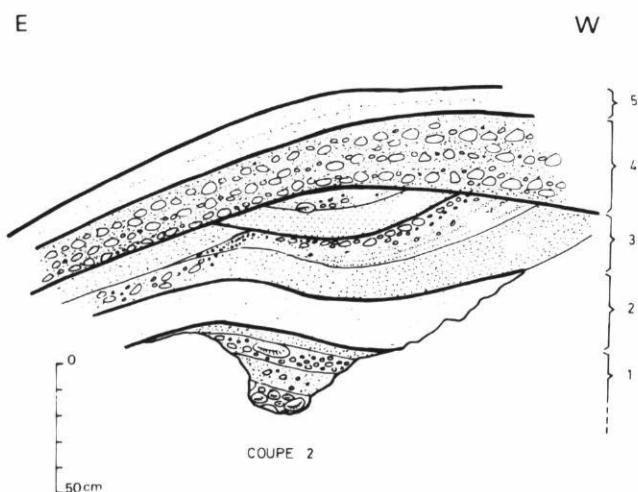


FIGURE 4. La coupe n° 2 du Spéos de la Fée. Galerie Ti-Panthé-Plante, à 46 m du puits d'entrée.

Profile 2 in Galerie Ti-Panthé-Plante, at 46 m from the entrance shaft.

taines des analyses suivantes : granulométrie, calcimétrie, morphométrie (cailloux), morphoscopie, composition lithologique.

a. Fraction grossière (> 2 mm)

L'investigation dans ce domaine a porté sur les cailloux des couches 4 des deux coupes.

Composition lithologique

Dans les deux coupes étudiées, les cailloux de la couche 4 comportent 60% de roches carbonatées, calcaires et dolomies, susceptibles de provenir de la formation de Sayabec et donc d'être des roches locales ; les 40% restants sont constitués de roches diverses parmi lesquelles prédominent les grès et quartzites, des roches vertes, et des roches métamorphiques allochtones. Tous les comptages ont été faits sur des cailloux de 2 à 4 cm de longueur, mais les autres fractions présentent qualitativement le même spectre.

Morphométrie et morphoscopie

Les galets sont dans l'ensemble peu émoussés, et l'indice d'émoussé de Cailleux est partout inférieur à 120. Ainsi, pour les calcaires de 2 à 4 cm de long, la médiane des indices d'émoussés s'établit à 91 dans la coupe 1 et à 114 dans la coupe 2 ; 10 à 20% des cailloux calcaires présentent des cassures fraîches : sans doute beaucoup de ceux-ci proviennent-ils de la grotte même, mais certains, qui avaient subi antérieurement un certain émoussé ont pu être brisés par la cryergie ou plus probablement par l'action d'un glacier. En effet, plusieurs des cailloux observés dans les deux coupes présentent des stries ou des facettes, signes d'un façonnement glaciaire. Les histogrammes d'émoussé sont légèrement bimodaux, le premier mode, de loin le plus important, étant proche de 100 et le second, beaucoup plus faible, autour de 300 ou 400. Il pourrait s'agir de l'indice du remaniement par un glacier d'une formation marine, mais nous pensons plutôt à l'action des eaux sous-glaciaires ou juxta-glaciaires. Dans chacune des deux coupes, un échantillon étudié en détail a même révélé un caillou très émoussé et très poli (un seul dans chaque groupe) d'indice compris entre 600 et 700, qui pourrait provenir d'une marmite. L'ensemble des caractères des matériaux grossiers des couches 4 des deux coupes analysées montre l'origine essentiellement glaciaire de ce matériel.

b. Fraction fine (< 2 mm)

Dans la fraction fine ont été considérées la granulométrie, la calcimétrie et la morphoscopie.

Granulométrie

L'exploitation des données de la granulométrie n'est pas encore terminée : nous n'en présentons ici que

les grandes lignes. Le classement est généralement très bon ; cependant, la fraction très fine (< 10 microns) est souvent très riche.

Nous donnons au tableau I, pour quelques échantillons, des indices de classement. Nous avons dû renoncer à ceux qui supposent la courbe granulométrique connue dans sa quasi totalité et nous avons gardé l'indice Hé de Cailleux, à cause de la rapidité de son calcul et de la possibilité de l'utiliser sur des sédiments dont une partie de la granulométrie reste inconnue, le Q de Φ de Krumbein, plus connu, et le Q de Φ en fonction de σ , proposé par MacCammon : $(\Phi 75 - \Phi 25) \cdot 1,35^{-1}$.

