

Signification des remplissages des karsts de montagne. Quelques clés à l'usage des spéléologues

Philippe Audra

Citer ce document / Cite this document :

Audra Philippe. Signification des remplissages des karsts de montagne. Quelques clés à l'usage des spéléologues . In: Karstologia : revue de karstologie et de spéléologie physique, n°25, 1er semestre 1995. Carte en couleurs des karsts de France à l'intérieur. pp. 13-20;

doi : <https://doi.org/10.3406/karst.1995.2350>

https://www.persee.fr/doc/karst_0751-7688_1995_num_25_1_2350

Fichier pdf généré le 07/11/2018

Résumé

Dans les karsts de montagne, la sédimentation de dépôts varvés, c'est-à-dire finement stratifiés, s'effectue lors de l'envolement de cavités en milieu glaciaire, en colmatant les zones profondes. Les bourrages de galets indiquent au contraire une puissante érosion dans la zone d'écoulement torrentiel, à proximité des pertes glaciaires.

Les épandages de gélifracts, fragments éclatés par le gel, indiquent un milieu périglaciaire caractérisé par les alternances gel / dégel et la neige. Les altérites remaniées sont les dépôts les plus anciens, hérités de phases chaudes du Tertiaire, où la karstification s'effectuait sous des couvertures de sols épais. Leur décapage est en partie contemporain de la formation des réseaux, en liaison avec le soulèvement alpin depuis la fin du Miocène. Les concrétions sont également des indicateurs de climats chauds ou tempérés chauds avec sols et végétation. Enfin, les divers remplissages ont pu enregistrer des mouvements néotectoniques : concrétions brisées, remplissages détritiques déformés, etc.

Abstract

Signification of mountain karst infillings. This paper is intended to cavers in order to help them identify the most significant mountain karst infillings. Carbonated varves sedimentation occurs during floodings in glacial environment. The varves block the deep parts of the networks. Pebbles sealings show a powerful erosion in the vadose zone, near glacial sinkholes. Gelifract spreadings are indicators of frost and snow action in periglacial environment. Reworked weathered rocks are the most ancient deposits, inherited from tertiary warm phases when karstification occurred under regolith covers. Their clearing is partly simultaneous with cave systems elaboration, in relation to the alpine uplift, during Pliocene. Speleothems are also warm or temperate climate indicators. Crystalline morphology reflects environmental characteristics, while their surface sight could have been smoothed during discharge reactivations. Finally, some infillings could have recorded neotectonic movements : broken speleothems, deformed clastic sediments, etc.

Signification des remplissages des karsts de montagne

Quelques clés à l'usage des spéléologues

Philippe AUDRA URA 903 du CNRS, AIX-EN-PROVENCE et Institut de Géographie de l'Université de NICE

Les dépôts karstiques souterrains sont de précieux indicateurs à la fois de l'évolution des cavités et des régions environnantes. Or les cavités alpines ont l'avantage d'avoir très bien enregistré les changements bioclimatiques brutaux en raison de l'altitude qui "exagère" ces changements (disparition de la forêt et des sols, englacement, etc.). Comme les spéléologues sont les premiers à observer ces remplissages lors des explorations, cet article s'adresse particulièrement à eux afin de leur donner quelques critères d'identification.

RÉSUMÉ : Dans les karsts de montagne, la sédimentation de dépôts varvés, c'est-à-dire finement stratifiés, s'effectue lors de l'enneigement de cavités en milieu glaciaire, en colmatant les zones profondes. Les bourrages de galets indiquent au contraire une puissante érosion dans la zone d'écoulement torrentiel, à proximité des pertes glaciaires.

Les épandages de gélifractions, fragments éclatés par le gel, indiquent un milieu périglaciaire caractérisé par les alternances gel / dégel et la neige.

Les altérites remaniées sont les dépôts les plus anciens, hérités de phases chaudes du Tertiaire, où la karstification s'effectuait sous des couvertures de sols épais. Leur décapage est en partie contemporain de la formation des réseaux, en liaison avec le soulèvement alpin depuis la fin du Miocène. Les concrétions sont également des indicateurs de climats chauds ou tempérés chauds avec sols et végétation. Enfin, les divers remplissages ont pu enregistrer des mouvements néotectoniques : concrétions brisées, remplissages détritiques déformés, etc.

Mots-clés : karst, montagne, remplissages, varves, dépôts glaciaires, brèches, altérites, concrétions.

ABSTRACT : SIGNIFICATION OF MOUNTAIN KARST INFILLINGS. This paper is intended to cavers in order to help them identify the most significant mountain karst infillings. Carbonated varves sedimentation occurs during floodings in glacial environment. The varves block the deep parts of the networks. Pebbles sealings show a powerful erosion in the vadose zone, near glacial sinkholes. Gelifract spreadings are indicators of frost and snow action in periglacial environment. Reworked weathered rocks are the most ancient deposits, inherited from tertiary warm phases when karstification occurred under regolith covers. Their clearing is partly simultaneous with cave systems elaboration, in relation to the alpine uplift, during Pliocene. Speleothems are also warm or temperate climate indicators. Crystalline morphology reflects environmental characteristics, while their surface sight could have been smoothed during discharge reactions. Finally, some infillings could

have recorded neotectonic movements : broken speleothems, deformed clastic sediments, etc.

Key-words : karst infillings, mountain, varves, glacial deposits, breccias, altérites, speleothems.

INTRODUCTION

Les remplissages sont des dépôts d'origines diverses, occupant une partie des vides des réseaux karstiques. On distingue habituellement les remplissages détritiques qui englobent aussi bien les blocs provenant des éboulements locaux, que les argiles, sables et galets. Ces derniers ont généralement une provenance plus lointaine et sont apportés dans le karst par les soutirages et les écoulements souterrains (EK et QUINIF, 1988). Les remplissages chimiques correspondent à tous les phénomènes de concrétionnement, principalement de calcite, bien connus dans le milieu souterrain (GEWELT et EK, 1988). S'ajoutent accessoirement les remplissages organiques, tel le guano de chauves-souris, les cadavres d'animaux, etc...



