

Le Mémento de l'initiateur Fédéral de Spéléologie

Les Cahiers de L'E.F.S N°16



INCITATION À LA DÉCOUVERTE
ET LA CONNAISSANCE
DU MILIEU SOUTERRAIN



Fédération Française
de Spéléologie

QUELQUES PISTES ET ÉLÉMENTS POUR UNE INITIATION

P.-M. ABADIE

Mémoire d'Instructeur 2010

Un milieu fragile qu'il faut protéger

Les hommes n'ont jamais autant fréquenté les grottes qu'au cours du demi-siècle écoulé. Or le milieu souterrain, immuable à l'échelle humaine, conserve pendant des milliers d'années les marques laissées par les visiteurs. Il est donc de la responsabilité de la communauté spéléologique de veiller à la protection de cet environnement si fragile. La trace de la botte du «spéléo» d'aujourd'hui peut avoir la même pérennité que ces émouvantes empreintes de pas préhistoriques que l'on a découvertes sous terre, dans la grotte ariégeoise de Niaux, par exemple.

Les problèmes liés à l'environnement concernent autant la qualité des eaux souterraines, dont la pollution par les nitrates atteint dans certaines régions des valeurs inquiétantes, que les aspects liés à l'aménagement du territoire. Il est malheureusement fréquent que l'extension de l'urbanisation sur les milieux karstiques tout comme l'utilisation de gouffres comme décharges sauvages aboutissent à une dégradation des eaux souterraines.

Le travail de formation entrepris par la Fédération Française de Spéléologie depuis de nombreuses années a amené à une prise de conscience des spéléologues sur la nécessité des actions de conservation du milieu. Il n'est pas rare à présent de les voir baliser leur cheminement pour éviter de fouler des sols vierges et les opérations de remise en état de grottes ayant subi des dégradations sont devenues courantes.

La vulnérabilité et la richesse du patrimoine souterrain naturel doivent conduire à développer une spéléologie de recherche et d'exploration et à y pratiquer les activités sportives dans les règles de respect du milieu. C'est un des rôles de l'initiateur fédéral de spéléologie que de transmettre cette notion de respect du milieu, ainsi que les bases culturelles nécessaires à la compréhension de cet environnement souterrain.

Il reste, sur notre planète, des lieux inexplorés

L'exploration est le but premier de la spéléologie, qui, dans cet aspect, doit être considérée comme une branche de la géographie. Les spéléologues, au nombre d'environ 7500 en France, sont organisés en clubs régionaux, rassemblés au sein de la Fédération Française de Spéléologie. Si la plupart pratiquent surtout la visite de cavités, avec une motivation d'abord sportive, c'est dans leurs rangs que se recrutent les spéléologues explorateurs. C'est leur soif de connaissances et le besoin de découvrir qui guident leurs pas sous terre.

L'exploration scientifique est basée principalement sur des mesures et des observations dans des cavités nouvelles ou déjà connues. C'est une activité pleine d'avenir, car nos connaissances et les moyens d'étude dont nous disposons sont très supérieurs à ceux des premiers explorateurs.

NOTES PERSONNELLES :



Une bonne formation avant tout

Progressivement améliorées en sécurité, efficacité et confort, les techniques modernes dites de la spéléologie alpine, créées au début des années 1970, ont grandement contribué à l'essor de l'exploration souterraine.

Comme tous les sports de nature, la spéléologie comporte des risques. La meilleure des façons de limiter ces risques est d'assurer une bonne formation aux pratiquants. C'est le rôle de l'École Française de Spéléologie et de ses cadres brevetés. Le premier niveau de cadre, l'initiateur, permet de toucher le plus grand nombre de pratiquants et de donner des conseils tant sur le plan technique que sur celui de la connaissance du milieu.

C'est ce dernier domaine qui est l'objet de ce document.

- Comment mener une belle exploration et en rapporter ses observations ?
- Quelles sont les connaissances essentielles ?
- Comment les présenter ?
- Dans quel ordre ?
- Pour quel public ?

Une petite partie des réponses à ces questions se trouve dans ce document. Sa lecture doit vous préparer à la partie formation de votre stage d'initiateur fédéral. Lors des journées d'encadrement et de la journée consacrée à l'observation, à la topographie et à la karstologie,

vous utiliserez ces connaissances dans le milieu souterrain. Les cadres de ce stage vont compléter ce document par les connaissances qu'ils apporteront lors des soirées et des sorties sous terre. Les zones de NOTES PERSONNELLES, sont là pour vous permettre de noter ces apports de connaissances.

Il s'agit de vous donner l'envie d'observer et de faire partager ces observations. Il n'est pas question de demander de les interpréter... Même les scientifiques les plus éminents ne sont pas d'accord sur l'origine ou la cause de certains phénomènes. Cependant si vous avez envie d'aller plus loin, il existe le stage « équipier scientifique », proposé au calendrier des stages, qui comblera sûrement une partie de vos attentes.

Figure 1. Formes de dissolution de la roche en plafond appelées pendants. Ces formes résultent d'un état antérieur de la cavité où l'eau circulait lentement. Bornéo.

©Dave Bunnell



La structure de ce document

Par quelle entrée aborder ce vaste sujet ? Quels thèmes évoquer ? Dans quel ordre ? Les chapitres doivent-ils être lisibles indépendamment ? Autant de questions auxquelles je n'ai pu répondre que par un compromis.

En premier, plantons le décor :

- La formation de notre terrain de jeu
- Son évolution
- Ses caractéristiques

En second, évoquons :

- Ce que l'on y trouve
- Ce que l'on peut y faire.

En résumé, nous irons du GLOBAL vers le DETAIL, du CONTENANT au CONTENU, d'une échelle des temps GEOLOGIQUES à celle du MONDE VIVANT, de la MATIERE INTERNE à la MATIERE EN MOUVEMENT en passant par les ENERGIES provoquant les évolutions de ce milieu que nous aimons tant.

Vous découvrez ce document sous sa forme papier ou électronique librement distribuable. Le diagramme (figure 2) résume les principales grandeurs et matières évoquées précédemment et leur juxtaposition. Notez que le temps est une grandeur importante mais non représentée car intervenant sur des durées très différentes suivant les phénomènes auxquels nous nous intéresserons.

Gardez ce diagramme en tête pour bien vous rappeler que, même si les paragraphes et les chapitres qui suivent prennent ces éléments de façon séparée, il n'en demeure pas moins que le sujet qui nous intéresse embrasse toutes ces notions en même temps. Cette figure à la fois simple, car composée uniquement de cercles, et complexe en raison de la superposition de ceux-ci, veut mettre en évidence les interactions entre les différents facteurs et phénomènes agissant dans et autour du milieu souterrain.

Rien de ce qui suit ne doit être compris comme un déroulement linéaire d'évènements, même si la lecture vous y incite fortement.

Pour ne pas alourdir le texte de chaque paragraphe un GLOSSAIRE se situe en fin de document. Vous y trouverez un peu plus de développement ou d'éclaircissement sur certains termes utilisés. Ceux-ci seront identifiés par une écriture en MAJUSCULE.

Pour finir, précisons qu'il s'agit d'un document de vulgarisation qui ne se veut pas exhaustif. Pour celles et ceux qui souhaitent aller plus loin sur certains points, vous trouverez quelques pistes bibliographiques et « webographiques » en fin de document. Pour finir, je dirais que ce que peut apporter ce document est limité par la nature de son support papier. J'envisage de développer un petit site web et/ou une version cd-rom, où vous pourrez venir puiser des ressources plus « dynamiques » telles que schémas animés, diaporamas, vidéos...

Bonne lecture

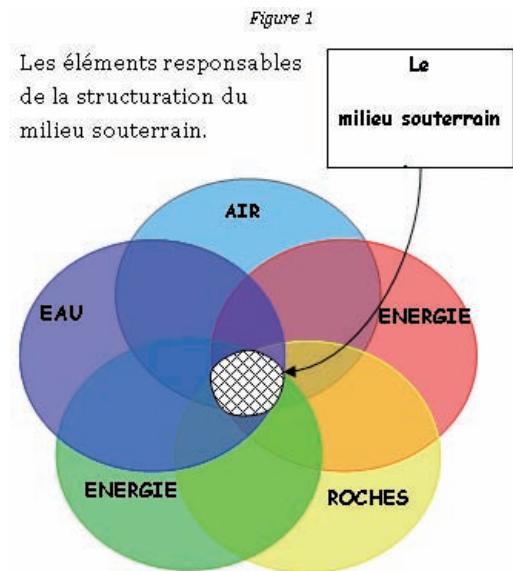


Figure 2. Les éléments responsables de la structuration du milieu souterrain.
Figure P.-M. Abadie



DE L'EAU

C'est par cet élément connu du plus grand nombre que nous allons entrer dans cette présentation.

Comme nous le verrons plus loin, l'eau est le principal agent responsable du creusement des cavités. L'eau que l'on trouve dans les grottes a plusieurs origines, mais nous n'en retiendrons qu'une : l'origine atmosphérique issue du cycle de l'eau (*Figure 3*).

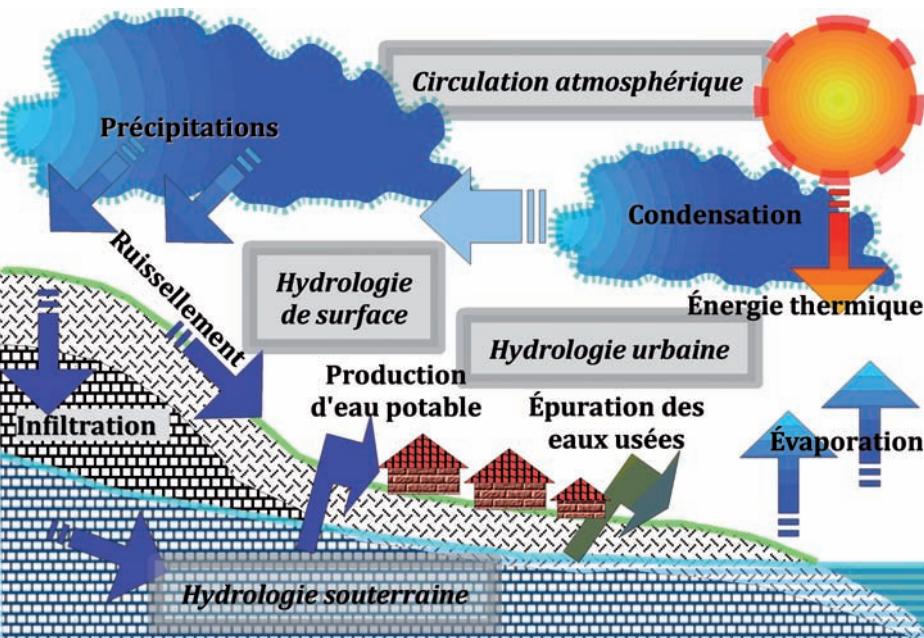


Figure 3. Cycle de l'eau.
P.M. Abadie d'après auteur inconnu.

Celui-ci démarre au niveau de la mer où l'eau, sous l'effet du soleil, passe de l'état liquide à l'état de vapeur d'eau. C'est l'évaporation. La vapeur d'eau s'élève dans l'atmosphère. En prenant de l'altitude nous dirons qu'elle a augmenté son énergie mécanique.

Au passage l'eau entre en contact avec le gaz carbonique qui est un constituant de l'atmosphère (moins de 1%). En effet, au contact de l'atmosphère, l'eau se charge en gaz carbonique, lui donnant un caractère d'acide faible (acide carbonique). Nous dirons qu'elle a augmenté son énergie chimique.

Quand l'eau repasse à l'état liquide (condensation) lors d'une précipitation, plusieurs chemins s'offrent à elle quand elle arrive au sol. Cette arrivée au sol est une occasion supplémentaire de renforcer son acidité, notamment avec les acides produits par les végétaux.

Par simplification du cycle de l'eau, nous n'évoquerons que le chemin pris par infiltration qui permettra la mise en contact et la pénétration, au plus profond des **ROCHES CALCAIRES**.