TABLEAU I

Classement granulométrique des sédiments

Coupe n°	Couche n°	Anal.	Hé	Q Φ K	Q Φ M	Φ 50
1	5	T	0,6	0,70	1,04	90
1	4	A	1,6			92
2	4	T	1,0	1,15	1,70	236
1	3	T	0,5	0,65	0,96	810
1	3	A	0,6	0,70	1,04	630
2	3	A	0,5	0,60	0,89	248
1	2	T	1,3	3,00	4,44	31
1	2	T	1,0	2,20	3,26	10
1	2	T	1,0	1,35	2,00	23
1	2	T	0,8	2,00	2,96	44
1	2	A	0,4	0,45	0,67	118
2	2	A	0,5			74
2	1	A	0,8	1,25	2,96	350

Hé : indice d'hétérométrie de Cailleux (1959)

Q Φ K : indice de Krumbein (1936)

Q Φ M : indice de MacCammon (1962)

Φ 50 : médiane, en microns

Anal. : analyste, A = Benoît Allen, T = Benoît Trudel

Le classement n'est mauvais que dans la couche 4 de la coupe 1, où la matrice du matériel caillouteux se révèle très mal triée : c'est la couche dans laquelle les cailloux présentent des stries et des facettes.

Les couches inférieures (1 et 2) présentent un enrichissement en argile, souvent observé dans les sédiments des grottes. Nous pensons qu'il est le résultat de la percolation à travers le sédiment d'une eau boueuse, postérieurement à l'épisode de dépôt en eau courante. Cet enrichissement en argile est, dans les deux coupes, beaucoup plus faible sinon absent dans la couche 3, plus grossière, et les couches sus-jacentes.

Morphoscopie des sables

Environ 25% des grains sont constitués d'un micro-conglomérat de grains ; ces grains sont toujours non

usés. Il s'agit là de grains dont l'histoire sédimentologique est très courte. Les grains monocristallins sont en majorité non usés aussi; les quartz émoussés n'ont fréquemment pas atteint l'aspect luisant. Il y a parmi les quartz 1 ou 2% de ronds mats, peut-être hérités. Les caractères des sables d'une grande gravière dans un dépôt proglaciaire à environ 2 km de la grotte sont exactement les mêmes.

Calcimétrie des fractions fines

Dans la plupart des couches, la teneur en calcaire est forte : 30 à 53%.

Les dix-huit calcimétries effectuées montrent donc qu'une partie importante du matériel fin provient probablement du synclinal lui-même et n'a pas été dissoute lors de son transport.

Les sédiments qui sont peu calcaires sont, d'une part, la partie inférieure de la couche 2, à la base de la coupe 1 : c'est une couche de matériel très fin (1 à 6% de calcaire) et, d'autre part, les couches 5, tout au sommet des coupes 1 et 2, couches de matériel fin également (11 à 14% de calcaire).

La très forte teneur en calcaire des autres couches nous semble l'indice d'un climat très froid ou, plus probablement, d'un milieu glaciaire : les dépôts glaciaires sont susceptibles d'être riches en calcaire. D.C. Ford (communication personnelle) pense que les sédiments fins ici décrits représentent le résultat d'une désagrégation mécanique rapide de la formation de Sayabec (et probablement du membre de Nemtayé en particulier) dans une situation sous-glaciaire où les distances de transport sont très courtes et où le matériel est rapidement soustrait à l'action de l'eau courante. Notre analyse morphogénétique de la grotte est, on va le voir, en plein accord avec les idées de D.C. Ford. L'analyse (par Anne de Vernal) d'un sédiment de granulométrie comparable dans un esker situé dans le même synclinal à quelques kilomètres de la grotte a donné pour la teneur en calcaire la valeur de 39%. Ceci confirme encore l'interprétation ici présentée.

En résumé, l'analyse sédimentologique nous montre un remplissage de matériel local effectué par une eau courante (couches 1 à 3 dans les deux coupes), dans un environnement glaciaire, probablement sous un glacier et, sinon, à proximité immédiate. Les couches inférieures ont subi, postérieurement à leur dépôt ou vers la fin de celui-ci, un enrichissement en argile qui n'affecte guère la couche n° 3 dans aucune des deux coupes. Cette couche n° 3 est plus grossière que la précédente et est recouverte à son tour par un diamicton qui, dans la coupe 1, a tous les caractères d'un till, mais qui est un petit peu mieux lavé, mieux trié et plus émoussé dans la coupe 2 située plus bas, plus loin de l'entrée. Cette couche 4 est, dans les deux coupes, recouverte

localement d'un dépôt très mince de matériel fin qui s'est insinué entre le remplissage et le plafond de la grotte et qui a complété le colmatage de la galerie. Ce dépôt, dans les deux coupes, est beaucoup plus pauvre en calcaire (11-14%) que les couches sous-jacentes et ne reflète donc plus un environnement glaciaire.