Photo 1 : Grotte Vallier (Vercors). Coupe verticale dans des varves carbonatées. On distingue les alternances irrégulières de lamines claires et sombres.
Vallier cave (Vercors). Vertical cross-section of the carbonated varve infillings. Alternations of irregular dark and light lamines are visible.

De récentes recherches sur les remplissages des cavités alpines (MAIRE, 1990 ; DELANNOY, 1991 ; AUDRA, 1994) ont permis de mettre en évidence des types de sédiments très courants, assez faciles à identifier, et dont l'interprétation s'avère riche d'enseignements, tant pour la connaissance de l'évolution des réseaux souterrains, que de l'ensemble d'une région. Ces remplissages sont rencontrés en permanence par les spéléologues qui sont les premiers, et généralement les seuls, à les observer. Malheureusement, leur identification (report sur les topographies) et leur interprétation sont trop fréquemment limitées par le manque de connaissances à ce sujet. C'est à eux que nous nous adressons ici, en bannissant délibérément tout langage trop technique, et en évoquant uniquement les observations possibles aux personnes ne disposant pas de laboratoire. Pour cela, il suffit de se munir de petit

matériel (loupe, marteau, couteau, fiole d'acide chlorhydrique dilué, sachets plastiques), disponible partout à faible coût, et du sens de l'observation et des connaissances "de base", que tous les spéléologues un peu aguerris possèdent.

Le but de cet article est donc de livrer quelques "clés" d'interprétation simples, à propos de certains remplissages ; nous espérons, par ce fait, que les descriptions et autres comptes-rendus d'exploration s'étofferont d'observations intéressantes, car la plupart des cavités nouvellement découvertes ne seront pas revues avant plusieurs décennies par des spéléos scientifiques (ou même ne le seront jamais !) et l'on ne peut que s'attrister de toute perte d'information précieuse pour tous.

On lira avec profit le petit fascicule de MAIRE (1980) paru sous la forme d'un numéro spécial de Spelunca. De même, la bibliographie comporte, dans la

mesure du possible, des titres faciles à se procurer. Les personnes désireuses de pousser les investigations un peu plus loin pourront se référer à l'excellent article de GAMEZ (1980), présentant clairement les techniques simples de laboratoire que l'on peut utiliser pour le karst souterrain. Enfin, on n'oubliera pas de se référer aux trois ouvrages principaux traitant des remplissages karstiques (voir références complètes dans la bibliographie) :

- *Colloque international de sédimentologie karstique, Han-sur-Lesse, 1987, Annales de la SGB, t. 111, (en particulier les synthèses de EK et QUINIF ainsi que GEWELT et EK) ;*
- *Actes du Colloque "Remplissages karstiques et paléoclimats", Fribourg, 1989, Karstologia mémoires, n° 2, (en particulier la synthèse de RENAULT) ;*
- *Actes des Journées Pierre Chevalier (en particulier les synthèses de QUINIF).*

Parmi les remplissages présents dans les cavités des karsts de montagne, nous nous intéresserons surtout à cinq grands types de dépôts, caractéristiques d'environnements très différents : varves, bourrages glaciaires grossiers, gélifracts et brèches glaciaires, altérites remaniées et concrétions.

I. LES REMPLISSAGES DES PÉRIODES FROIDES

Ce sont des sédiments qui se déposent lors de périodes d'intense refroidissement, en liaison avec la présence de glaciers plus ou moins proches.

A. Les varves carbonatées

Les varves carbonatées sont des dépôts finement lités, d'origine glaciaire, mis en place dans le karst profond par une sédimentation calme de type lacustre (MAIRE, 1990). Les varves carbonatées possèdent des caractéristiques suffisamment marquées pour être reconnues sans peine. Les dépôts sont généralement épais, de plusieurs décimètres à plusieurs mètres. Leur couleur varie du beige clair au blanc cassé (galerie Aranzadi à la Pierre Saint-Martin : cf. photo de couverture du *Karstologia* n°20, à droite). Sur une coupe correctement nettoyée, on constate qu'elles se composent de fins limons, disposés selon une succession de micro-lits horizontaux, appelés lamines,

Photo 2 : Grotte Vallier (Vercors). Varves carbonatées déposées sur les parois, avec surface peignée et dendritique attestant de noyages et dénoyages répétés (cliché R. Parein).
Vallier cave (Vercors). Carbonated varves deposited on the walls, with dendritic and straight surge marks (photograph by R. Parein).



alternant en teintes sombres et claires, chaque lamine pouvant varier de quelques dixièmes de millimètres à quelques centimètres d'épaisseur (photo 1). Sur toute l'épaisseur du dépôt, le remplissage reste assez uniforme. Très fréquemment, elles sont couvertes d'une fine croûte superficielle, peu adhérente, qui se décolle en écailles. Elles s'accumulent généralement sur le plancher des galeries, mais elles peuvent aussi remonter en talus au pied des parois, et se déposer sur les moindres aspérités. Dans ce cas, les lames sont disposées parallèlement aux parois, avec de forts pendages. De plus, leur surface est peignée de multiples petites rigoles, dont la forme évolue parfois en surface peignée ou dendritique (photo 2).

Certains critères permettent de les reconnaître aisément. Contrairement aux argiles qui sont très collantes, les varves carbonatées se lavent très facilement. Un simple coup de jet d'eau suffit à les éliminer du matériel spéléo. De plus, comme ces dépôts contiennent une importante proportion de carbonate de calcium, ils produisent une forte effervescence à l'HCl (dilué à 10 %). D'autres critères peuvent compléter l'identification. Ces remplissages se composent essentiellement de fins limons, de quelques dizaines de microns d'épaisseur. On ne distingue pas les éléments à la loupe. Cette granulométrie se vérifie aisément en frottant le sédiment entre les doigts : il est soyeux et ne contient que de rares grains de sables, très fins. Si l'on dispose d'une loupe binoculaire, on découvre une composition majoritaire de flocons de calcite. Les éléments les plus grossiers, minoritaires, sont des éclats de quartz, anguleux et transparents. Enfin, quelques minéraux accessoires peuvent compléter la composition.