Ce sont de ces dernières dont nous parlerons principalement bien que le mécanisme d'infiltration de l'eau puisse se produire dans d'autres **ROCHES** : dolomie, évaporites...

Une partie de l'eau présente sous terre provient de la condensation de l'air. Nous le verrons brièvement dans le paragraphe « **LE CLIMAT DES GROTTES** ».

Nous voici en présence d'une eau présentant un caractère acide, et ayant acquis de l'altitude par rapport au NIVEAU DE BASE que constitue le niveau de la mer.

Son parcours souterrain au sein de la ROCHE va être évoqué dans les paragraphes suivants. A l'issue de ce parcours l'eau rejoint la mer, bouclant ainsi le cycle débuté plus haut.

Les eaux souterraines constituent le 3ème réservoir, après les océans et les calottes polaires. Les eaux infiltrées et circulant dans les ROCHES calcaires, ne représentent qu'une faible part de ce 3ème réservoir. Pourtant elles sont source d'une eau potable précieuse, de bonne qualité, bien que très sensible à la pollution. A l'heure où écologie et développement de l'humanité doivent cohabiter harmonieusement, les ressources en eau prennent une importance considérable.

C'est l'occasion de mieux faire connaître la spéléologie auprès du grand public. En effet qui mieux que le spéléologue peut suivre le parcours par infiltration du cycle de l'eau, au sein d'une masse calcaire ?

C'est par les connaissances que nous ramenons de nos incursions souterraines que nous pouvons participer au suivi, à la gestion et à la protection des ressources en eau issue des massifs calcaires.



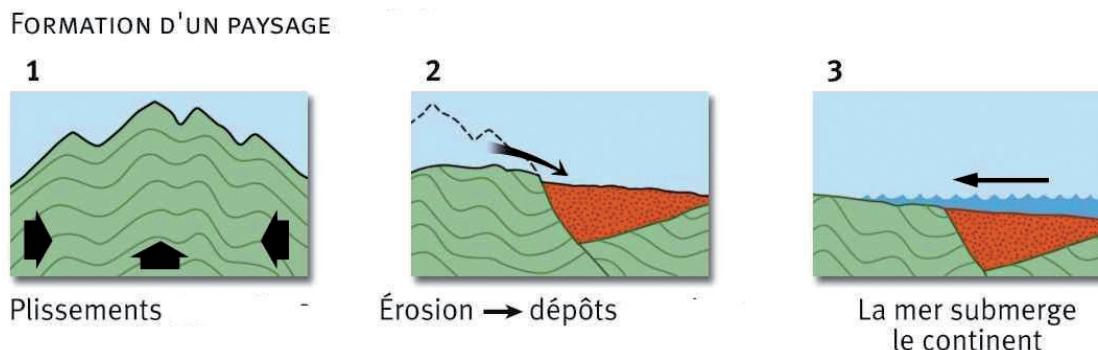
Figure 4. Ruisseau amont du Bufo Fret (Aude)
Cliché S. Jaillet. Stage EFS 2010.

DES ROCHES

Les ROCHES sont l'association de plusieurs MINERAUX. Cette association peut avoir différentes origines. Dans ce petit paragraphe nous ne parlerons que des ROCHES CALCAIRES (une « famille » des ROCHES SEDIMENTAIRES).

Ce sont surtout le calcaire (carbonate de calcium plus d'autres minéraux en proportion plus ou moins grande) et le GYPSE (sulfate hydraté de calcium naturel, appelé aussi pierre à plâtre). La dolomie (un carbonate double de calcium et de magnésium) est une autre roche sédimentaire dans laquelle le creusement des cavités peut s'opérer. Voici un exemple (figure 5) de formation d'un paysage géologique.

- **Phase 1 :** le mouvement des PLAQUES TECTONIQUES provoque le plissement des ROCHES en place et leur élévation.
- **Phase 2 :** L'érosion entre en jeu. Elle use progressivement les montagnes créées. Les ROCHES arrachées sont transportées plus bas.
- **Phase 3 :** Le niveau de la mer augmente, recouvrant la zone où les ROCHES s'étaient accumulées.
- **Phase 4 :** Des dépôts (SÉDIMENTS), pouvant avoir trois origines possibles (Voir glossaire) se créent au fond de la mer. Ils seront à l'origine de la création des différents calcaires, mais aussi d'autres ROCHES sédimentaires (voir légende figure 5).



D'après Pyrénées Magazine N°114
Avec l'aimable autorisation
Hélène Fuggetta

 **Roches sédimentaires de la famille des calcaires**
 **Autres roches sédimentaires**

- **Phase 5 :** Une nouvelle phase de mouvements TECTONIQUES se produit. L'augmentation de la pression et de la température au sein des ROCHES va les modifier. C'est sous leur influence que les calcaires vont finir leur évolution.
- **Phase 6 :** L'érosion a encore joué son rôle de « décapeur ». C'est le paysage que nous pouvons observer aujourd'hui. Ce paysage est constitué par des ROCHES en place à la phase 1, des ROCHES transportées et transformées lors de la phase 2 et des calcaires formés lors des phases 4 et 5.

Après la phase 4, on obtient des calcaires sans fissures, donc imperméables ! Le futur creusement sous l'action chimique de l'eau ne peut se faire sans le travail de plissement, d'étirement, de compression (phase 5 de la fig. 5), nécessaire à la fissuration de la ROCHE. Cette phase a également permis une élévation des masses rocheuses indispensable au futur écoulement de l'eau par GRAVITE.

L'érosion dans la phase finale (phase 6 de la fig. 3) permet ainsi aux fissures d'avoir un accès à l'air libre. En résumé, après sa formation, le calcaire est une ROCHE imperméable, mais les mouvements de l'écorce terrestre l'ont fissuré la rendant pénétrable par l'eau qui va s'en donner à cœur joie ! Notre pays est riche en zones calcaires, c'est pour cela qu'en regardant cette carte de France (figure 6) vous retrouverez des correspondances entre les massifs calcaires et de célèbres secteurs spéléologiques.

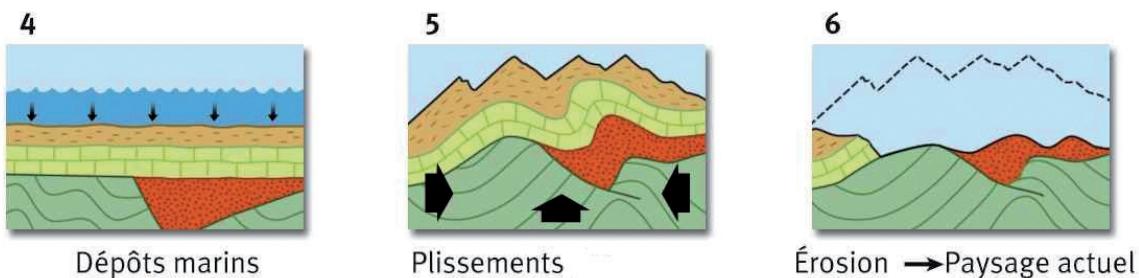


Figure 5. Evolution géologique d'un paysage

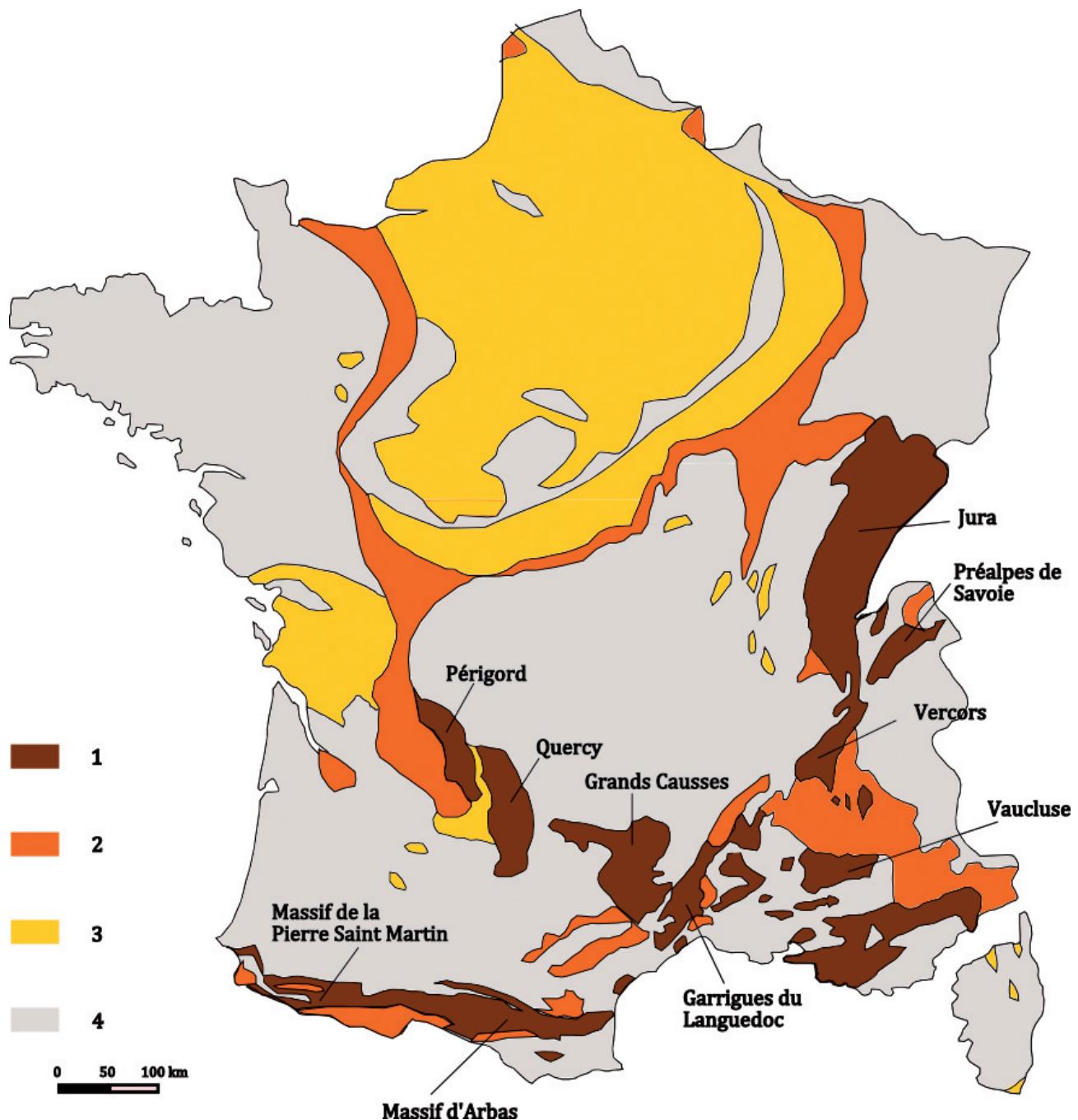


Figure 6. P.-M. Abadie d'après B. Gèze 1973.

Sur le territoire national cela se traduit par :

- Des zones très riches en réseaux (1 ; présences de calcaires compacts ou de DOLOMIES)
 - Des zones moyennement riches en réseaux (2 ; calcaires en bancs peu épais ou alternant avec des MARNES).
 - Des zones pauvres en réseaux (3 ; craie, MARNO-CALCAIRE...)
 - Des zones sans réseau (4 ; Pas de ROCHES sédimentaires permettant une dissolution).

Les zones repérées 1 recèlent des réseaux mythiques que tout spéléo a envie de voir une fois dans sa vie. La Henne Morte, le Verneau, l'Aven de Hures, le Trou qui Souffle, le Jean Nouveau, le Berger, les Vitarelles, Le Lonné Peyret, le Trou du Vent, traversée Garde-Cavale, Aven de Rogues...

A titre de jeu, questionnez votre entourage spéléologique pour situer les réseaux donnés dans la liste précédente, dans les massifs majeurs indiqués sur la carte.