MORPHOGENÈSE

La conduite forcée en pente vers le nord, qui constitue la galerie principale, révèle clairement son origine structurale : un joint de stratification se marque à mi-hauteur de la galerie sur toute sa longueur : le conduit est né dans ce joint, dont il suit exactement le pendage. Le courant d'eau originel était-il ascendant ou descendant ? Il nous semble impossible de le dire, mais, à un moment donné au moins, le courant a été ascendant, comme en témoignent les coups de gouge observés en divers endroits de la galerie. Le remplissage a été fait postérieurement (car il a remblayé les coups de gouge) par un courant descendant, comme le montrent, par exemple, la diminution progressive de la granulométrie des cailloux vers le bas et la disposition des lentilles.

Au-dessus du remplissage s'observent, sculptés dans la roche en place du plafond, des chenaux anastomosés (*bedding-plane anastomoses*, BRETZ, 1942) et des pendentifs rocheux (*roof-pendants*, *ibidem*). Ces formes de dissolution se sont développées au plafond de la galerie seulement, très probablement lorsque le remplissage qui la comblait l'occupait presque jusqu'au sommet; à ce moment, le peu d'eau qui pouvait encore parcourir la galerie a pu avoir une énergie cinétique insuffisante pour transporter les sédiments meubles insolubles, mais une agressivité chimique suffisante pour corroder la seule partie de la roche qui restait accessible : le plafond. Ultérieurement, une partie du remplissage de la galerie a été érodée par l'eau, mais il semble que la majeure partie du déblaiement soit l'œuvre de Ti-Panthé-Plante, l'opiniâtre prospecteur qui s'acharnait à rechercher dans la grotte un utopique gisement d'amiante.

Parmi les autres galeries, il faut distinguer la galerie des Deux Sœurs, qui présente une section assez régularisée et qui semble représenter, comme la galerie Ti-Panthé-Plante, un ancien drain souterrain à caractère fluvial, c'est-à-dire à écoulement rapide : c'est ce qu'indique la régularisation de la section de ce conduit. Cependant, on n'y observe plus guère actuellement que des dépôts très fins.

Les passages situés au nord et à l'ouest de la galerie Ti-Panthé-Plante ont un tout autre caractère : dans l'ensemble, il y a là une suite d'étranglements et de forts élargissements dont la succession irrégulière est incompatible avec un courant d'eau marqué et régulier :

ce sont des passages d'origine phréatique, comme le confirment les fines structures de dissolution différentielle (*spongework*) et la présence, comme seul remplissage détritique, d'argile sur les parois. Le *spongework* s'observe aussi vers le bas de la conduite forcée : il semble donc qu'un stade d'eau calme ait existé après la fin du fonctionnement de la conduite forcée, ou même peut-être simultanément dans le bas du réseau.

La morphologie générale de la cavité (voir fig. 2) présente donc essentiellement une conduite forcée importante suivant le pendage (et quelques conduits plus petits de même type et de même direction) et une suite de passages irréguliers dont la direction générale est plus ou moins parallèle à la direction de la stratification. Ceci est conforme à un schéma proposé par FORD (1968 et 1971) pour expliquer la genèse des réseaux hydrologiques souterrains en roches plissées, là où la direction générale du drainage est subparallèle à la direction des bancs (voir aussi EWERS, 1978). Dans un tel cas (fig. 5), les conduits cylindriques qui se développent parallèlement au pendage, et dont certains sont plus importants que d'autres, sont reliés par des conduits transversaux qui peuvent présenter deux aspects

