

vides qu'elle avait précédemment creusés sous terre.

Les variations de la température, la pression partielle du dioxyde de carbone, la solubilité de la roche, la teneur de la roche en carbonates, le débit de l'eau, déplacent l'équilibre dans le sens de la précipitation du calcaire, provoquant alors le dépôt de concrétions.

Les formes des concrétions

On est toujours surpris par la profusion et le polymorphisme des concrétions des grottes. Le concrétionnement n'est qu'une précipitation de carbonate de calcium, mais une précipitation au sein d'une eau circulante. Aussi le concrétionnement est-il un phénomène dynamique, et ses formes multiples sont contrôlées par un ensemble de facteurs : (1) la position dans la cavité souterraine du point de percolation de l'eau : plafond, sol, parois, bassins immergés, etc. ; (2) le débit de l'eau de concrétionnement : circulation capillaire en film d'eau, écoulement en goutte à goutte, ruissellement en cascade, etc. ; (3) les paramètres de porosité-perméabilité de la roche, qui influent sur les modes de circulation de l'eau de concrétionnement et sur la vitesse de percolation.

Parmi ces facteurs, le critère «débit et mode de circulation de l'eau» est majeur et sert de base à une première classification des concrétions. On distingue ainsi deux grands types de concrétionnements : (1) le concrétionnement à débit d'eau contrôlé par les forces de gravité, d'organisation essentiellement verticale, horizontale ou oblique, en fonction du profil des parois de la grotte. C'est le concrétionnement classique des grottes. La forme et l'importance des concrétions sont principalement déterminées par le débit d'eau qui les alimente (voir la figure 2).

Ainsi, un débit goutte à goutte lent favorise la formation de stalactites au plafond, un goutte à goutte rapide ne permettra que la formation de stalagmites au sol, avec un faible dépôt au plafond. Cette cinétique du concrétionnement détermine les formes des concrétions en écoulement : draperies, coulées et cascades stalagmitiques, planchers stalagmitiques, stalagmites, colonnes, disques, etc.

Le concrétionnement à débit d'eau très réduit, soumis à des forces capillaires et de tension superficielle, se

développe dans toutes les directions de l'espace. Ce type est désigné sous le terme général d'«excentrique», lequel traduit l'anormalité des concrétions. Il présente de très nombreuses formes cristallines, en général très belles : cristaux en aiguilles, coralloïdes, touffes, efflorescences, etc.

En climat humide, le concrétionnement de pesanteur à grand débit d'eau est favorisé, alors qu'en climat sec et confiné, le concrétionnement capillaire se développe. Les formes de concrétionnement sont ainsi une première approximation des alternances climatiques.