NOTES PERSONNELLES :



L'EAU SOUTERRAINE

Les circulations souterraines ont des fonctionnements originaux. Elles utilisent les vides souvent d'origine TECTONIQUE (figure 8), créés par les mouvements de l'écorce terrestre, qui existent dans la ROCHE au niveau d'une fracture ou d'une limite entre STRATES (figure 7), en «choisissant» le chemin de moindre énergie, c'est-à-dire celui qui permet le meilleur débit avec le moins d'effort (figures 9 et 10). Si ces points faibles dans la ROCHE n'existaient pas, l'eau ne pourrait à elle seule s'y frayer un passage. De l'élargissement sélectif de certains vides TECTONIQUES résulte une «double circulation» de l'eau:

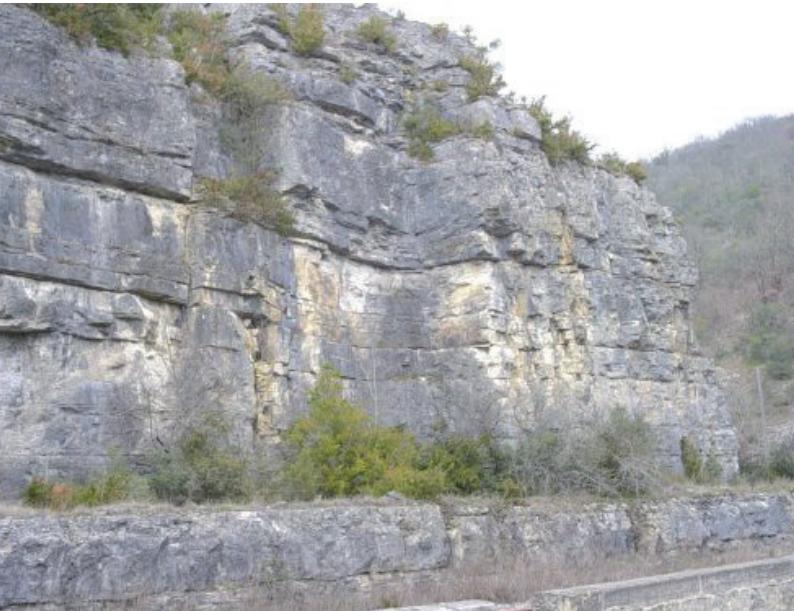


Figure 7. Strates calcaires -Dominique Jean
Exemple de STRATES calcaires horizontales. La limite entre deux couches de calcaire s'appelle un joint de STRATE.

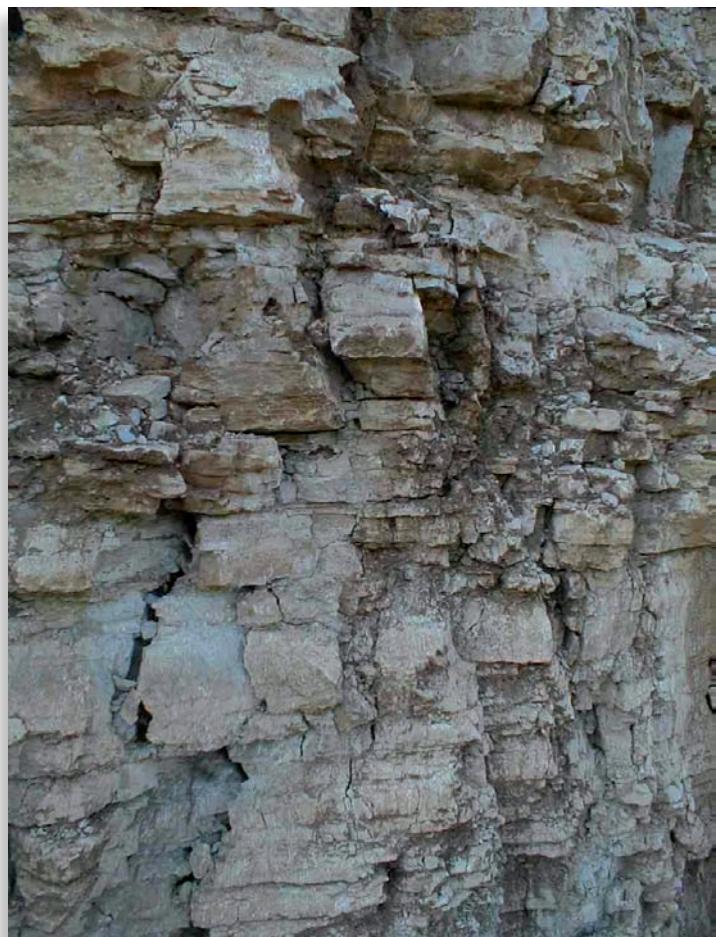


Figure 8. Calcaire fissuré -Banque SVT

Vu de plus près on voit que le calcaire a été fissuré sous l'effet de différentes actions (TECTONIQUE, décompression...). Ces fissures vont faciliter l'entrée de l'eau comme agent chimique.

Un réseau de fentes est d'abord creusé, mais ses dimensions ne permettent pas le passage de l'homme.

Le réseau de conduits se développe ensuite, à partir de l'aval (comme les rivières de surface). En partie pénétrable à l'homme, c'est le domaine du spéléologue.

Les rivières souterraines, comme celle de Padirac, dans le Lot, ont des débits très variables. Lors d'une crue, le niveau de l'eau monte dans les conduits, faute de pouvoir s'étaler en largeur comme le ferait une rivière de surface. La vitesse de l'eau s'accélère et sa charge en matériaux solides augmente.

L'eau souterraine est la ressource la plus précieuse fournie à l'homme par les grottes. La ville de Paris en est en partie tributaire, et une région comme le Quercy l'est presque en totalité.

L'émergence, le point de sortie des eaux, qui draine un massif fonctionne en permanence (on dira aussi pérenne). D'autres émergences situées plus haut ne sont utilisées qu'en cas de crue (on parlera d'émergence temporaire dans ce cas). Les caractéristiques d'un réseau souterrain fonctionnant comme réservoir, peuvent être déterminées par différentes méthodes. Les traçages et l'étude des crues au niveau des émergences permettent d'apprécier les ressources en eau de ce réservoir souterrain, drainées par les fentes et les conduits. On appellera cet ensemble un AQUIFERE.

Il en existe de différentes sortes. Nous nous intéresserons uniquement à ceux qui sont associés à des phénomènes de creusement de réseaux. On parlera dans ce cas d'AQUIFERE libre. Cela signifie que l'eau transite rapidement à l'intérieur des différentes parties du réseau (conduits, fentes, fissures...). Il n'y a pratiquement pas de stockage et la pollution s'y déplace très vite sans pratiquement aucun filtrage naturel. C'est donc un AQUIFERE fragile.



Figure 9. Creusement -Dominique Jean
Un panneau calcaire en couleurs réelles

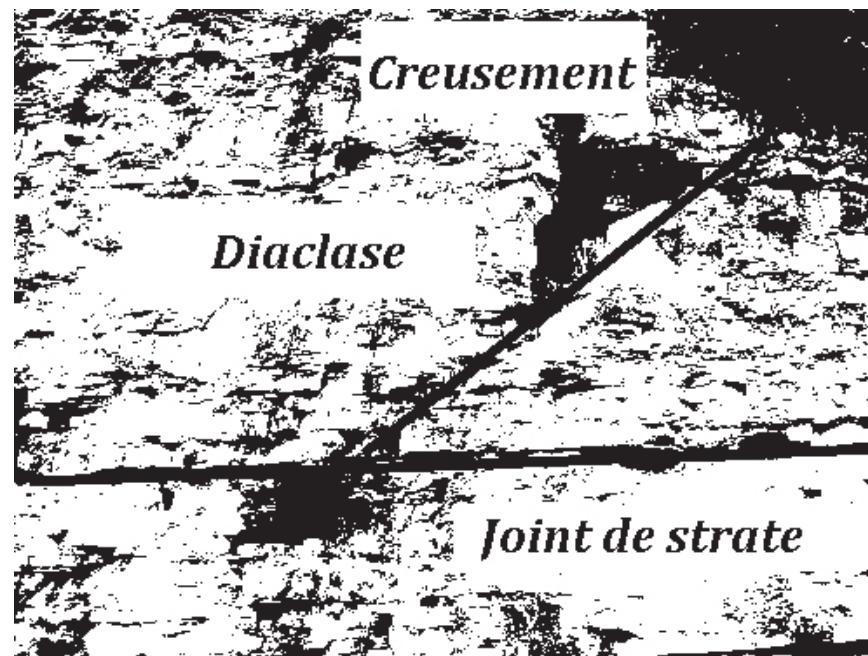


Figure 10
La photo de la figure 9 uniquement en noir et blanc pour faire apparaître :
Le joint de STRATE horizontal, La DIACLASE (rupture de la ROCHE sans déplacement de part et d'autre),
Le creusement, début d'une karstification s'opérant à la faveur de ces « faiblesses » de la ROCHE.

COMMENT SE CREUSENT LES GROTTES

Plissemens et fracturation, ont permis l'apparition du réseau de fissures au sein d'une ROCHE imperméable. C'est la notion de PERMÉABILITÉ en grand qui fait d'une ROCHE plutôt imperméable (pierre calcaire à bâtir), mais fracturée, un ensemble où l'eau va se perdre

Les ROCHES sédimentaires, dans lesquelles se creusent les grottes, sont celles qui peuvent se dissoudre dans l'eau et dont la résistance mécanique suffit à maintenir des voûtes d'assez grande portée (figure 11). Le creusement est essentiellement chimique dans le calcaire. Il s'effectue par dissolution (corrosion), c'est-à-dire par l'attaque du carbonate de calcium (constituant une partie du calcaire) par l'eau d'origine atmosphérique devenue légèrement acide. Le chapitre « DE L'EAU » de ce document indique comment elle a pu devenir légèrement acide. Le calcaire contient, suivant son origine, une plus ou moins grande quantité de carbonate de calcium pouvant être dissous (c'est-à-dire capable d'être transporté par l'eau responsable, par son acidité, de la DISSOLUTION). En se dissolvant, ce calcaire abandonne des impuretés : argiles, quartz, silex, oxydes... Elles participeront à leur façon à l'évolution du milieu souterrain, notamment en créant des remplissages (voir chapitre « QUAND LES GROTTES SE REMPLISSENT »). La réaction de DISSOLUTION est réversible ; le carbonate de calcium dissout dans l'eau va repasser sous forme solide dès que les conditions de pression et de température permettront de nouveau un changement d'état. Ce dernier appelé précipitation, donnera lieu à la nombreuse famille des concrétions (spéléothèmes) que nous pouvons admirer parfois.

L'eau dissout le carbonate de calcium mais aussi d'autres minéraux. L'étude de la composition de l'eau issue d'un réseau (figure 12) peut être un élément permettant d'identifier son passage au travers de certaines couches rocheuses.

L'eau est l'agent de DISSOLUTION, mais n'oublions pas le rôle de la GRAVITÉ. En effet l'eau cherche à rejoindre la mer par le chemin le plus court. Les matériaux arrachés au massif rocheux sont ainsi évacués au-delà. Ce chemin d'évacuation évolue et évoluera au fil du temps et au gré d'événements extérieurs : glaciation, émergence d'une nouvelle chaîne de montagne (SURRECTION), modification du niveau de la mer. L'eau est aussi un agent important dans le phénomène d'ÉROSION qui consiste en un arrachement mécanique et un transport des matériaux sous forme solide. La figure 5 avec ses commentaires (chapitre « DES ROCHES) donne un exemple d'une telle succession d'événements géologiques.

La figure 11 montre la perte du ruisseau « le bonheur » dans le réseau de Bramabiau. C'est en 1884, lors de l'exploration de cette perte jusqu'à la résurgence, à travers le réseau creusé dans le causse, que Edouard Alfred Martel comprit les grands principes de creusement des cavités.