Les varves carbonatées sont des sédiments mis en place dans un contexte très particulier. Lors des périodes froides, l'abrasion du glacier usait la surface des massifs calcaires ; de fines particules (grains de calcite, éclats de quartz) étaient ensuite emportées dans le karst par les ruissellements sous-glaciaires. Lors des fusions estivales, d'importantes quantités d'eau, très chargées de particules en suspension, affluaient simultanément dans le karst profond. Celui-ci ne pouvait tout évacuer, d'autant plus que les émergences étaient fréquemment obstruées par les glaciers. De fait, le karst se mettait en charge sur des hauteurs considérables (400 m à la grotte Vallier, 200 m au Trou qui Souffle en Vercors, 600 m dans le



Photo 3 : Grotte Vallier (Vercors). Stalagmite érodée datant de phases chaudes de la fin du Tertiaire. Au début du Quaternaire, les eaux provenant du glacier de l'Isère l'ont profilée, puis enfouie sous des varves carbonatées. Vallier cave (Vercors). Eroded stalagmite, dating from Upper Tertiary warm periods. At the beginning of the Quaternary, the discharge coming from the Isère glacier gave it a profile, then it was covered by carbonated varves.

réseau Cosa Nostra - Bergerhöhle en Autriche, etc.). Avec le retour du froid, les apports d'eau cessant, le réseau se vidangeait très lentement, tandis que les particules en suspension décantaient lentement, couvrant planchers et parois d'un film limoneux. Ce processus, répété chaque année, aboutit à la longue à la constitution d'un épais dépôt, où chaque couple de lamine claire et sombre représente en général une année de sédimentation. Compte tenu de l'épaisseur, on perçoit aisément qu'il s'agit d'un processus continu, étalé au moins sur des siècles et des millénaires.

Plusieurs observations découlent de la découverte de varves carbonatées dans un réseau. Bien entendu, l'information principale concerne le contexte glaciaire dans lequel elles ont été mises en place. Ensuite, en repérant l'extension des varves sur la hauteur du réseau, on en déduit facilement l'ampleur de la mise en charge. Enfin, ce processus correspond à des conditions de circulation particulières : d'une part, les eaux sont saturées en carbonate de calcium, si bien que l'érosion chimique est pratiquement inexistante. D'autre part, ces écoulements extrêmement lents ne peuvent être à l'origine d'une érosion mécanique significative. En effet, on découvre parfois, enfouies sous les varves, des concrétions

plus anciennes, dont la surface est à peine émoussée par le passage de l'eau responsable de la sédimentation varvée qui les a recouvertes (photo 3). Cette absence presque totale d'érosion, dans ces zones temporairement noyées lors des glaciations, oblige à admettre que les réseaux, dans lesquels les varves se sont déposées, étaient déjà creusés et organisés avant cette période glaciaire. Contrairement aux idées généralement admises, on découvre ainsi que l'érosion en phase glaciaire dans les zones noyées et temporairement noyées était extrêmement faible. En revanche, elle reste considérable dans les zones de circulation vadose (écoulement libre), comme on le verra par la suite.

B. Les bourrages glaciaires

Les bourrages glaciaires sont des dépôts grossiers, issus des moraines, apportés dans le karst par des écoulements violents. Ce type de dépôt s'identifie grâce à deux caractéristiques : la taille et la diversité des constituants.

Des galets de taille exceptionnelle ont été piégés dans les cavités, grâce à la puissance des torrents qui s'y engouffraient. Quelques exemples se remarquent aisément à la grotte de La Balme (Ile de Crémieu, Isère, photo 4), où le plus gros



Photo 4 : Grotte de La Balme.
Obstruction par de gros blocs morainiques dans les réseaux supérieurs proches de la surface
 (photographie M. Lacas).
La Balme cave (meridional Jura).
Large morainic blocks obstruct, close to the surface, the upstream part of the 1515 series
 (photograph by M. Lacas).

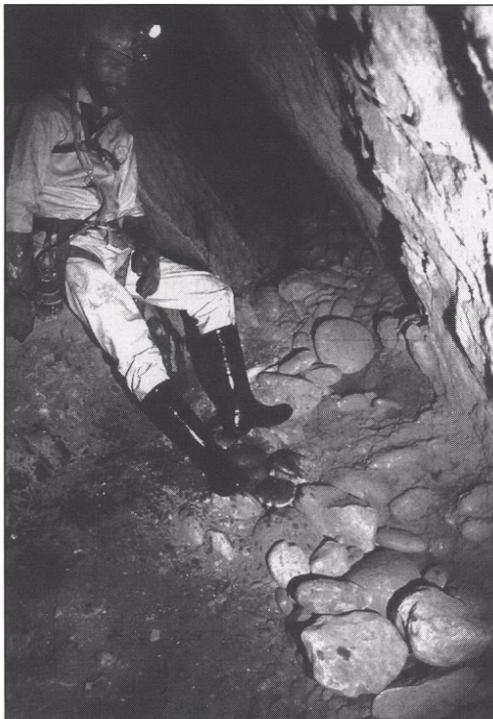


Photo 5 : Gros galets provenant d'un bourrage glaciaire dans la grotte de Brünnecker, Tennengebirge, Autriche
 (Photographie S. Caillault).
Brünneckerhöhle (Tennengebirge, Austria).
Filling of allochthonous morainic pebbles
 (photograph by S. Caillault).

galet atteint 70 cm de longueur, aux grottes des Echelles (Chartreuse), à la grotte de la Cascade de Glandieu (Jura méridional), à la petite Caugno à côté de Niaux, où l'on aperçoit, près de l'entrée, un bloc d'un mètre de diamètre coincé sur une terrasse latérale. Plus généralement, le dépôt est constitué de galets pouvant atteindre 10 à 20 cm de diamètre (photo 5), mêlés en proportion variable à des sables et graviers grossiers, les éléments les plus fins étant généralement exclus.

La composition pétrographique des éléments caillouteux est très diverse : principalement du calcaire provenant des environs immédiats, mais aussi des roches cristallines et métamorphiques résistantes, d'origine beaucoup plus lointaine, apportées par les grands glaciers alpins (granite, quartzites, amphibolites, gneiss...). Parmi ces dernières, certaines portent encore des stries d'usure glaciaire. Il suffit donc de posséder un marteau et quelques notions géologiques de base pour effectuer l'identification.