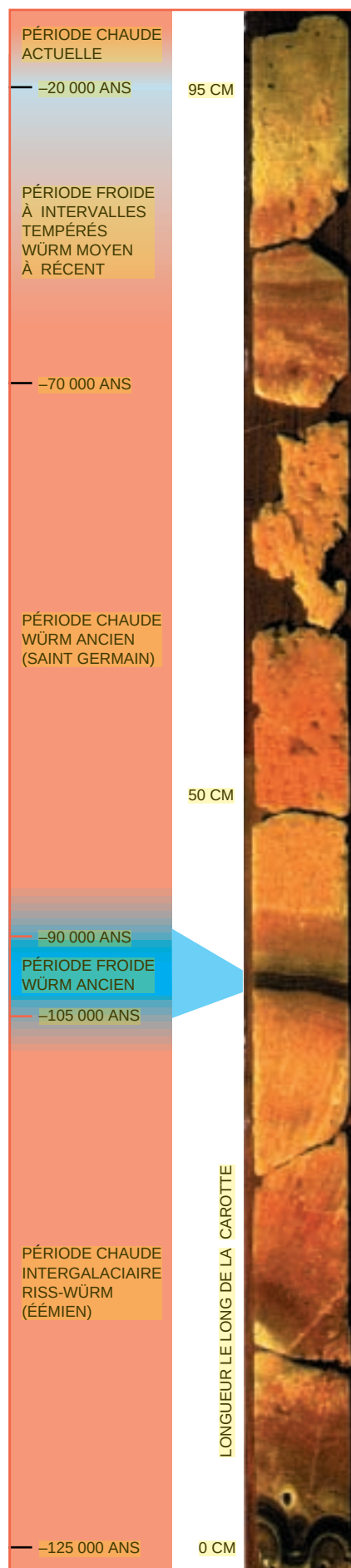
Concrétions et paléoclimats

La nature, la composition chimique et la texture de la roche calcaire d'un site ne changent guère avec le temps, mais tous les autres facteurs (température, débit de l'eau, CO₂, etc.) sont liés et dépendent du climat qui règne sur le massif calcaire où se situe la grotte. Aussi les structures des concrétions retracent-elles les variations climatiques et permettent-elles de les identifier.

Pendant une même phase climatique qui dure parfois plusieurs dizaines de milliers d'années, le concrétionnement reste continu, homogène, avec développement des mêmes types de concrétions. Lorsque les conditions climatiques sont telles que l'apport d'eau est réduit, la vitesse du concrétionnement diminue et le dépôt peut même s'arrêter complètement pendant de très longues périodes. Cet arrêt des dépôts se marque généralement dans les concrétions par des couches de coloration brune dues à des oxydations et à des corrosions de la surface des concrétions.

Les périodes de non-concrétionnement sont souvent plus longues que celles pendant lesquelles les concrétions se développent. Les arrêts de concrétionnement indiquent des dégradations climatiques (froid ou sèche-

4. TROIS PÉRIODES DE CONCRÉTIONNEMENT apparaissent sur cette carotte prélevée dans un plancher stalagmitique. Elles sont séparées par des arrêts de concrétionnement soulignés par de petits niveaux brunâtres. On repère ainsi la succession des alternances climatiques au cours des derniers 120 000 ans. Remarquons que le temps de non-concrétionnement est supérieur au temps de concrétionnement (grotte de Clamouse, travaux d'Yves Quinif, Faculté de Mons, Belgique).



resse). Pendant le Quaternaire, ils ont spécifiquement marqué les périodes froides ou glaciaires.

Le système cristallin reflète aussi les conditions du dépôt. Le carbonate de calcium cristallise selon deux systèmes minéralogiques : la calcite, forme la plus courante, et l'aragonite, beaucoup plus rare. L'aragonite se dépose préférentiellement lorsque l'alimentation en eau est réduite et en présence de magnésium existant dans certains types de roches carbonatées (dolomies, calcaires dolomitiques, calcaires minéralisés).

La présence d'aragonite est l'indice d'un confinement, par exemple une phase climatique sèche. Dans des cas favorables, on observe le passage aragonite-calcite plusieurs fois répété dans une même concrétion. Ces passages indiquent des fluctuations climatiques «humides-moins humides», intéressantes pour l'étude et l'identification des paléoclimats.

Les divers processus de formation des concrétions, leurs significations paléoclimatiques ainsi que l'interprétation des formes constituent une approche intéressante, mais qui ne permet d'aborder que la succession de diverses phases de concrétionnement ou de dépôts détritiques, c'est-à-dire une chronologie relative.

Les datations des concrétionnements

La datation absolue est obtenue par la mesure des concentrations en éléments radioactifs dont la demi-vie est connue. Dans les méthodes directes, on utilise la désintégration radioactive d'un élément dont on connaît par ailleurs la demi-vie. On mesure les concentrations de l'isotope radioactif et de ses produits de désintégration et on détermine ainsi la date de formation de la concrétion où l'isotope a été piégé. Le carbone 14 est utilisé jusqu'à 40 000 ans environ, l'uranium thorium jusqu'à 350 000 / 400 000 ans, l'oxygène 18 fournit essentiellement des datations concernant les paléotempératures.

Les méthodes indirectes mesurent des émissions par les objets étudiés après qu'ils ont été soit chauffés (thermoluminescence), soit soumis à un bombardement électromagnétique. Cette dernière méthode permet des datations dépassant largement les 500 000 ans, mais la fiabilité des résultats reste incertaine.

Les méthodes d'analyses naturelles mettent à profit les propriétés des sédiments. Ainsi la mesure de l'aimantation des particules de fer piégées dans les sédiments indique leur polarité magnétique lors de leur cristallisation, ce qui permet de les situer dans l'échelle paléomagnétique terrestre et d'approcher leur âge.