Figure 11. Commons wikimédia La perte du Bonheur

La figure 13 fait apparaître dans un bloc les principaux éléments d'un massif karstique, précédemment décrits. On y voit de haut en bas :

- L'infiltration de l'eau dans la partie supérieure, par une perte, et/ou par le réseau de fissures (épikarst).
- La circulation verticale de l'eau dans des conduits dont la section augmente.
- La circulation semi-horizontale dans la partie basse qui aboutit à la résurgence.
- Un réseau noyé en permanence.
Les 4 zones indiquées ne sont pas toujours présentes dans tous les types de karsts.
- Remarquez à mi-hauteur un ancien réseau horizontal, que l'eau n'utilise plus. C'est un réseau devenu fossile en raison de l'abaissement du niveau de la vallée. Cet abaissement est dû à l'érosion. Le fond de la vallée sert de NIVEAU DE BASE pour le réseau schématisé.



Figure 12 Commons wikimédia
EMERGENCE de la Loue (Jura)

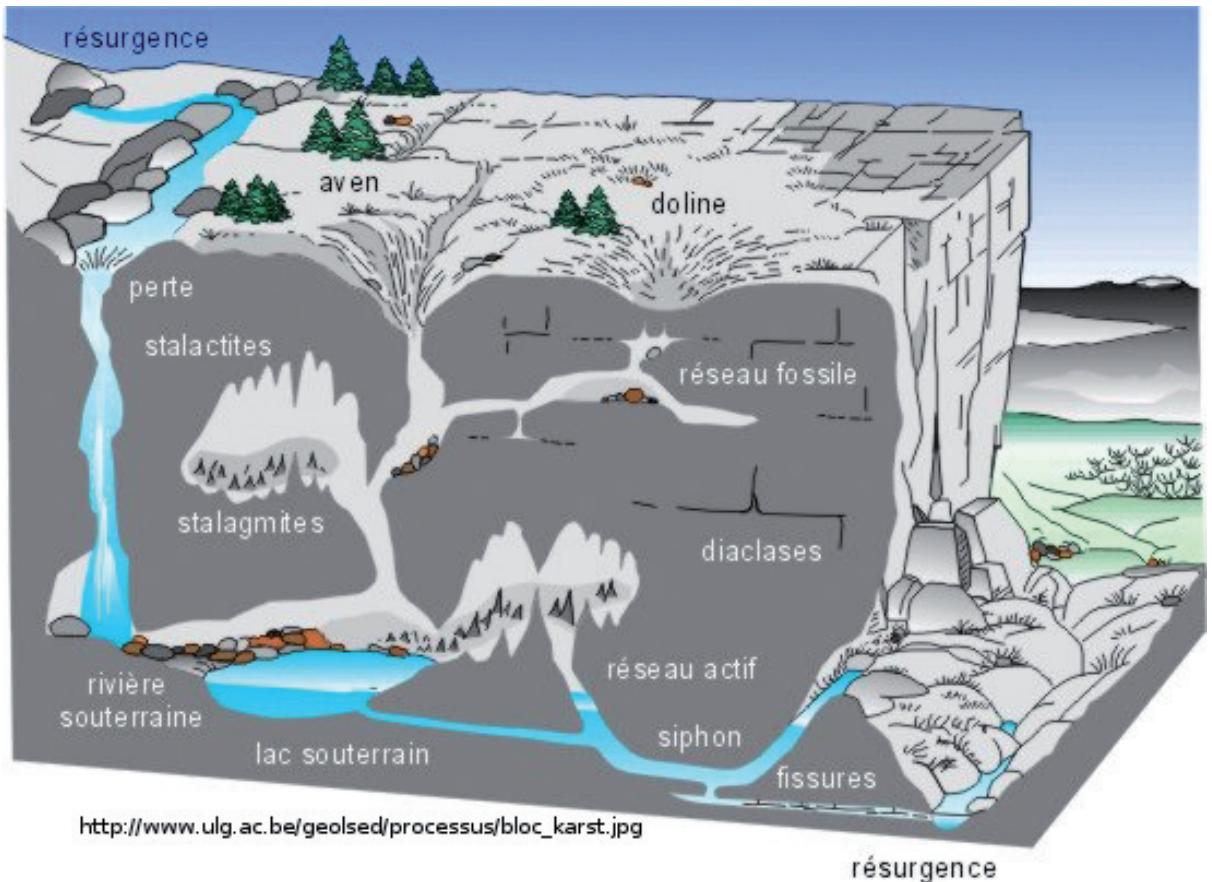


Figure 13. Éléments structuraux d'un type de karst

NOTES PERSONNELLES :

UN PHENOMENE GEOLOGIQUE

Millions d'années ÉCHELLE STRATIGRAPHIQUE

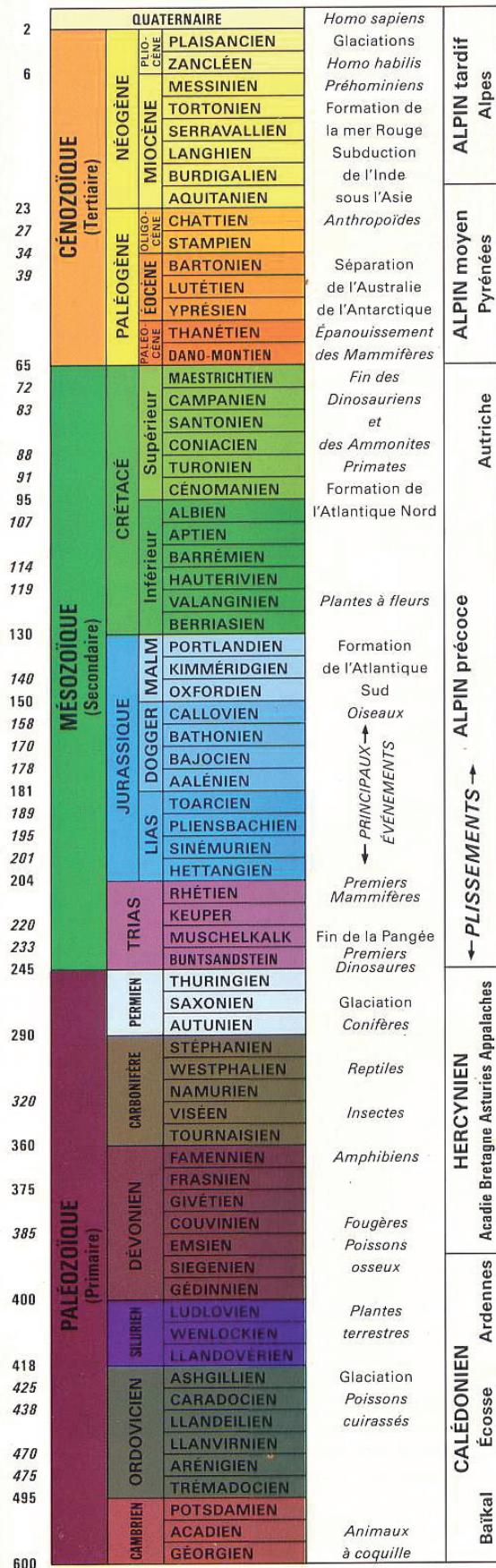


Figure 14. Echelle stratigraphique (ICS)

Sauf conditions très particulières, le creusement d'une grotte pénétrable à l'homme prend au moins plusieurs centaines de milliers d'années. De nombreuses grottes sont vieilles de plusieurs millions d'années (12 millions pour Cottonwood Cave aux Etats-Unis). Mais des grottes se sont creusées dès la formation de ROCHES sédimentaires solubles, il y a plusieurs centaines de millions d'années.

Malgré l'érosion des massifs qui contenaient ces très vieilles grottes, on en retrouve des vestiges ; notamment lors de l'exploitation des minéraux métalliques ou du pétrole qui ont comblé ces cavités.

L'évolution d'une cavité, dont le creusement n'est qu'une phase, peut être interprétée à partir des formes visibles dans la caverne, les systèmes de galeries, de puits, de salles, dont l'organisation générale peut être complexe. Les sections des conduits, les sculptures des parois, d'aspect très varié, sont autant d'indicateurs des types de creusement, mais aussi des différentes phases de celui-ci.

Cette évolution est à l'échelle géologique, ce qui est très loin d'être évident pour la plupart d'entre nous.

On pourra au moins tenter de repérer certains éléments :

- Quelle est l'origine de la ROCHE mère au sein de laquelle la cavité se développe ? Voir GLOSSAIRE sur les CALCAIRES
- Y a-t-il d'autres ROCHES encaissant la cavité ? (Figure 15.)
- Où se situe la cavité dans le massif ? Au cœur, en bordure ? (Figure 16.)
- Peut-on voir d'anciens niveaux de circulation de l'eau ?
- Y a-t-il des remplissages (nature, disposition, provenance) ? Voir chapitre « QUAND LES GROTTES SE REMPLISSENT » Peut-on voir des reprises de corrosion ou d'érosion ?
- Y a-t-il du concrétonnement ?
- Quelle est l'histoire géologique du massif au sein duquel la cavité prend place ? (Figure 17.)

L'échelle géologique verticale (figure 14), graduée en millions d'années, va des périodes les plus anciennes, en bas, vers les périodes les plus récentes, en haut. Ceci pour rappeler qu'en principe nous trouvons les terrains les plus anciens dans les couches inférieures et les plus récents dans les couches supérieures. Mais parfois, la TECTONIQUE, les plissements et les décapages dus à l'érosion ne rendent pas la lecture aussi simple. On parlera de DISCORDANCE STRATIGRAPHIQUE.

C'est sur la base de cette convention qu'il faudra étudier la légende d'une carte géologique, qui indiquera la nature et la datation des terrains représentés sur cette dernière.

Le livret qui accompagne chaque carte fournit des éléments et des commentaires sur la zone couverte. C'est un outil précieux, pas forcément d'un accès facile pour le grand public, mais si on est passionné on peut toujours progresser dans ses connaissances.

La couche imperméable constitue la limite basse des réseaux de ce type.

Aucune chance donc de trouver un prolongement du réseau en dessous de cette limite !

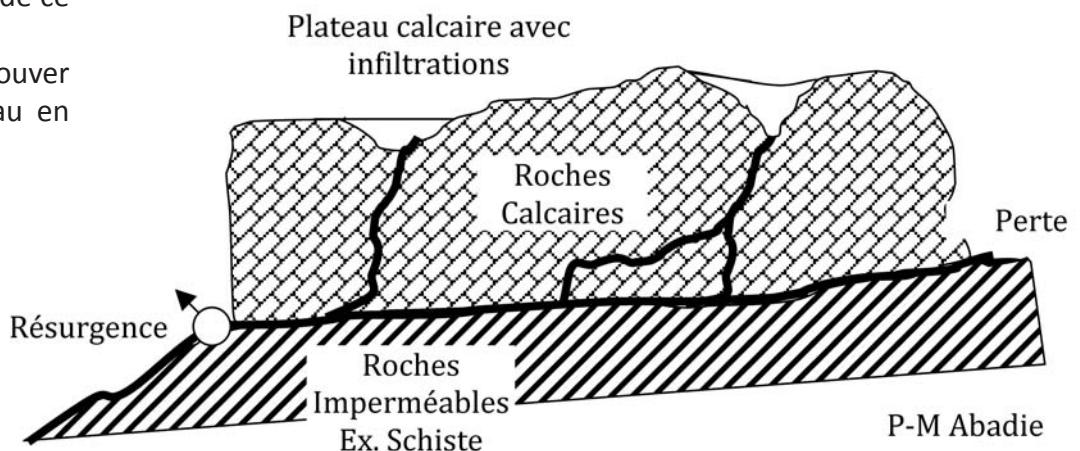


Figure 15. P.-M. Abadie Influence des roches encaissantes sur la circulation des eaux.

Les fissures en bordure de massif sont plus nombreuses et plus importantes.

L'ensemble se comporte comme une rangée de livres dont les extrémités tendent à glisser. D'un point de vue plus scientifique, on appelle ce phénomène la détente lithostatique.