Comme pour les varves carbonatées, ces dépôts correspondent à un contexte glaciaire. Ils ont été pris en charge par des écoulements dont on imagine aisément la puissance requise pour transporter des blocs d'une telle taille. Ces torrents, qui se formaient en période de fusion glaciaire, soit saisonnière, soit lors des déglaciations, s'écoulaient en bordure ou à l'avant des langues glaciaires. Au passage, ils se chargeaient de matériaux abondamment disponibles dans les moraines, d'où la présence fréquente de stries typiquement glaciaires sur les blocs. La pétrographie des éléments dépend de l'origine du glacier : un appareil local n'apporte que des éléments calcaires, alors qu'un grand glacier de vallée charrie des blocs dont la variété dépend de la nature des terrains traversés lors de son cheminement.

Lorsqu'une perte engouffrait le torrent, les matériaux étaient absorbés par le karst, jusqu'à ce qu'un rétrécissement les bloque, où qu'une diminution de la vitesse du courant, liée à une inflexion de la pente ou à l'arrivée dans une zone noyée, entraîne un dépôt brutal et en vrac des éléments les plus grossiers.

De tels remplissages attestent également d'un contexte glaciaire. Néanmoins, ils se différencient nettement du cas précédent, puisqu'ils caractérisent essentiellement les zones de circulation vadose, ou les zones noyées proches des pertes glaciaires. En effet, on n'imagine guère

d'énormes galets charriés dans des conduits noyés, où la vitesse des circulations est généralement insuffisante pour déplacer des éléments grossiers sur de grandes distances. Leur présence indique une certaine facilité de circulation, qui n'était pas contrariée par la présence de colmatages, de rétrécissements, de zones noyées ou d'émergences obturées.

Ils témoignent également d'une puissante érosion mécanique, car ces eaux glaciaires, circulant rapidement et chargées d'éléments résistants très abrasifs, sont particulièrement efficaces pour creuser et polir les conduits. Ces remplissages s'accompagnent donc de formes caractéristiques, tels les polis de parois (grotte de La Balme), et surtout de grosses marmites de géant (grotte de la cascade de Glandieu, grotte de La Balme, grottes des Echelles). Contrairement au cas précédent, les écoulements de la zone vadose ont fréquemment balayé les remplissages antérieurs, quand ils existaient. Il est alors difficile d'établir s'il s'agit d'un conduit réutilisé et redimensionné par les écoulements d'origine glaciaire, ou si le conduit a été entièrement creusé lors de la phase glaciaire en question.

C. Les gélifraacts et brèches périglaciaires

Les gélifraacts sont des cailloutis anguleux produits par le gel faisant éclater les roches dures. S'ils sont ensuite cimentés, ils forment une brèche ; quand les constituants sont arrondis (galets) cela devient un conglomérat fluvial ou poudingue. Lors des périodes froides, toutes les régions ne sont pas couvertes de glaciers, loin s'en faut. Les bas plateaux environnant les montagnes subissent néanmoins l'action du froid et de la neige. Le gel est à l'origine de la désagrégation superficielle des calcaires, sous forme de gélifraacts. La neige, quant à elle, peut fournir d'importants écoulements lors des périodes de fusion, qui sont susceptibles de transporter ces matériaux.

Les gélifraacts calcaires sont aisément reconnaissables, car leur surface est formée de faces globalement planes, légèrement incurvées ou ondulées, qui se recoupent selon des arêtes vives.

Les amoncellements de gélifraacts qui encombrant les zones d'entrée des cavités, parfois fort loin lorsqu'il existe un courant d'air aspirant en hiver, sont bien connus. Leur formation est souvent actuelle,

surtout en montagne, mais dans les régions de plus faible altitude ou plus méridionales, leur genèse remonte à d'anciennes phases froides (CAMPY, 1990). Ils peuvent avoir une grande extension : dans le réseau de la Dent de Crolles, trois cheminées situées à proximité de la surface sont remplies sur plusieurs dizaines de mètres de hauteur par des géli-fracts, formant des trémies d'un type particulier, puisque leur remplissage est exclusivement composé de petits cailloutis (galerie Perquelin, réseau supérieur du puits Isabelle, trémie Garnier).

En dehors des porches, des baumes et des puits d'entrée, où les géli-fracts restent le plus souvent en place, ces cailloutis ont pu être mobilisés par les eaux de fusion nivale et emportés dans le karst. Les courants qui les ont transportés ont été puissants pour déplacer des cailloux plus ou moins gros. Par conséquent, ces remplissages d'anciens géli-fracts sont généralement caractérisés par leur aspect bien lavé et l'absence ou la rareté d'éléments plus fins, comme les sables et argiles. Ils se présentent donc sous la forme de dépôts de cailloutis anguleux, bien homogènes.

S'ils ont été déposés à faible distance de la surface, leur forme anguleuse est encore bien conservée (antre de Vénus en Vercors, photo 6 ; DELANNOY, 1991). En revanche, plus la distance de transport est grande, plus les angles s'émoussent, ce qui tend à leur donner un arrondi imparfait. Au scialet de la Sierre (Vercors), de tels dépôts de géli-fracts abondent. Comme le gouffre fonctionnait en perte, ils ont été étalés dans une grande partie de la cavité, mais de forme anguleuse à proximité de l'entrée, ils tendent à s'émousser de plus en plus vers le fond.

Lorsque leur mise en place remonte à une période froide ancienne, ces dépôts de géli-fracts ont pu évoluer lors d'une phase chaude postérieure. Des eaux alors plus chargées en carbonate dissous ont percolé à travers les bancs de cailloutis, déposant de la calcite qui cimente les géli-fracts entre eux, formant une brèche (scialet de la Sierre, antre de Vénus). Des conglomérats, aux éléments d'origine glaciaire cette fois-ci, cimentés lors de périodes de réchauffement ultérieures, ont été mis en évidence dans de nombreuses cavités de montagne (MAIRE et QUINIF, 1990).