Une autre méthode est la datation par palynologie. L'eau de concrétionnement contient des spores et des pollens qui peuvent être piégés et conservés dans les concrétions. Leur détermination précise l'environnement climatique et l'âge du dépôt si l'on dispose d'une échelle palynologique calée pour la région étudiée. Cette méthode, développée par Bruno Bastin, est limitée par la difficulté d'extraction des pollens et par leur faible concentration dans les concrétions.

Dans certains types de concrétions (stalagmites, planchers stalagmitiques), on observe de fines lamines de dépôts successifs. Il se dépose deux

lamines par an, l'une au printemps et l'autre en automne ; elles se distinguent par la couleur qui caractérise la calcite formée : calcite compacte brune, calcite diffuse plus claire. Ces lamines, ainsi liées au cycle végétatif, rappellent les cercles de croissance des arbres. Le comptage des lamines apporte des datations précises sur les dernières centaines d'années, voire sur les derniers millénaires. Ces études, développées sous la direction de Dominique Genty (CNRS), complètent la panoplie analytique des moyens de datation.

Structure des concrétions et sismicité passée

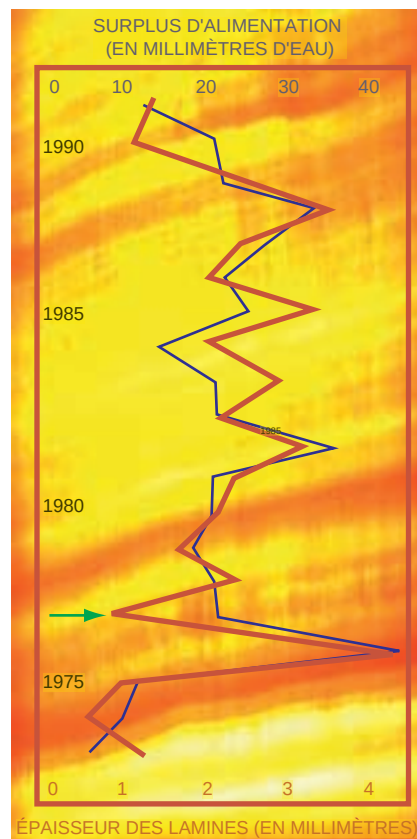
Les concrétions enregistrent, nous l'avons vu, les climats anciens, mais aussi les séismes passés.

Ces dernières années, les sismologues ont essentiellement utilisé les données de la sismicité historique ou instrumentale pour évaluer les dangers et la probabilité d'occurrence des tremblements de terre majeurs. Ils partent du principe que, d'une part, les séismes historiquement recensés dans une région sont représentatifs de son activité sismique au cours d'une période et que, d'autre part, les séismes majeurs surviennent là où ils se sont déjà produits.

Malheureusement pour les spécialistes des sciences de la Terre et heureusement pour les populations, dans les régions éloignées des limites des plaques tectoniques, les phénomènes géologiques sont lents. En Europe occidentale, la période couverte par les catalogues de sismicité historique (moins de 1 000 ans pour la France) ne constitue pas un laps de temps suffisamment représentatif de l'activité sismique d'une région. En effet, la mise en évidence récente de traces de paléoséismes majeurs ayant affecté l'Europe occidentale depuis moins de 100 000 ans montre que celle-ci n'est pas à l'abri de tremblements de terre, importants mais rares.

L'objectif des études de paléosismicité est d'identifier ces séismes majeurs et de quantifier leur magnitude et leur période de retour (récurrence). Pour ce faire, les géologues recherchent des évidences de mouvements récents le long des failles et les traces des effets de ces séismes sur le milieu naturel.

Protégées de l'érosion, les grottes sont des sanctuaires privilégiés qui



5. COMPARAISON DE L'ÉPAISSEUR des lamines et de l'excès d'alimentation en eau sur une stalagmite du tunnel de Godderville (Belgique). L'année de la sécheresse, 1976, apparaît clairement, et l'année précédente fut particulièrement pluvieuse. Sur 20 ans, la corrélation est bonne (mesures de Dominique Genty et Yves Quinif).