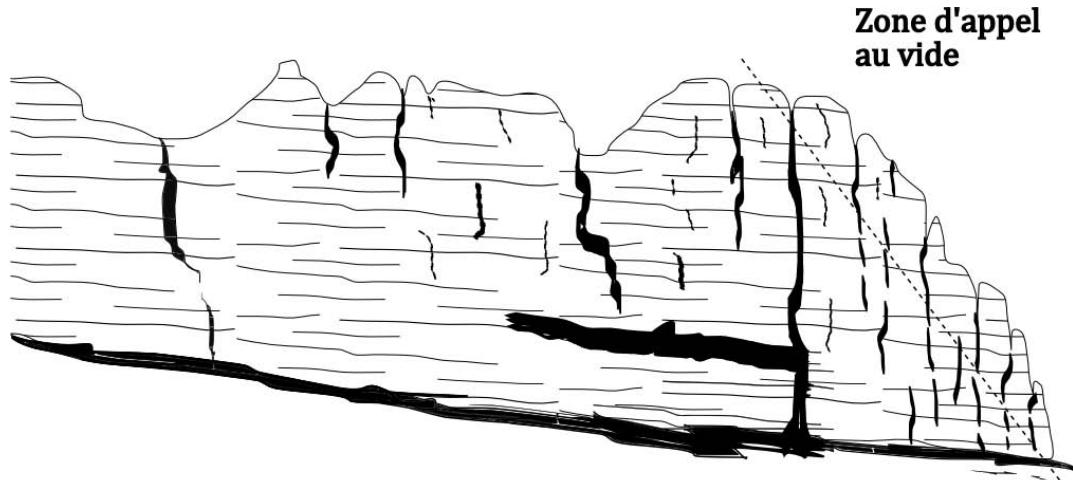


Figure 16. P.-M. Abadie Influence de la bordure du massif sur la fissuration interne.

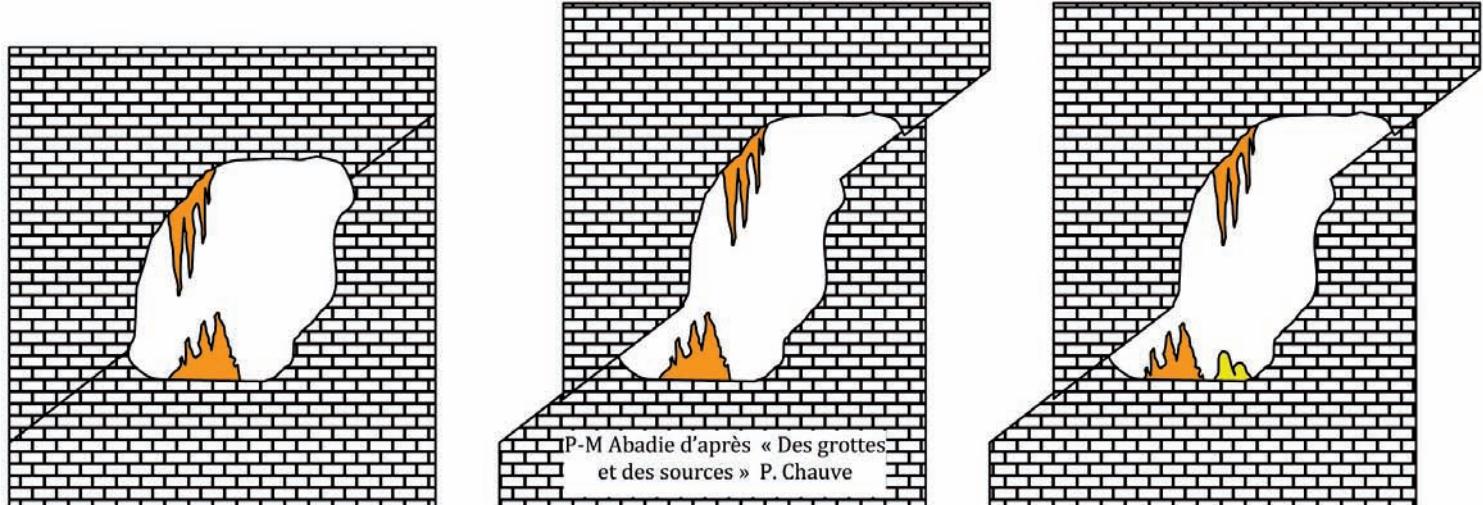


Figure 17. Exemple d'évolution d'une galerie

Voici une histoire en 3 épisodes. Retrouvez sous terre les traces d'évènements dûs à la tectonique. (de gauche à droite).

- Une galerie s'est creusée à la faveur d'une diaclase. Au fil du temps le concrétonnement (stalactites et stalagmites) s'est mis en place.
- Un séisme provoque un déplacement des masses rocheuses présentes de part et d'autre de la diaclase. Les concréions sont désaxées.
- Le concrétonnement reprend son travail un peu plus loin. On voit apparaître des stalagmites plus anciennes ne grandissant plus, faute d'apport de calcite depuis le haut et des stalagmites plus récentes en cours de croissance.

QUAND LES GROTTES SE REMPLISSENT

Remarquables pièges à SEDIMENTS, les grottes sont de plus préservées des divers agents d'érosion. C'est donc un milieu particulièrement conservateur. Si les SEDIMENTS des entrées de grottes fournissent de riches données sur les évolutions récentes du climat, les zones profondes des grottes constituent aussi un formidable réservoir d'informations.

Les stalactites, stalagmites et plus généralement ce que l'on nomme les concrétions (on pourra aussi utiliser le mot spéléothème, néologisme issu de l'anglais) résultent du dépôt du carbonate de calcium par l'eau à l'état dissous, tandis que le gaz carbonique se dégage (processus inverse de celui de la corrosion). Les stalagmites de l'aven Armand (Lozère) ou de l'aven d'Orgnac (Ardèche) sont célèbres. Les concrétions permettent des datations très fiables.

Des SEDIMENTS détritiques (l'argile, le sable, les galets, les blocs) cachent presque toujours le sol rocheux des grottes, parfois sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Ils sont notamment révélateurs du sens de circulation et de la provenance de l'eau dans les conduits que celle-ci ne parcourt plus.

Les formes de remplissage et notamment leur succession relèvent des méthodes de la STRATIGRAPHIE.

Creusement et remplissage sont fréquemment interdépendants : des formes dans les parois et les voûtes de grottes témoignent de l'action d'un ancien remplissage ; des dépôts sont entaillés par une reprise de l'érosion. On retrouve souvent des matériaux détritiques entraînés sous terre par les eaux et qui demeurent piégés là, alors qu'ils ont disparu en surface. C'est le cas, dans la grotte de Clamouse (Hérault), de l'halloysite, une argile blanche particulière. Un remplissage avec un matériau issu de la cavité est dit AUTOCHTONE alors qu'un remplissage dû à un matériau extérieur est dit ALLOCHTONE (figure 23).

Il faudra donc être attentif au moins à la présence de ces remplissages et à leur nature

Coupe dans un remplissage de galets (notez l'évolution de leur taille du haut vers le bas) ainsi que le dépôt superficiel d'argile venu recouvrir l'ensemble.



Figure 18. Remplissage de galets- Grotte de la Luire
P.-M. Abadie





Remplissage d'argile. Vous noterez les creusements verticaux, effectués par les phases de retrait progressif de l'eau ennoyant la galerie.

Figure 19. Remplissage argileux-Grotte de la Luire
P.-M. Abadie



Exemple de remplissage, d'une galerie par le concrétonnement. Il s'agit d'un remplissage chimique issu de la réaction inverse de la DISSOLUTION du carbonate de calcium.

Figure 20. Commons Wikimédia. Remplissage par concrétonnement



Grotte des Pousselières (Hérault) : concrétion d'ARAGONITE. L'ARAGONITE tout comme la calcite est composé de carbonate de calcium. Elles se diffèrentent par leur mode de cristallisation. Ce sont des atomes de même nature, mais organisés dans l'espace de 2 façons différentes : RHOMBOÉDRIQUE pour la calcite et ORTHORHOMBIQUE pour l'ARAGONITE. A l'échelle humaine, cela se traduit par des concrétions de formes différentes.

(Photo Andreas Schober)



Figure 21. Concrétions d'aragonite

Remplissage dans la grotte de Chasserou (Ardèche)

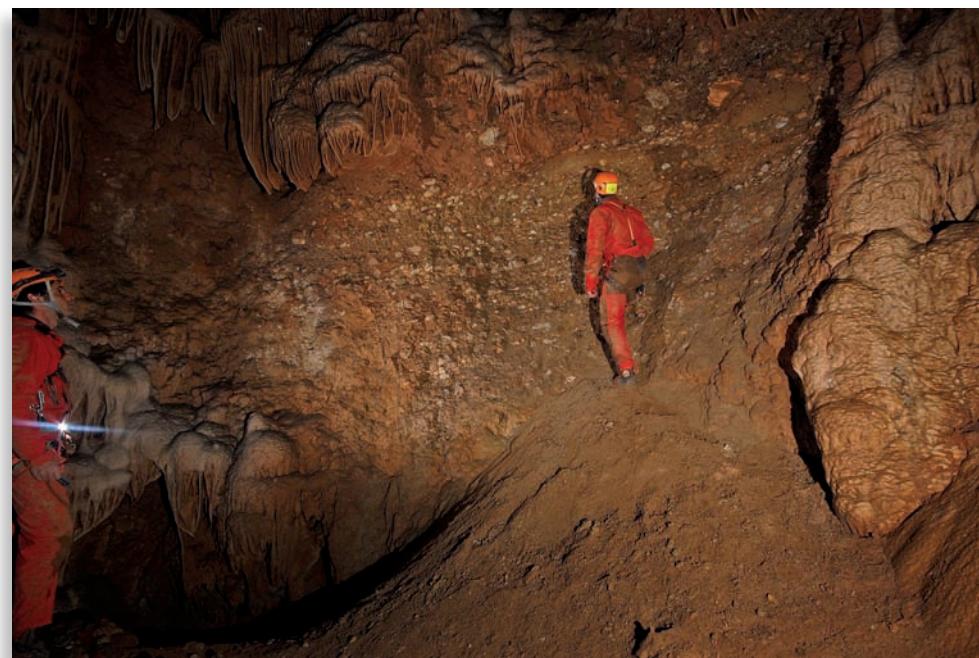


Figure 22. Photo S. JaiIlet



Figure 23. Photo J. Arnaud

Sous les pieds du personnage un bloc basaltique dans la cavité de combe Rajeau. (Ardèche)

NOTES PERSONNELLES :

EVOLUTION DES GROTTES

Le soulèvement (SURRECTION) des montagnes entraîne une réorganisation de la circulation souterraine de l'eau. L'évolution du climat de la planète est l'autre facteur important : sous climat froid, les réactions chimiques sont ralenties ; le creusement et le concrétionnement sont très réduits. En période chaude, c'est l'inverse. Le volume des précipitations (pluie et neige) est également un facteur favorisant ces réactions chimiques.

Des variations du NIVEAU DE BASE, le niveau du fond des vallées principales, résultent de la SURRECTION des montagnes, de l'érosion, comme des variations climatiques. Ainsi, lors de la dernière glaciation, il y a environ 20 000 ans, le niveau de toutes les mers du globe s'est abaissé de 100 mètres, ce qui a entraîné un creusement des vallées.

Une descente du niveau de base se traduit sous terre par un surcreusement vers le bas des réseaux de conduits.

Une montée du niveau de base, induite par un remplissage des vallées par les alluvions, provoque l'enniolement de l'ensemble des conduits pendant une longue durée.

En surface, des captures désorganisent les circulations de l'eau qui se perdent dans des grottes. Au sein de la ROCHE calcaire, d'autres captures concentrent ces circulations vers une émergence unique. Les émergences des terrains calcaires sont de loin les plus puissantes, loin devant celles des autres types de ROCHE.