Ainsi, ces remplissages de géli-fracts sont-ils des indicateurs de climats froids. Les surfaces calcaires non englacées, où



Photo 6 : Antre de Vénus (Vercors). Géli-fracts d'origine périglaciaire, cimentés en conglomérats. Ces géli-fracts ont été apportés sous terre par les écoulements de fusion nivale.

Antre de Vénus (Vercors). Periglacial gelifracsts, cemented in conglomerates. These gelifracsts have been extracted in the karst by snow meltwaters.

la roche affleurerait à nu sans protection du couvert végétal, ont été soumises à l'attaque du gel, qui produisit d'importantes quantités de géli-fracts. Une partie fut charriée par de forts écoulements vadoses dus à la fonte des neiges, puis piégée sous terre. Par la suite, lors de phases de réchauffement, certains remplissages furent indurés en brèches. Ils peuvent être également recouverts par des concrétionnements.

II. LES REMPLISSAGES DES PÉRIODES CHAUDES

Parmi les remplissages des périodes chaudes, nous en retenons deux caractéristiques, l'un de type détritique (les anciennes altérites remaniées), l'autre chimique (les concrétions souterraines).

A. Les altérites remaniées

Les altérites remaniées sont des remplissages provenant du soutirage et du remaniement d'anciennes couvertures de roches meubles (paléosols, altérites), présentes auparavant sur les massifs karstiques et aujourd'hui disparues dans la plupart des cas. Ces remplissages sont le plus souvent argileux avec une couleur rougeâtre plus ou moins marquée. Ils peuvent contenir de petits graviers. Si les écoulements les ont trié et lavé, les argiles ont disparu, ne laissant en place que les éléments les plus grossiers. Ces sables et graviers sont essentiellement composés de billes de quartz, parfaitement arrondies, d'aspect mat, souvent tachées de rouille. On distingue le quartz de la calcite par l'absence de réaction à l'acide, et par le fait que les éclats rayent le verre. Ces éléments quartzueux sont accompagnés de

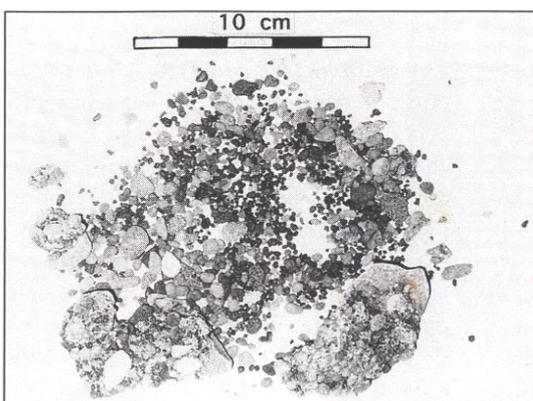
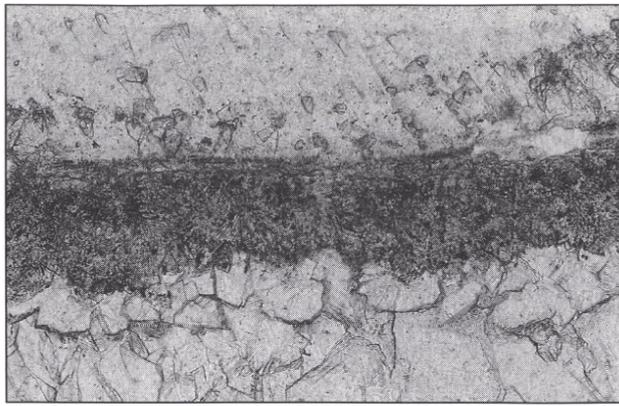


Photo 7 : Altérites remaniées de la grotte Vallier, constituées principalement de graviers de quartz (clairs) et d'oxydes de fer (sombre).

Vallier cave sediments (Vercors), consisting of reworked weathered rocks. The dark iron oxide grains and the quartz marbles can be distinguished.

Photo 8 : Lame mince de stalagmite vue au microscope en lumière naturelle. On observe une lamine sombre (entre 2 lamines claires) épaisse de 0,1 mm constituée par de fins débris de sols et de roches. Gouffre TV1, Platé, - 400 m, concrétion ancienne de > 400 000 ans. (éch. R. Maire).

Thin section of a contaminated speleothem ("Désert de Platé", Haute-Savoie, Fr.).



petites billes d'oxydes de fer. On reconnaît ces dernières à la couleur brun-sombre ou noire de leur surface et à leur aspect brillant (photo 7). A l'intérieur, ces billes sont de couleur brun ou rouille. Composées essentiellement de fer, leur poids est nettement supérieur aux autres éléments. Enfin un certain nombre ont des propriétés ferro-magnétiques et sont attirés par l'aimant.

Dans les Préalpes, ces remplissages recèlent également des fragments de silix très altérés, se présentant sous la forme de fragments polyédriques aux arêtes bien émoussées, de couleur blanche. Le silix altéré se reconnaît aux nombreuses micro-cavités et à sa fragilité : il s'effrite quand on le broie entre les doigts et ne réagit pas à l'acide.

En théorie, ces remplissages très altérés ne recèlent pas d'éléments carbonatés et ne font donc pas effervescence à l'acide. Cependant, des graviers calcaires ont pu être incorporés lors du transport souterrain des altérites, si bien que le test à l'acide n'est pas infaillible. Néanmoins, l'effervescence n'est jamais forte. Si ces remplissages sont en place, ils reposent directement sur le sol. Ces dépôts sont parfois continus, mais la plupart du temps ils n'ont été conservés que dans les zones en creux, à l'abri du courant. Lorsqu'ils n'affleurent pas directement, ils sont recouverts de concrétions, ou bien de dépôts glaciaires ou périglaciaires.