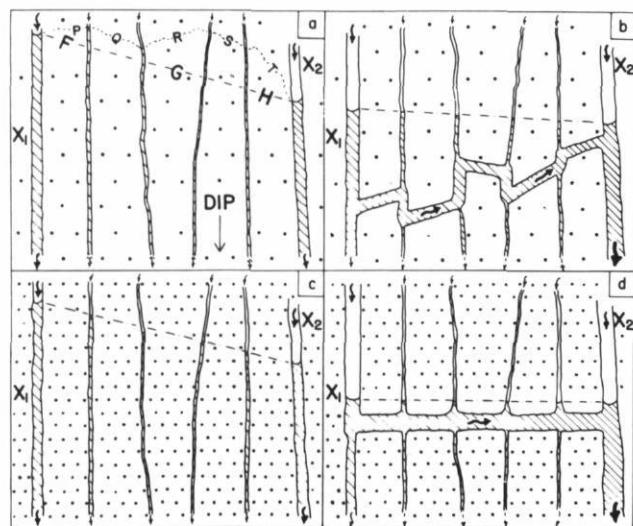


FIGURE 5. Développement de passages subhorizontaux reliant les tubes de conduite forcée originels dans des calcaires à pendage net. Les diagrammes sont dans le plan de la stratification. a) Une faible transmissivité hydraulique est dénotée par l'irrégularité de la surface piézométrique; b) il en résulte un passage irrégulier; c) une bonne transmissivité hydraulique amène une surface piézométrique régulière; d) la liaison qui s'établit entre les conduits originels est alors plus régulière. Figure extraite de FORD (1968).

Development of strike passages to link dip tubes in dipping limestones. Diagrams are in the bedding plane. a) A low hydraulic transmissivity across bedding is indicated by an irregular piezometric surface; b) an irregularly oriented strike passage is the result; c) a high hydraulic transmissivity is indicated by a regular piezometric surface; d) a straight passage is the result. From FORD (1968).

différents suivant la transmissivité hydraulique : si celle-ci est faible, la surface piézométrique est irrégulière (fig. 5a, ligne P-T) et la liaison qui s'établit comporte des passages irréguliers et de direction changeante (fig. 5b). Si au contraire la transmissivité hydraulique est grande, la surface piézométrique est régulière (fig. 5c) et donne finalement naissance à des conduits bien régularisés, calibrés et parallèles à la direction des bancs (fig. 5d).

La comparaison des figures 2 et 5 montre que le Spéos de la Fée illustre très bien le cas 5b de FORD. La galerie Ti-Panthé-Plante est la conduite forcée principale, parallèle au pendage; le Petit Spéos est une galerie irrégulière, grossièrement parallèle à la direction de la stratification. Ceci rend bien compte de l'aspect général de la grotte et représente très probablement les grandes lignes de sa genèse.

Une remarque s'impose au sujet de la relation entre la spéléogenèse et la morphogenèse de la surface. Le puits de l'entrée principale s'ouvre presque au sommet d'une petite butte qui domine de quelque 6 m la surface actuelle de la dépression synclinale du lac Matapédia. Les sédiments qui ont remblayé la galerie Ti-Panthé-Plante n'ont donc pu y dévaler dans le cadre topographique actuel. Le puits devait, à l'époque du colmatage de la galerie, être un point bas, ou à tout le moins ne pas être un point haut de la surface. Celle-ci comporte des vestiges de dépôts glaciaires et de dépôts lacustres de la dernière déglaciation. Dès lors, trois hypothèses sont permises quant à la topographie de surface lors du remplissage de la grotte :

1° La grotte a pu évoluer avant que les abords du puits soient mis en relief, c'est-à-dire alors que la topographie d'ensemble de la dépression était 6 m au moins plus élevée et avant l'érosion subséquente qui aurait raboté la plaine en laissant le puits sur une éminence résiduelle.

2° La grotte a pu être comblée alors que le relief général de la roche de fond était déjà tel qu'à présent, mais sous un glacier peu épais : la butte, alors, a pu provoquer une fissure dans la masse de glace et recevoir des eaux de fonte sous l'action desquelles le puits aura fonctionné en moulin.

3° Enfin, le remplissage peut être fini-glaciaire ou post-glaciaire et s'être mis en place lors de la période de dépôts lacustres, à un moment où ceux-ci avaient constitué un remblaiement submergeant la butte jusqu'à son sommet : le puits aurait alors avalé des sédiments datant de la fin du remplissage lacustre.