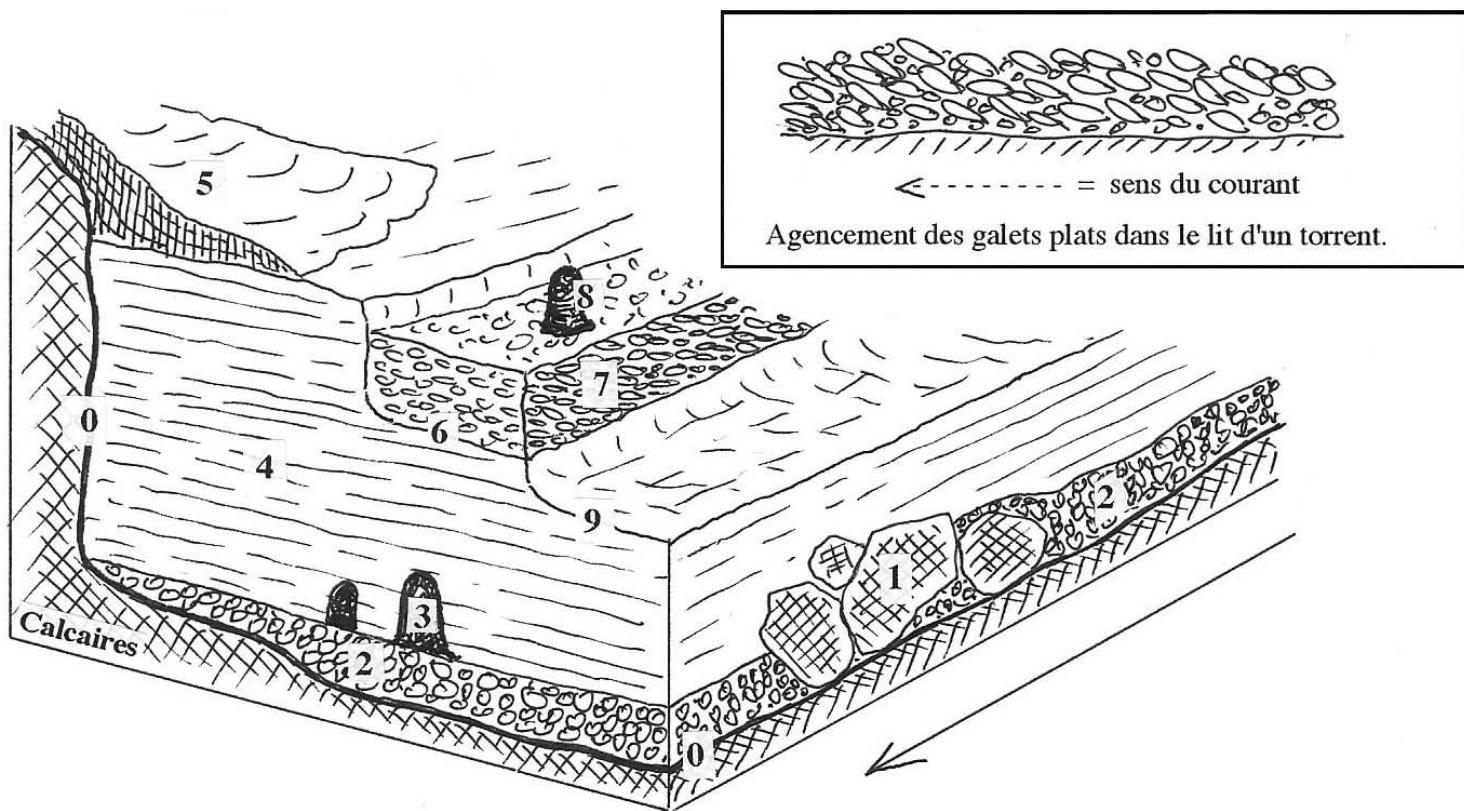


Figure 24. Jacques Bauer «Le karst en 12 leçons»
réédition InfoEFS

L'agrandissement progressif des conduits provoque des effondrements. Certains se propagent jusqu'en surface ; c'est ainsi que se forment les gouffres, comme le puits de Padirac sur un causse du Quercy. L'eau est à la fois un agent de transport de ROCHES dissoutes (essentiellement le carbonate de calcium) et de ROCHES non dissoutes. Le rapport entre ces 2 familles de ROCHES entraînera un creusement ou un remplissage plus ou moins grand avec des matériaux issus des couches rocheuses au sein desquelles la cavité est présente. Les phénomènes qui viennent d'être présentés ne se produisent pas de façon successive, comme on pourrait facilement le penser. Un certain nombre de facteurs agit sur ces phénomènes, venant les amplifier ou les réduire. On pourra ainsi voir des indices faisant apparaître une première période de creusement de la cavité, suivie d'une seconde de comblement et une dernière où, à nouveau, le creusement opère.



Figure 25. Coups de gouge. Aven du pic d'Usclats. Photo J. Dorez

Le sens d'écoulement qui a dominé lors du creusement d'une galerie peut être mis en évidence par ces empreintes sur les parois appelées « coups de gouge ». Le passage de la main nue sur la paroi dans un sens ou dans l'autre vous donnera une sensation douce (sens d'écoulement) ou râpeuse (sens opposé à l'écoulement). Sur la figure ci-contre l'écoulement a lieu du haut vers le bas.

La paroi de droite, au-dessus des pieds du personnage, fait très nettement apparaître une DISSOLUTION non uniforme. Les couches en relief sont plus résistantes à l'action chimique que les couches qui apparaissent en creux.

Toujours à droite, mais en dessous des pieds, l'organisation des STRATES n'est plus la même.

La vire, facilitant la progression du personnage, matérialise la limite entre 2 zones ayant subi des corrosions différentes. Cette limite indique une DISCORDANCE.



Figure 26. Photo : Jerry Wooldridge(galerie photos IJS)

NOTES PERSONNELLES :

LE KARST

Le mot KARST (originaire de Slovénie) désigne l'ensemble des formes liées à la mise en solution de la ROCHE calcaire et les régions qui les contiennent. Outre les grottes et les gouffres, que nous venons de décrire dans les chapitres précédents, le KARST crée en surface des paysages particuliers, dits karstiques.

On y voit des « cuvettes ». Ce sont les DOLINES (Dépressions fermées de quelques mètres jusqu'à la centaine de mètres). Lorsqu'une de leurs dimensions dépasse le kilomètre, on parle de bassins fermés; l'eau de pluie tombée dans ces dépressions doit s'évacuer par voie souterraine. Le poljé (prononcez « polié ») est un bassin fermé inondable, car le débit de son évacuation est limité, souvent par un passage étroit.

Une vallée sèche se trouve souvent à l'aval de la perte d'une circulation superficielle, c'est-à-dire de l'enfouissement des eaux dans le sol calcaire. L'eau disparaît dans la perte, laissant voir son ancien lit dans lequel elle s'écoulait avant d'être capturée par la perte.

Le canyon est une vallée encaissée. Une reculée est un canyon résultant du recul de l'émergence d'une circulation souterraine à l'intérieur d'un massif calcaire.

Le KARST à buttes est composé de collines à peu près identiques. Il couvre des surfaces considérables dans certains pays tropicaux, mais il n'est pas rare sous climat tempéré.

Il n'y a pas d'écoulement d'eau en surface, donc pas d'organisation des pentes liée à l'écoulement. Ces 2 caractéristiques sont typiques de ce MODELÉ.



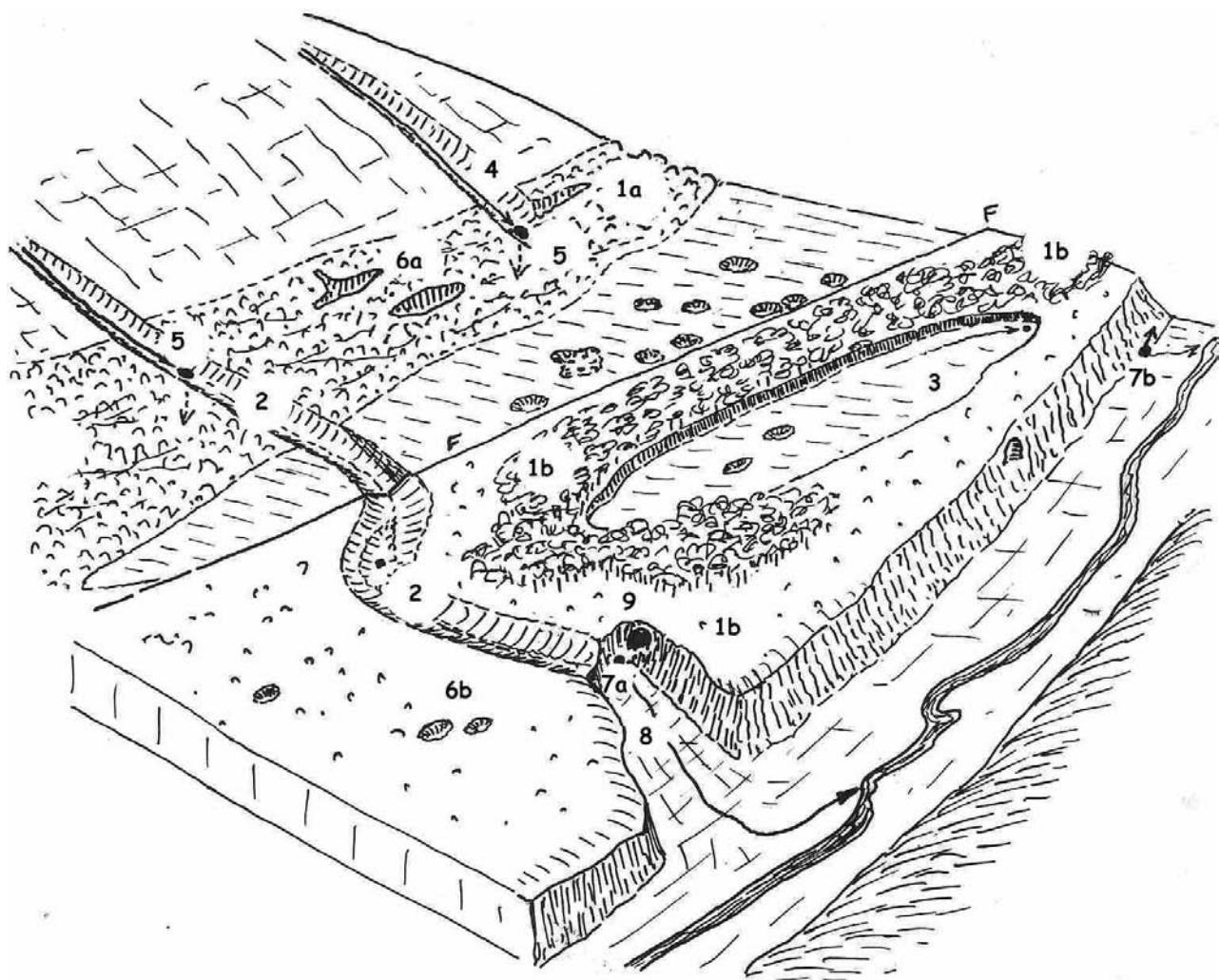


Figure 27. Paysages karstique (Jacques Bauer)

D'après « le karst en 12 leçons » réédition InfoEFS

- 1 LAPIAZ
- 1a : LAPIAZ nu
- 1b : LAPIAZ couvert (forestier)
- 2 : Vallée sèche ou morte
- 3 : Polje : (plaine plus ou moins inondable à soubassement calcaire)
- 4 : Vallée aveugle
- 5 : Perte
- 6 : DOLINES
- 6a : effondrement dans le LAPIAZ
- 6b : soutirage
- 7 : EMERGENCES
- 7a : résurgence (réapparition d'un cours d'eau enfoui en amont)
- 7b : exsurgence (source alimentée par l'infiltration diffuse dans le LAPIAZ)
- 8 : Reculée
- 9 : Porche perché (ancienne émergence asséchée par l'abaissement général du niveau des sources)



Un relief ruiniforme (Montpellier-le-Vieux, dans l'Aveyron, par exemple) est un groupement de rochers abrupts, pouvant atteindre plus de dix mètres de haut, aux formes tourmentées (arches, tours, champignons...). C'est un MODELÉ caractéristique qui s'opère au sein d'une masse de ROCHE sédimentaire de type dolomie.

Figure 28. Paysage ruiniforme- Banque images SVT



Sur LAPIAZ de montagne avec une faible couverture végétale, le couvert neigeux en hiver joue un rôle très important dans le mécanisme de DISSOLUTION de la ROCHE calcaire. On constate que 2 ROCHES sédimentaires de nature très différentes, subissant un facteur érosif, ne donneront pas au final un paysage identique.