Au Tertiaire, les climats chauds et humides présents sous nos latitudes ont été responsables d'une intense altération chimique des roches. Des étages entiers de roches qui couvraient les massifs calcaires ont ainsi été digérés totalement ou partiellement par l'altération et l'érosion ; c'est le cas des calcaires sénoniens dans les Préalpes, du flysch à la Pierre Saint-Martin, etc. La plupart des composants minéralogiques ont disparu, seuls les plus résistants sont restés sur place, tels les quartz. Ils étaient emballés dans une matrice issue des résidus

d'altération, composée essentiellement d'argiles et d'oxydes de fer. L'ensemble formait un niveau meuble, parfois induré par le fer, qui recouvrait les karsts, nommé "couverture d'altérites". Lors des périodes de soulèvement, principalement à la fin du Tertiaire, ou lors des premières glaciations à l'aube du Quaternaire, ces couvertures ont été soumises à une puissante érosion. La plupart du temps elles ont été décapées et ont disparu. Actuellement, leur présence en surface dans les karsts de montagne ayant subi de puissantes glaciations est extrêmement discrète, et ne peut être décelée qu'avec un œil exercé. En revanche, lors de leur érosion, une bonne partie de ces altérites ont transité par le karst, grâce aux eaux d'infiltration. Les particules les plus fines ont souvent été emportées par les écoulements, mais les graviers plus lourds, surtout lorsqu'il s'agissait de fer, ont été facilement piégés dans les galeries.

Les cavités alpines se sont formées en majorité lors de cette période charnière de la fin du Tertiaire, en liaison avec l'important soulèvement des Alpes. Elles ont continué d'évoluer au Quaternaire sous l'effet des glaciations (MAIRE, 1990 ; BIENFAIT, 1991 ; AUDRA, 1994). Quelques autres se sont creusées toutefois uniquement au cours du Quaternaire, cas de certaines pertes situées par exemple en bordure d'affleurements imperméables (ex : gouffre de Rivière Enverse sur le Désert de Platé, Haute-Savoie). Ces cavités récentes ne renferment pas de vieilles altérites.

Dans un tel contexte spéléogénétique, on considère ces altérites remaniées comme des remplissages qui se sont mis en place lors de la formation des cavités, dont le creusement était contemporain de l'érosion des couvertures d'altérites superficielles. Ce schéma d'évolution semble général pour la plupart des karsts de montagne. On le retrouve dans les Pyrénées (MAIRE et QUINIF, 1989), les Picos de Europa (FERNANDEZ GIBERT

et al., 1994), pour ne citer que quelques exemples. Leur découverte sous terre est capitale pour la compréhension de l'évolution des réseaux de montagne, la plupart de ces couvertures ayant entièrement disparu de la surface. Pour le spéléologue, ces sédiments, lorsqu'ils sont abondants et présents dans des galeries aujourd'hui sèches et perchées, peuvent indiquer qu'ils sont en présence de vieux réseaux, probablement antérieurs au Quaternaire. Il faut néanmoins prendre garde de ne pas tirer de telles conclusions dès que l'on trouve quelques billes de fer dans une vasque au pied d'un puits. En effet, les écoulements actuels continuent de remanier ces anciens dépôts, que l'on trouve également dans des réseaux plus récents, mais en quantité beaucoup plus restreinte.

B. Les concrétions souterraines (ou spéléothèmes)

Les concrétionnements souterrains englobent toutes les formations liées à la précipitation, sous forme de calcite, du carbonate de calcium contenu en solution dans les eaux de percolation. Les plus courantes sont les stalactites et stalagmites, mais également les planchers, les gours, etc. La formation des concrétions dépend de l'activité du couvert végétal, qui influe sur l'intensité de la dissolution. De fait, leur croissance dépend directement du climat régional (QUINIF, 1992). Actuellement, il ne se forme pas de concrétions dans les karsts de montagne dénudés, dont l'environnement climatique est trop rigoureux. Inversement, les karsts forestiers ou semi-forestiers de moyenne altitude, tels les plateaux calcaires environnant le massif Central (Ardèche, Garrigues, Grands Causses) ou les parties forestières des massifs préalpins (Vercors, Bauges...), sont bien connus pour la richesse de leurs concrétions, qu'elles soient actives, ou plus anciennes.

Les spéléothèmes constituent donc un outil performant pour les études des anciens climats (cf. QUINIF, GENTY et MAIRE, 1994). Ainsi, l'absence de concrétion est interprétée comme un indice de milieu froid, leur présence indiquant au contraire un climat chaud ou tempéré. D'autres causes peuvent également empêcher la croissance de concrétions : les tubes du célèbre réseau de Peyrejal (Ardèche), balayés par des flots tumultueux lors des crues, sont exempts

de concrétions, pour des raisons mécaniques et non pas climatiques ! En revanche, des concrétions abondantes en haute montagne seront un indice certain d'une évolution dans le cadre d'anciens climats beaucoup plus chauds.

L'aspect cristallin renseigne sur les caractéristiques du milieu de formation (MAIRE, 1990). Il s'observe sur les sections de concrétions brisées (choisir celles qui le sont déjà, plutôt que d'en casser !). Une calcite transparente sera synonyme d'une croissance sous une couverture végétale épaisse (photo 8). Cette couverture joue le rôle de filtre et bloque la descente des particules solides en profondeur. De plus, elle fournit des eaux très incrustantes, susceptibles d'engendrer une croissance rapide. C'est notamment le cas des vieilles concrétions de la grotte Vallier datant de la fin du Tertiaire, où le climat était chaud. Cet aspect est également un gage d'ancienneté, puisque de telles conditions de climat et de végétation n'ont pas régné en montagne depuis bien longtemps. Les concrétions se formant actuellement en climat méditerranéen ou tempéré doux présentent également cet aspect cristallin transparent, comme à la grotte de Clamouse (Hérault) ou aux grottes de Choranche (Vercors).

Inversement, la présence d'impuretés rougeâtres ou brunâtres, la succession

de multiples micro-lits de croissance, trahissent une formation dans un milieu en déséquilibre (photo 8). Ce déséquilibre se traduit par une infiltration des particules de sols dans le karst et de fréquentes interruptions ou ralentissement du concrétionnement. Ces marques d'un accroissement de l'érosion superficielle pourront signifier que l'on a affaire à une période de soulèvement, ou bien un refroidissement climatique. Les déforestations historiques ou récentes, liées aux activités humaines sur les karsts de moyenne et de basse altitude, sont également enregistrées dans les concrétions de manière similaire, par un soutirage des sols dans l'endokarst et leur enregistrement dans les stalagmites (JAKUCS, 1987).