A priori, les trois hypothèses sont possibles dans le cadre de la morphogenèse de surface, et les trois situations peuvent aussi s'être succédé et expliquer des phases successives de la spéléogenèse. Mais l'étude sédimentologique a montré la similitude des dépôts de la grotte avec un esker situé à quelques kilomètres au

nord-est, dans le même synclinal et avec des dépôts pro-glaciaires exploités à 2 km au nord-est du Spéos de la Fée. Les dépôts de ce type, dans la région concernée, sont généralement considérés comme datant de la fin de la glaciation du Wisconsinien (voir p. ex. LEBUIS et DAVID, 1977). Les sédiments détritiques du Spéos de la Fée n'ont livré aucun matériel datable; mais leur parenté sédimentologique avec les dépôts extérieurs semble grande, et il paraît donc actuellement très probable qu'on peut aussi les rattacher à la fin de la dernière glaciation. Dès lors, la première hypothèse, qui fait appel pour le remplissage de la cavité à un relief très différent de l'actuel, semble à rejeter en faveur d'une des deux dernières hypothèses. Parmi ces deux-ci, celle qui envisage une situation sous-glaciaire semble nettement plus adéquate pour expliquer la présence de la couche 4 de la coupe 1, couche qui semble représenter un till très peu remanié. Cette hypothèse peut très bien s'appliquer aux autres couches également, en particulier du fait de leur haute teneur en calcaire non dissous dans les sédiments fins. Ford (communication personnelle) considère ce type de situation comme non rare dans la Cordillère, par exemple. Peut-être cependant une partie du remplissage, en particulier la mince couche 5, qui constitue le sommet des deux dépôts et qui est nettement plus pauvre en calcaire, pourrait-elle s'être déposée dans la situation de la troisième hypothèse, en milieu fini-glaciaire ou post-glaciaire.

Depuis l'assèchement de la cavité, la cryoclastie est le processus morphogénétique dominant: dans la zone du Petit Spéos en particulier, elle a déjà provoqué la chute d'une grande quantité de gélifracts, et son action continue. Le gel, dans ce secteur, se fait sentir loin avant dans la grotte, cette entrée étant d'altitude moindre que le puits principal. En 1980, le gel s'est marqué jusqu'à une trentaine de mètres de l'entrée.

La condensation de l'eau sur les parois est d'autre part fréquente; c'est à elle qu'il faut attribuer l'enduit blanc de mondmilch (lait de lune: une forme de calcite) qui tapisse beaucoup de parois: les eaux de condensation, dans une atmosphère dans laquelle nous avons mesuré jusqu'à 900 ppm de CO_2 , soit le triple de l'atmosphère libre, sont susceptibles d'être agressives et de dissoudre la paroi, pour abandonner ensuite un dépôt blanchâtre pulvérulent, le mondmilch, à la suite de l'évasion du CO_2 ou de l'évaporation de l'eau.

Enfin, parmi les processus actuels, il ne faut pas oublier l'importance des crues de dégel qui provoquent une lente montée des eaux dans la grotte, à partir de ses points bas, et qui laissent des traces d'une nappe jusqu'à une dizaine de mètres environ au-dessus du fond de la cavité. On peut considérer ces eaux comme de type épiphréatique et reproduisant (ou perpétuant) ainsi les courants lents qui ont succédé, comme on l'a dit plus haut, aux courants de la conduite forcée.

GÉOCHIMIE ISOTOPIQUE

Les teneurs en ^{13}C et en ^{18}O de concrétions calcaires (une draperie et une stalactite) et de la fraction carbonatée des sédiments ont été déterminées. On a conduit parallèlement une étude des compositions isotopiques de l'eau et du CO_2 actuels de la grotte (fig. 6).

Notons d'abord que la fraction carbonatée des sédiments paraît être essentiellement détritique. En effet, sa composition isotopique reflète celle du socle local ou celle des dépôts meubles de surface, qui en dérivent également. Vers la base de la coupe du Spéos de la Fée (fig. 6), on observe cependant quelques anomalies de composition isotopique. Les teneurs en ^{13}C sont plus basses et indiquent une légère précipitation de calcite secondaire.