Figure 29. Karst d'altitude- Commons Wikimédia

Reculée de Baume les Messieurs (Jura).

C'est une gorge allongée, étroite et profonde. Elle se termine en «bout du monde» ou en «cul de sac» par un cirque rocheux prolongé sur le plateau par une vallée sèche. L'évolution probable de la reculée est la suivante : à l'origine, un cours d'eau superficiel circule sur le plateau dont il franchit le bord par une cascade. Il creuse sa vallée dans la table calcaire cependant que la cascade progresse vers l'amont par érosion régressive. L'approfondissement du tronçon aval provoque un enfouissement partiel puis total du cours supérieur de la rivière. Au terme de l'évolution, le plateau est fossilisé. Seules subsistent la vallée sèche et les DOLINES. Les eaux ressurgissent au fond de la vallée en gorge, en aval de l'ancienne cascade.



Figure 30. Une reculée- Commons Wikimédia



Karst couvert de la forêt des Arbailles
(Pyrénées- Atlantiques)

Figure 31. Commons Wikimédia

Vallée sèche et DOLINES du plateau d'Arrioutort
(Pyrénées-Atlantiques)



Figure 32 P-M Abadie



LE CLIMAT DES GROTTES

Le climat d'une grotte est «tamponné», c'est-à-dire atténué dans ses variations par rapport aux conditions régnant à l'extérieur. Comme l'air est le plus souvent à peu près saturé d'humidité, toute variation de température se traduit par une évaporation ou une condensation qui mobilise une énergie telle que la variation de température s'en trouve freinée. Ce phénomène est encore plus net dans les régions chaudes et humides.

La température de l'air est alors de moins en moins variable à mesure que l'on s'éloigne de l'entrée de la grotte. Elle est approximativement la température moyenne annuelle du lieu où s'ouvre la grotte. Mais elle est inférieure dans une grotte descendante, car l'air froid est relativement plus lourd et peut y pénétrer l'hiver, tandis qu'en été, l'air chaud n'y entre pas. Ce phénomène du «piège à air froid» explique l'existence de glacières naturelles très en dessous de l'isotherme 0° C à certaines périodes, pour des cavités d'altitude. On voit donc ainsi que la morphologie générale de la cavité va influencer son climat.

La composition de l'air est différente de celle de l'extérieur. En effet, lors du dépôt de la calcite (concrétionnement), du gaz carbonique se dégage ; sa proportion est donc accrue par rapport à l'air libre et compensée par un déficit en oxygène. Les spéléologues ressentent alors parfois un essoufflement, mais il n'y a danger que dans le cas exceptionnel d'émanations profondes.

Des mouvements d'air se produisent dans les grottes : les plus importants sont les courants d'air entre deux entrées d'altitude ou d'exposition différentes. Les variations barométriques induisent des mouvements d'air de compensation entre la grotte et l'extérieur. On parle parfois de « respiration des cavités » pour décrire ce phénomène. L'étude de ces mouvements d'air peut mettre en évidence des entrées possibles, relançant ainsi l'exploration des réseaux sur de nouvelles bases.

En résumé, le climat des grottes est le résultat d'un équilibre subtil entre différents échanges :

- Echange de matières (figure 33 air et eau principalement, mais aussi ROCHES et matières organiques)
- Echange d'énergie thermique (masse rocheuse ; atmosphère extérieure).

Ces échanges peuvent donner lieu en certains endroits de la cavité, à une condensation importante qui réalise ainsi un apport en eau supplémentaire par rapport à celui évoqué dans les premiers chapitres. La figure 33 reprend sous forme de schéma les éléments évoqués précédemment. Voici quelques commentaires pour en faciliter la lecture :

- La zone d'entrée (repérée par topoclimat) constitue une zone tampon dont la profondeur varie en fonction du milieu extérieur. Le climat y est donc variable et soumis à un rayonnement solaire dégressif.
- La zone des fissures, bien que non pénétrable par l'homme,

représente une part très importante du vide karstique au sein d'un massif. Pour exemple le réseau Niaux-Lombrives-Sabart (09) représente un vide équivalent à 0,076% du volume du massif. Si l'on tient compte maintenant du réseau de fentes, le volume des vides est pratiquement multiplié par 5.

- La zone « profonde », là où les conditions sont stables, est le lieu d'équilibre de tous les échanges venant de l'extérieur comme du cœur de la ROCHE.
- Les parois (microclimat de la couche limite) sont le siège de conditions bien particulières car elles constituent la limite entre la ROCHE et l'atmosphère interne.

Au risque de paraître simpliste, n'oublions pas que l'obscurité totale règne dans ce milieu. C'est une de ses caractéristiques fondamentale avec la stabilité en température et la raréfaction de la nourriture.

L'étude et la description du climat sont nécessaires pour l'analyse de la faune, mais aussi la compréhension de certaines formes de creusement.

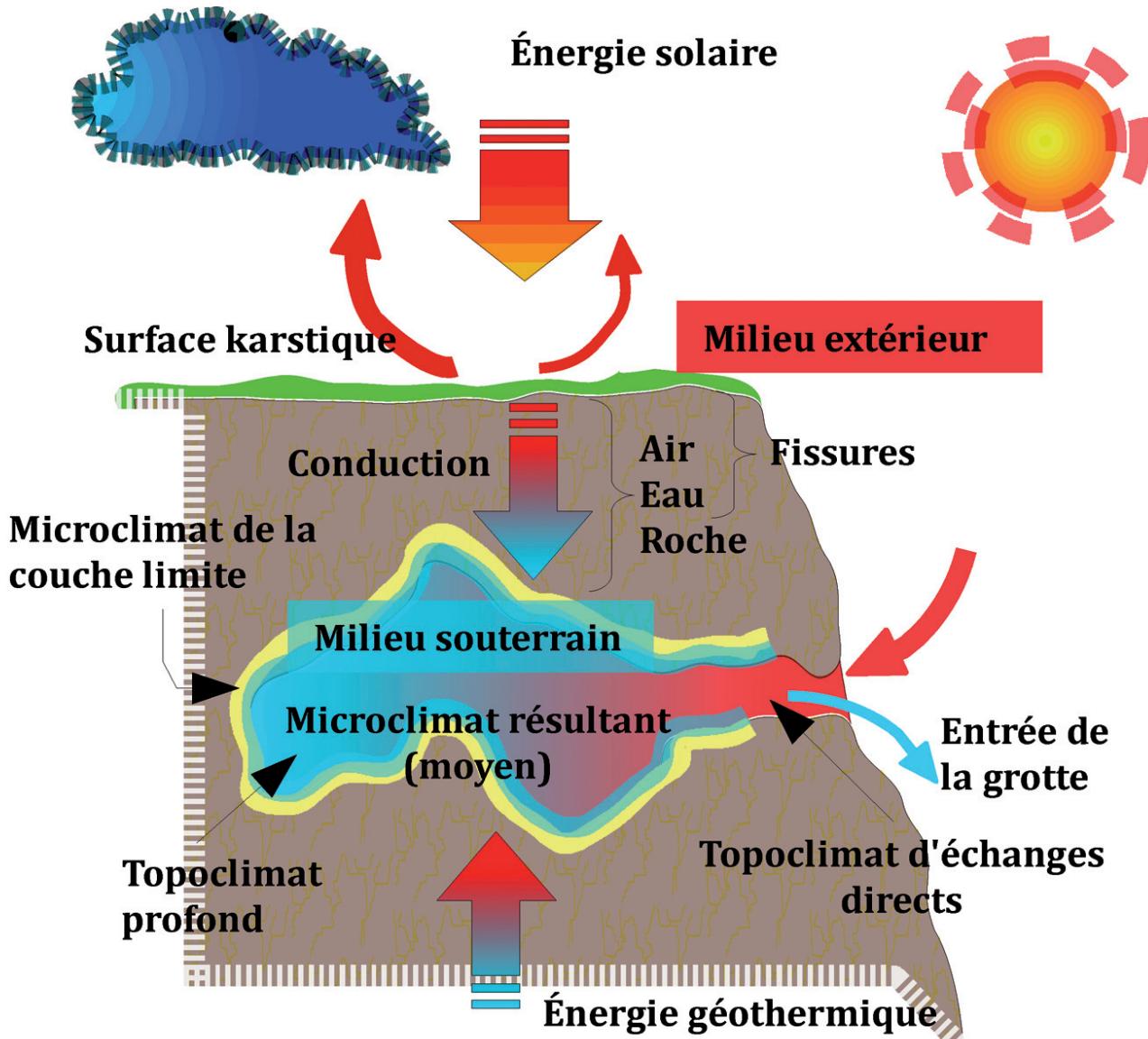


Figure 33. Les différents échanges de matières et d'énergies régissant le climat souterrain
P.-M. Abadie d'après Claude Andrieux

Un exemple d'échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur d'une cavité. C'est ce que l'on nomme un « tube à vent ». L'inversion du sens du courant d'air est dû à la différence de température entre intérieur et extérieur de la cavité. On peut considérer que la température intérieure est constante en toute saison. En hiver, elle est supérieure à la température extérieure. L'air chaud plus léger monte, créant un effet comparable à celui que l'on observe dans une cheminée.



Figure 34 Tube à vent- P-M Abadie

NOTES PERSONNELLES :

LA SPELEOLOGIE SCIENTIFIQUE

La spéléologie a vu le jour en tant que science à la fin du xix siècle. Des Français y ont joué un rôle important, notamment Edouard-Alfred Martel qui, de 1888 à 1936, fut l'initiateur de la spéléologie scientifique, Norbert Casteret pour son activité de vulgarisateur, Pierre Chevalier pour l'amélioration du matériel et des techniques de progression, etc. L'organisation française actuelle est fondée sur la Fédération Française de Spéléologie (FFS), rattachée au ministère des Sports. Sa commission scientifique organise des stages de formation. L'Association française de karstologie (AFK), co-édite avec la FFS la revue scientifique *Karstologia*, diffusant au niveau international les résultats des recherches sur le karst.

Les quelques 5000 publications annuelles des spéléologues sont régulièrement répertoriées dans le *Bulletin bibliographique spéléologique* (BBS).

Topographie d'une section de galerie dans la grotte de la Cocalière durant un stage équipier scientifique EFS.



Figure 35. Topographie d'une section. Photo Gérard Cazes.
Stage équipier scientifique.

Injection d'uranine quelque part dans un gouffre des Pyrénées. L'uranine sert de traceur qui permettra d'identifier la ou les résurgences associées à cette perte. Il faudra placer des capteurs au niveau des émergences pour mettre en évidence le passage de l'uranine. Contrairement à ce que pourrait laisser croire sa couleur vive, ce composé chimique est sans danger pour l'homme et la nature.



Figure 36. Une coloration en rivière souterraine





Les mesures de débit en différents points d'un réseau, couplées avec d'autres informations, permettent d'établir un bilan des circulations et peuvent renseigner sur les capacités de dissolution de la masse calcaire.

Figure 37. Mesures des vitesses le long d'une section de rivière souterraine, pour en calculer le débit. Stage équipier scientifique. Photo S. Jaillet.

LA GROTTE COMME LABORATOIRE

Des laboratoires ont été installés dans des grottes, d'abord pour étudier les animaux cavernicoles, puis des phénomènes physiques: marées terrestres, séismes et mouvements TECTONIQUES actuels. Des grottes ont servi de cadre à des expériences « hors du temps » (Michel Siffre), qui ont notamment montré que le rythme veille-sommeil s'allonge de manière notable chez l'homme s'il est privé de repère temporel.

Les grottes touristiques, au nombre d'une centaine en France, jouent un rôle culturel pour leurs quatre à cinq millions de visiteurs annuels. Une association, telle que l'ANECAT, regroupe les exploitants de grottes et invite la FFS à participer à la formation des guides touristiques. On utilise également ces grottes pour installer du matériel d'enregistrement scientifique sur de longues périodes (grotte de Han-sur-Lesse, en Belgique, Coufin-Chavaline et Espanros en France par exemple).