L'étude de l'aspect de la surface des concrétions permet de mettre en évidence des phénomènes postérieurs à leur croissance. Une surface érodée signifie que la cavité est revenue à un régime d'écoulement abondant, postérieur à la phase de concrétionnement (photos 3 et 9). La plupart des concrétions des cavités d'âge tertiaire recèlent de telles marques. Dans le Tennengebirge (Autriche), les stalagmites érodées des cavités tertiaires, telle l'Eisriesenwelt, prouvent l'existence de cycles climatiques complexes au cours de cette période, où de puissants écoulements alternaient avec des assèchements et une reprise du concrétionnement. De manière

comparable, la plupart des grands réseaux recèlent des concrétions qui ont été érodées par une réactivation des réseaux lors des glaciations (grotte de Niaux-Lombrives, réseau de la Pierre Saint-Martin, gouffre Berger...).

Rappelons que les lamines de croissance des concrétions souterraines ont une signification temporelle précise. Ainsi chaque couple de lamines (1 claire + 1 sombre), comme les cernes des arbres, équivaut à une année avec une précipitation différenciée entre la saison chaude et la saison froide. Ce phénomène a été bien démontré par GENTY (1993) dans l'étude de concrétions parfaitement datées se développant dans des tunnels artificiels. Par la simple méthode du comptage des lamines, et pour une stalagmite active, il est ainsi possible de remonter dans le temps et d'étudier les vicissitudes de croissance liées aux fluctuations climatiques récentes (Petit Age Glaciaire) et aux actions anthropiques (déforestation) au cours des derniers siècles ou millénaires.

Enfin, l'observation de concrétions (ou plus généralement de remplissages) inclinés ou fracturés, quand le phénomène n'est pas lié au simple tassement de leur soubassement, met en évidence des mouvements "récents", postérieurs à la formation de la cavité et au dépôt de ces remplissages. Des mouvements d'extension, de compression ou de glissement sont aisément observables (photo 10 ; AUDRA, 1991, 1994). L'inclinaison anormale des concrétions peut également servir de "pendule" pour reconstituer d'anciens mouvements sismiques (FORTI et POSTPICHL, 1985). De manière plus complexe, la mise en rapport de l'ensemble des mouvements mis en évidence par ces types d'observations, et rapportés à l'ensemble d'un massif karstique, peuvent permettre de reconstituer l'évolution d'un réseau en fonction de l'histoire tectonique régionale (BINI *et al.*, 1992 ; JEANNIN, 1990).

Ainsi, en l'absence de datations absolues, malheureusement coûteuses, on peut néanmoins obtenir de précieuses informations sur l'ancienneté ou sur l'époque présumée de la formation des concrétions, mais aussi sur l'activité des réseaux souterrains et la succession des phases d'écoulement abondant et de concrétionnement. Néanmoins, cela ne dispense pas d'une vérification des hypothèses par des datations, quand on en a les moyens...

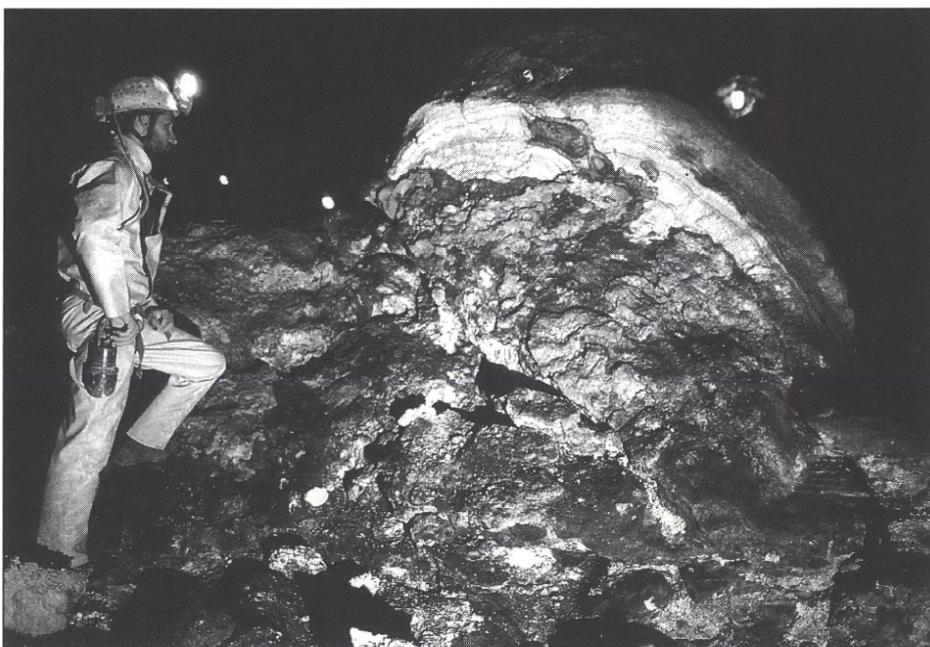


Photo 9 : Grotte de La Balme. Le "Dromadaire", grosse stalagmite altérée, rabotée par le courant (photographie S. Caillault).

La Balme cave (meridional Jura). The "Dromedary", a large altered stalagmite polished by the current (photograph by S. Caillault).

Photo 10 : Grotte Vallier. Varves carbonatées, initialement horizontales, pliées en accordéon par la néotectonique. Le compartiment de droite, où se situe la montre, est affecté par un soulèvement relatif de plusieurs dizaines de centimètres. Vallier cave (Vercors). Carbonated varves, initially horizontally layered, folded in an accordion manner by neotectonics. The right compartment, where lies the watch, is affected by a uplift of several decimeters.



CONCLUSION

Les remplissages ne constituent pas seulement des éléments participant au colmatage des cavités, qui interrompent trop fréquemment de belles explorations. Leur interprétation permet aussi de comprendre mieux une cavité, un massif, ce qui est le souhait de tous les spéléologues qui s'attachent à l'exploration méthodique d'un secteur, la plus exaltante, car la plus riche de découvertes en tous genres. Et puis, la meilleure compréhension d'une cavité permet très souvent de trouver la suite ! Il n'est pas opportun de développer ici des exemples amplement traités par ailleurs, mais l'on peut se rendre compte que la simple observation des remplissages, certes minutieuse, peut livrer des informations considérables sur un réseau (AUDRA, 1992). Le cas de l'ancre de Vénus, en Vercors, dont l'étude des sédiments a été abordée selon cette approche est particulièrement exemplaire (DELANNOY, 1991). Et l'on n'oubliera pas que la plupart des problèmes peuvent très souvent se résoudre par des analyses très simples ; le recours aux laboratoires sophistiqués n'est un passage obligé que dans de rares cas, lorsqu'il s'agit d'éclaircir définitivement un aspect.