Dans le sol, au-dessus de la grotte, l'évolution de la composition isotopique du carbone du CO_2 met en évidence la dissolution des carbonates. En effet, à partir du CO_2 biogène ($\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C} = -24\text{‰}$), un enrichissement progressif en ^{13}C apparaît à la suite d'échanges isoto-

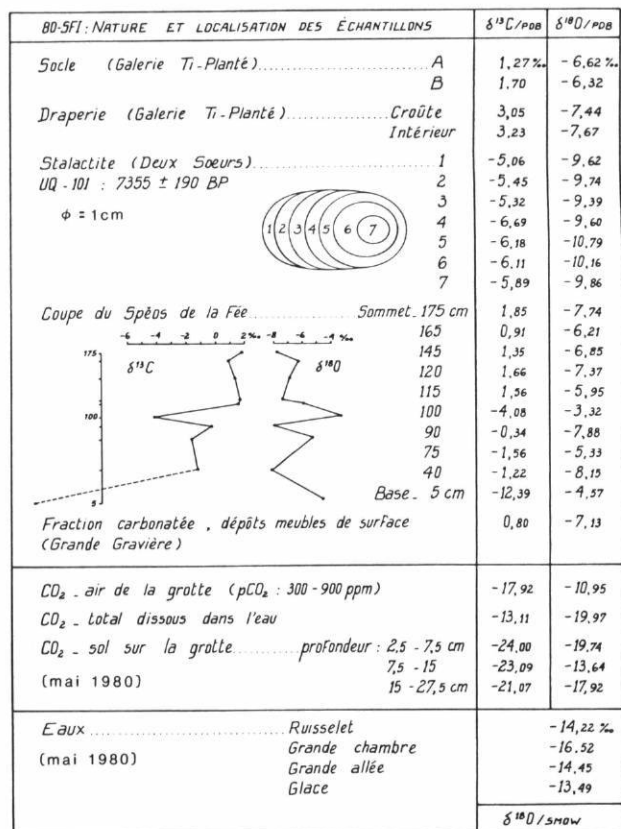


FIGURE 6. Composition isotopique de CO_2 , de l'eau et des carbonates du Spéos de la Fée.

Isotopic composition of CO_2 , water and carbonate in the Spéos de la Fée.

piques entre le CO_2 et le bicarbonate. On note cependant qu'il n'y a pas d'équilibre isotopique entre le CO_2 gazeux de la galerie ($\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C} = -17,9\text{‰}$) et le carbone total dissous dans l'eau qui circule au fond de la grotte ($\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C} = -13,1\text{‰}$). Celui-ci, dissous dans une eau dont le pH varie de 8,1 à 8,3, correspond essentiellement à la forme bicarbonatée. Or, à 4°C , température de la grotte, l'équilibre se traduirait par un fractionnement $\epsilon^{13}\text{C}$ ($\text{CO}_2 \text{ gaz} - \text{HCO}_3^-$) de l'ordre de $-8,7\text{‰}$ environ (cf. DEUSER et DEGENS, 1967, par exemple).

Il est cependant intéressant de noter que la calcite de la stalactite, dans la galerie des Deux Sœurs, correspondrait à l'équilibre isotopique entre le CO_2 gazeux et le CaCO_3 . Le $\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$ moyen de la calcite s'établit à -6‰ . En admettant une précipitation avec les mêmes conditions de température qu'actuellement (4°C), cette valeur refléterait l'équilibre avec un CO_2 gazeux dont le $\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$ approcherait -18‰ (cf. BOTTINGA, 1968). La composition isotopique de l'oxygène de cette concrétion laisse également croire à une précipitation dans des conditions d'équilibre, c'est-à-dire sans effet cinétique notable (cf. HENDY, 1971). En admettant une température de 4°C , la calcite ($\delta_{\text{PDB}}^{18}\text{O} \approx -10\text{‰}$) représente la précipitation dans une eau dont le $\delta_{\text{SMOW}}^{18}\text{O}$ aurait été de l'ordre de $-13,5\text{‰}$, valeur proche de la composition isotopique de l'eau qui circule actuellement.

La draperie analysée dans la galerie Ti-Panthé-Plante (fig. 6) paraît avoir précipité sous des conditions très différentes. Les enrichissements, considérables en ^{13}C ($\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C} \approx +3\text{‰}$), moindres en ^{18}O ($\delta_{\text{PDB}}^{18}\text{O} \approx -7,5\text{‰}$), que l'on observe, pourraient, à la limite, refléter une précipitation en équilibre avec le CO_2 atmosphérique ($\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C} \approx -7\text{‰}$). Toutefois, des mesures complémentaires devront être effectuées pour confirmer ce point.

Ces deux exemples démontrent, s'il était encore nécessaire de le faire, que les concrétions de grotte ne peuvent être utilisées sans discernement, aux fins de reconstitution paléohydrologique. Quoi qu'il en soit, la calcite de la galerie des Deux Sœurs paraît avoir précipité à l'équilibre. Sa teneur en ^{18}O reflète ainsi celle d'eaux anciennes, légèrement plus riches en ^{18}O que celles qui circulent aujourd'hui dans la grotte. On pourrait donc en déduire des conditions climatiques légèrement plus favorables dans le passé. Cependant, il est clair que les compositions isotopiques mesurées, pour l'oxygène de l'eau, correspondent aux précipitations hivernales dans la région (eau de fonte des neiges). Le léger enrichissement en ^{18}O de la glace (fig. 6) est naturel; il traduit le fractionnement isotopique accompagnant la congélation (cf. O'NEIL, 1968). Il est donc probable que les teneurs en ^{18}O des concrétions ne reflètent au mieux que l'équilibre isotopique avec des eaux provenant essentiellement de la fonte des neiges. Elles ne sauraient donc être utilisées comme « témoins » des

variations de la composition isotopique moyenne des précipitations annuelles.

L'âge ^{14}C apparent de la totalité de la stalactite des Deux Sœurs (UQ-101 : 7355 ± 190), peut être corrigé en tenant compte des sources de carbone : CO_2 du sol ($\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C} \approx -24\text{‰}$; activité ^{14}C initiale $\approx 100\%$) et CaCO_3 du socle ($\delta^{13}\text{C} \approx -1,5\text{‰}$; activité ^{14}C initiale = 0%). La composition isotopique du CO_2 gazeux de la galerie reflète pratiquement des conditions stœchiométriques au débouché dans la grotte, où la moitié du carbone dissous proviendrait du CO_2 biogène, l'autre moitié, de la dissolution du calcaire du socle. Dans ces conditions, on pourrait admettre une activité initiale du ^{14}C de l'ordre de 50% . La concrétion serait ainsi beaucoup plus récente que ne le laisse supposer son âge apparent. Elle aurait un âge moyen de l'ordre de 1500 ans environ (cf. les modèles de correction usuels, PEARSON et HANSHAW, 1970, par exemple).

CONCLUSION

La genèse de la grotte peut se résumer comme suit. Après une circulation fissurale dans les joints des bancs, circulation dont les vestiges sont minces, le Spéos de la Fée s'est développé sous la forme d'une conduite forcée localisée par la structure dans un joint de stratification et suivant la direction du pendage. Ce conduit, la galerie Ti-Panthé-Plante, n'est peut-être qu'un des éléments d'un réseau de drains parallèles (*dip tubes*), qui se sont vus reliés par un réseau subperpendiculaire (*irregular strike line passage*, suivant le schéma de FORD, 1968).

Le puits de l'entrée principale s'est développé, se raccordant à la conduite forcée et remplaçant la section la plus haute de celle-ci, section qui s'est comblée et a cessé de fonctionner.

La galerie Ti-Panthé-Plante s'est ensuite remplie de sédiments détritiques mis en place par de l'eau courante dans un environnement glaciaire, et probablement sous le glacier même. À un moment donné, du matériel morainique a même été piégé tel quel dans la grotte.

Nous avons dit plus haut que la dyssymétrie de certaines courbes granulométriques révélait un enrichissement secondaire en argile des couches inférieures. Ceci est confirmé par l'analyse isotopique, qui montre également un enrichissement en calcite reprécipitée : ce sont les mêmes eaux, pensons-nous, qui ont percolé à travers le sédiment déposé, enrichissant les couches inférieures en argile et en calcite de reprécipitation. Les toutes dernières couches du remplissage, plus pauvres en calcaire, semblent cependant post-glaciaires.

La galerie une fois comblée, des chenaux anastomosés et des pendentifs rocheux se sont formés à son

plafond sous l'action des eaux circulant entre celui-ci et le remblai.

D'autres actions de l'eau dont certaines peuvent être antérieures au colmatage sont responsables de la topographie actuelle de la galerie des Deux Sœurs et des secteurs nord et ouest de la grotte. Beaucoup de ces actions sont le fait d'une eau se mouvant très lentement, une nappe phréatique dans la zone de battement de laquelle le Spéos de la Fée se trouve encore en partie.

Les concrétions sont importantes et peut-être assez anciennes dans le secteur nord de la grotte. Dans la galerie Ti-Panthé-Plante et la galerie des Deux-Sœurs, elles sont par contre très modestes et plus récentes. Elles sont surtout alimentées par les eaux de fonte de la neige.

Parmi les phénomènes actuels, il faut rappeler l'importance des crues de dégel, de la gélifraction près des entrées et de la condensation périodique des eaux sur les parois, amenant la constitution de mondmilch.