NB : les observations de J. Nicod recommandaient, entre autres, de citer les travaux de KRANJC (1979 : The influence of Man on cave sediments. *Actes du symposium sur l'érosion karstique*, Aix-Marseille-Nîmes, p. 177-123), à propos des dépôts archéologiques situés dans les dépôts torrentiels récents, que j'ai également pu observer couramment dans l'Entre-deux-Mers. Je n'ai pas retenu cet aspect, qui bien que très important, s'intègre difficilement dans cette note sur les remplissages spécifiques aux karsts de montagne.

BIBLIOGRAPHIE

- AUDRA Ph. 1991 - Néotectonique à la grotte Vallier (Vercors, Isère, France). *Première Rencontre d'octobre, Paris, Spéléo-Club de Paris*, p. 8-10.
- AUDRA Ph. 1992 - La grotte Vallier (Vercors, Isère). Premiers résultats stratigraphiques. *Actes des Journées Pierre Chevalier, Grenoble, Spéléo-Club de Paris*, p. 81-93.
- AUDRA Ph. 1994 - Karsts alpins. Genèse de grands réseaux souterrains. Exemples : le Tennengebirge (Autriche), l'île de Crémieu, la Chartreuse et le Vercors (France). *Thèse à l'Université J. Fourier - Grenoble I, Karstologia Mémoires*, n° 5, 280 p.
- BIENFAIT P. 1991 - Karstification et évolution paléogéographique du Jura. *Karstologia*, n° 17, p. 19-30.
- BINI A., QUINIF Y., SULES O. et UGGERI A. 1992 - Les mouvements tectoniques récents dans les grottes du Monte Campo dei Fiori. *Karstologia*, n° 19, p. 23-30.
- CAMPY M. 1990 - L'enregistrement du temps et des climats dans les remplissages karstiques : l'apport de la sédimentologie. *Actes du Colloque "Remplissages karstiques et paléoclimats"*, Fribourg, 1989, *Karstologia mémoires*, n° 2, p. 61-62.
- DELANNOY J.-J. 1991 - Apport de l'endokarst dans la reconstitution morphogénique d'un karst. Exemple de l'ancre de Vénus (Vercors, France). *Actes du IXe congrès national de spéléologie, Charmey, Société Suisse de Spéléologie*, p. 293-300.
- EK C. et QUINIF Y. 1988 - Les sédiments détritiques des grottes, aperçu synthétique. *Colloque international de sédimentologie karstique, Han-sur-Lesse, 1987, Annales de la Société Géologique de Belgique*, t. 111, p. 1-7.
- FERNANDEZ GIBERT E., PALOMARES M., ROSSI C. et TORTOSA A. 1994 - Analisis de procedencia en arenas karsticas : evidencia de una cobertura permotriásica erosionada en el macizo occidental de Picos de Europa. *Actas del I congreso internacional sobre Picos de Europa, Oviedo 1991, Federación Asturienne de Spéléologie*.
- FORTI P. et POSTPICHL D. 1985 - Relazioni tra terremoti e deviazione assi di accrescimento delli stalagmiti. *Le Grotte d'Italia*, n° 4, t. XII, p. 287-303.

- GAMEZ P. 1980 - Techniques sédimentologiques applicables au domaine souterrain. *Spéleo L. Ligue spéléologique de Lorraine, Nancy*, n° 12, p. 177-206.
- GENTY D. 1993 - Mise en évidence d'alternances saisonnières dans la structure interne des stalagmites - Intérêt pour la reconstitution des paléoenvironnements continentaux. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 317, II, p. 1229-1236.
- GEWELT M. et EK C. 1988 - Les concrétions carbonatées des grottes : aperçu synthétique. *Colloque international de sédimentologie karstique, Han-sur-Lesse, 1987, Annales de la Société Géologique de Belgique*, t. 111, p. 9-19.
- JAKUCS L. 1987 - Acid atmosphere pollution. *Acta geographica*, t. XXVII, p. 3-38, Szeged.
- JEANNIN P.-Y. 1990 - Néotectonique dans le karst du nord du lac de Thoune (Suisse). *Karstologia*, n° 15, p. 41-54.
- MAIRE R. 1980 - Eléments de spéléologie physique. *Spéunca spécial*, n° 3, 56 p. Fédération française de spéléologie, Paris.
- MAIRE R. 1990 - La haute montagne calcaire. *Thèse d'Etat, Univ. de Nice, Karstologia Mémoires*, n° 3, 731 p.
- MAIRE R. et QUINIF Y. 1989 - Les remplissages de la galerie Aranzadi. *Bulletin de l'Arstip (Association de recherches spéléologiques internationales à la Pierre Saint-Martin)*, n° 16.
- MAIRE R. et QUINIF Y. 1990 - Les conglomérats souterrains. Morphologie, genèse et âges U / Th d'après quelques exemples alpins et pyrénéens. *Spéleochronos*, n° 2, p. 3-11, Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Karst (CERAK), Mons.
- QUINIF Y. 1992 - L'apport des méthodes de datation absolue : la méthode Uranium / Thorium. *Actes des Journées Pierre Chevalier, Grenoble, Spéléo-Club de Paris*, p. 248-260.
- QUINIF Y., GENTY D. et MAIRE R. 1994 - Les spéléothèmes : un outil performant pour les études paléoclimatiques. *Bull. Soc. géol. France*, t. 165, p. 603-612.
- RENAULT Ph. 1990 - Réflexions sur la notion de remplissages karstiques. *Actes du Colloque "Remplissages karstiques et paléoclimats"*, Fribourg, 1989, *Karstologia Mémoires*, n° 2, p. 61-62.