REMERCIEMENTS

C'est grâce à un généreux subside du Conseil de la recherche en sciences naturelles et en génie, attribué en 1979, qu'a pu être entrepris ce travail.

Les auteurs remercient très vivement les personnes qui ont bien voulu relire le manuscrit. Les nombreuses remarques constructives de D.C. Ford ont abouti à un profond remaniement de la première version. La critique minutieuse et positive de J. Schroeder a aussi été des plus enrichissantes, de même que les remarques de J. Roberge. A. Ozer et S. Alexandre ont discuté notre interprétation des analyses sédimentologiques.

G. Frumignac et J. Dupont ont dessiné les figures. Sur le terrain, nous avons reçu une aide efficace de plusieurs personnes: celles de C. et J.-C. Mongeon et de G. St-Jean nous furent des plus précieuses et plusieurs techniciens et étudiants en géographie de l'université de Montréal nous ont aussi assistés avec efficacité.

RÉFÉRENCES

- BÉLAND, J. (1960); *Rapport préliminaire sur la région de Rimouski, Matapédia. Districts électoraux de Rimouski, Matapédia, Bonaventure et Matane*, Min. Mines Qué., Rapp. prélim. 430, carte 1342 (4 mi : 1"), 20 p.
- BLUMBERG, P.N. et CURL, R.L. (1974): Experimental and theoretical studies of dissolution roughness, *Journ. Fluid Mechanics*, vol. 65, p. 735-751.
- BOTTINGA, I. (1968): Calculation of fractionation factors for carbon and oxygen exchange in the system calcite-CO₂-water, *J. Chem. Phys.*, vol. 72, p. 800-808.
- BRETZ, J.H. (1942): Vadose and Phreatic Features of Limestone Caverns, *Journ. of Geol.*, vol. 1, p. 675-811.
- DEUSER, W.G. et DEGENS, E.T. (1967): Carbon isotope fractionation in the system CO₂g, CO₂aq, HCO₃, *Nature*, vol. 215, p. 1033-1035.
- EWERS, R.O. (1978): A model for the development of broad scale networks of groundwater flow in steeply dipping aquifers, *Transactions, Cave Research Group of Great Britain*, vol. 20, p. 121-125.
- FORD, D.C. (1968): Features of cavern development in Central Mendip, *Transactions, Cave Research Group of Great Britain*, vol. 10, p. 11-25.
- (1971): Geologic structure and a new explanation of limestone caverns genesis, *Transactions, Cave Research Group of Great Britain*, vol. 13, p. 81-94.
- GOODCHILD, M.F. et FORD, D.C. (1971): Analysis of scallop patterns by simulation under controlled conditions, *Journ. Glaciol.*, vol. 79, p. 52-62.
- HENDY, C.H. (1971): The isotopic geochemistry of speleothems I, *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 35, p. 801-824.
- HÉROUX, Y. (1975): *Stratigraphie de la Formation de Sayabec (Silurien) dans la Vallée de la Matapédia (Québec)*, thèse de Ph. D., Univ. de Montréal, Montréal, 130 p.
- HÉROUX, Y., HUBERT, C., MAMET, B. et ROUX, A. (1977): Algues siluriennes de la Formation de Sayabec (Lac Matapédia, Québec), *Journ. can. Sc. Terre*, vol. 14, p. 2865-2908.
- LEBUISS, J. et DAVID, P.P. (1977): La stratigraphie et les événements du Quaternaire de la partie occidentale de la Gaspésie, Québec, *Géogr. phys. Quat.*, vol. 31, p. 275-296.
- O'NEIL, J.R. (1968): Hydrogen and oxygen isotopic fractionation between ice and water, *J. Phys. Chem.*, vol. 72, p. 3683-3684.
- PEARSON, F.J. et HANSHAW, B.B. (1970): Sources of dissolved carbonate species in groundwater and their effects on ¹⁴C dating, in *Isotope Hydrology*, Proc. Symp. IAEA, Vienne, p. 271-286.
- SCHROEDER, J., sous la direction de (1980): *Le karst de plate-forme de Boischâtel et le karst barré de La Rédemption*, Livret-guide de l'excursion de l'Ass. québécoise pour l'étude du Quaternaire, préparée par la Soc. québécoise de Spéléologie, Coll. «Documents», Soc. québécoise de Spéléologie, 110 p.