Dans sa globalité (relief de surface et cavités souterraines), l'étude du KARST est pratiquée dans certains pays : Slovénie, Roumanie, Suisse, USA. En France aussi elle a produit plus de cent thèses et travaux universitaires à Moulis (Ariège), Montpellier, Bordeaux, Aix-en-Provence ; une équipe de recherche du CNRS est actuellement rattachée à l'Université de Savoie à Chambéry. Certains de ces chercheurs sont également des spéléologues créant ainsi un pont entre les activités scientifiques fédérales et le milieu universitaire. Le monde souterrain permet de s'affranchir plus ou moins de certaines influences extérieures, ce qui peut être nécessaire pour des expériences liées à la physique, ou pour certaines mesures sismiques.

LES OUTILS DU SPELEOLOGUE OBSERVATEUR

L'observation des formes de creusement et de remplissage est le point de passage obligé pour toute étude de grotte ; c'est la compétence particulière du spéléologue. Pour l'aider dans sa tâche, le spéléologue dispose de plusieurs outils :

- La topographie. Des logiciels spécialisés ont été développés par les spéléologues pour représenter ce vide en trois dimensions qu'est une cavité souterraine. L'examen d'une topographie bien faite peut suffire à imaginer des modes de creusement de la grotte. Les éléments permettant « d'habiller » la topographie sont directement issus des observations réalisées sur le terrain. Aujourd'hui le GPS aide à situer sur carte les entrées des cavités. Il existe des scanners capables de relever plusieurs milliers de points sur les parois d'une grotte afin d'en extraire directement un modèle en 3 dimensions.
- La photographie permet d'enregistrer des images de formes souterraines, par exemple celles de sections de conduits ou les formes pariétales, qui sont difficiles à mesurer ou à représenter.
- Le traçage est le marquage d'une circulation souterraine pour connaître le point de sortie des eaux ou bien le temps que mettent ces eaux à parcourir la distance qui les sépare de l'émergence. Le traceur le plus fréquemment utilisé est la fluorescéine.
- L'analyse de la composition chimique des eaux et des ROCHES, peut être faite sur place ou en laboratoire sur des échantillons.
- L'étude de la faune présente dans une cavité peut renseigner sur les échanges qui ont lieu avec l'extérieur.
- Les variations souterraines de niveau d'eau peuvent être enregistrées automatiquement. C'est ce que fait le luoirographe, un instrument qui mesure pendant une longue durée d'immersion des pressions atteignant plusieurs dizaines de bars. Dans la grotte de la Luire, sur le Vercors, pour laquelle cet appareil fut conçu, les montées du niveau d'eau dépassent 450 mètres.
- Le spéléologue peut mesurer sur place la teneur en gaz carbonique de l'air à l'aide d'un détecteur Dräger.
- Les datations «absolues», les dosages d'ISOTOPES stables de SEDIMENTS ou de l'eau sont couramment pratiqués dans des laboratoires spécialisés.
- La mesure de la température en différents points d'une cavité peut mettre en évidence un déséquilibre des échanges évoqués dans le chapitre « climat des grottes ».
- La prise de notes et la réalisation de croquis sur place.

N'oublions pas que la connaissance de ce milieu et les moyens d'y accéder peuvent être essentiels pour :

- Le suivi des ressources en eau,
- La construction d'ouvrages de génie civil,
- La prévention contre les risques environnementaux,
- La protection de l'environnement,
- La connaissance de notre patrimoine historique et préhistorique.

Sur ce dernier point, ce document se contentera de rappeler que le spéléologue, par ses talents d'observateur, est un témoin privilégié de traces archéologiques. Il nous appartient en cas de découverte, d'alerter en premier les services compétents (Service Régional de l'Archéologie), tout en assurant une protection des lieux en limitant l'accès, en revenant sur ses pas, en balisant, en limitant la diffusion de l'information.

Ce monde souterrain est à notre porte et quasiment aussi méconnu que le fond des océans.

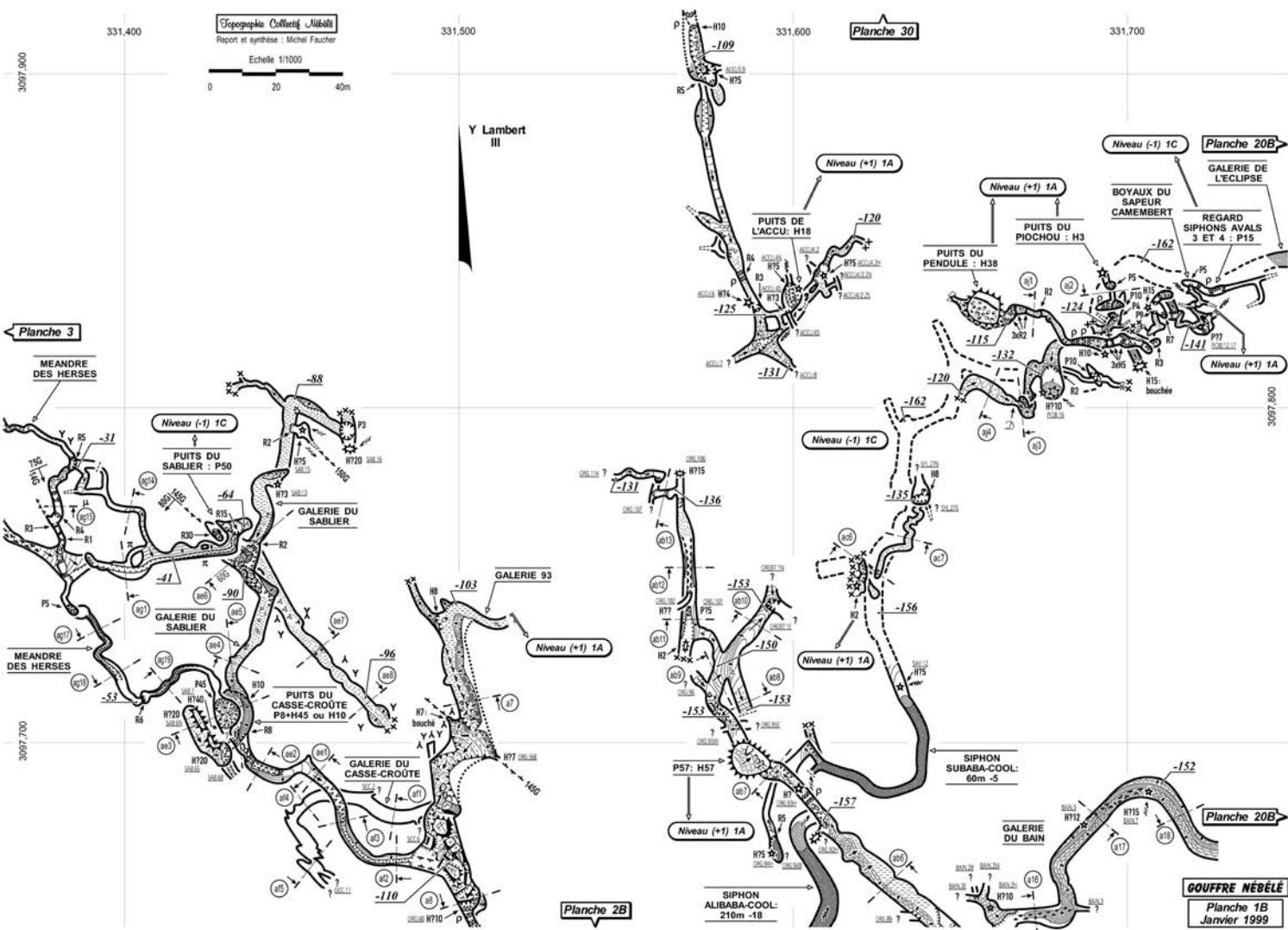


Figure 38. Une toute petite partie de la topographie du Nébélé.

Voici un très bel exemple pour illustrer ces notions de lecture d'éléments de paysage souterrain replacés dans un contexte topographique. Savez-vous reconnaître la plupart de ces symboles ? Il s'agit d'une toute petite partie du réseau du Nébélé (64). La topographie complète représente plus d'une quarantaine de feuilles A3 et nécessite une feuille présentant l'assemblage des autres.

Un logiciel spécifique, Spélétopo, a été développé pour faciliter ce très beau travail d'équipe.

<http://nebele.free.fr> pour découvrir la suite de ce travail ainsi que de superbes photographies.

NOTES PERSONNELLES :



LA VIE DANS LES GROTTES

La biospéologie (ou biospéléologie) a pour but l'étude de la faune cavernicole.

Afin d'étudier cette faune, il est nécessaire de faire un tri parmi tous ces êtres vivants. Ils furent classés en fonction de la faculté à vivre exclusivement ou non dans le monde souterrain (ou hypogé). Trois catégories de cavernicoles sont donc définies par l'étroitesse de leur lien au monde souterrain profond : trogloxènes, troglophiles et troglobies.

- **Trogloxènes** : ce sont des hôtes occasionnels qui ne séjournent que temporairement dans les grottes, car elles leur offrent des conditions favorables (absence de prédateurs, faibles écarts de température, humidité importante). Certaines chauves-souris (figure 41) et les spéléos sont des trogloxènes.
- **Troglophiles** : ces organismes vivent également dans le milieu extérieur. Mais certaines de leurs potentialités les prédisposent à vivre dans le milieu souterrain. Ils choisissent ce milieu parce ce que le climat leur convient et qu'ils peuvent s'y épanouir. Ils se reproduisent dans les cavernes et y ont une activité permanente. *L'Oxychilus cellarius* (figure 42) est un escargot adapté aux conditions présentes dans la zone d'entrée, mais on peut le trouver aussi en surface où il aura adapté son rythme saisonnier ainsi que sa nourriture.
- **Troglobies** : ce sont des animaux totalement inféodés au monde souterrain. Ils y passent toute leur vie et ne supportent pas longtemps les conditions de vie extérieure. Le *Niphargus* (figure 39), l'*Aphænops* (figure 40) sont des exemples de troglobies.

Pour être plus précis dans cette classification, il faut introduire les termes relatifs à la faune aquatique que l'on range en 3 groupes : stygoxène, stygophile et stygobie. Les suffixes xène, phile et bie définissent le degré de dépendance par rapport aux conditions régnant sous terre. Le préfixe troglo étant le plus général pour définir le milieu souterrain (sol, paroi ou aquatique). Le préfixe styglo, faisant référence au Styx, fleuve des enfers dans la mythologie, est plus spécifiquement réservé à la faune aquatique. Les troglobies et donc les stygobies, essentiellement insectes, araignées, crustacés, batraciens, poissons sont caractérisés par leur dépigmentation, une forte régression de leur appareil oculaire, voire une totale disparition de leurs yeux. Leur métabolisme ralenti s'accompagne souvent d'une longévité accrue.

Il arrive que des spéléologues rapportent de leurs explorations des animaux inconnus de la science. La paléontologie (comme la préhistoire) bénéficie aussi des découvertes faites par les spéléologues. Des ossements fossiles de gros mammifères maintenant disparus, surtout l'ours des cavernes, sont trouvés dans des remplissages de grottes, parfois assez loin des entrées, comme dans la Balme à Collomb (Savoie).



En Europe, les chauves-souris qui vivent dans les grottes sont insectivores ; les insecticides ont entraîné leur raréfaction. Il reste néanmoins des populations importantes dans les pays tropicaux (on avance le chiffre de vingt millions d'individus hébergés dans la Bracken Bat Cave, au Texas). On sait que ces petits mammifères utilisent pour se déplacer un système d'écholocation, comparable à notre sonar. Toutes les chauves-souris vivant dans le monde ne passent pas une partie de leur vie sous terre. C'est même une petite partie des espèces de chiroptères qui passe par les grottes. Une remarque étonnante, les chauves-souris dans le monde représentent plus de 20 % des mammifères ! Etonnant non !

En quoi la connaissance de ces êtres « modestes », sous nos latitudes, peut nous aider à mieux comprendre la complexité du monde souterrain ?

Certains de ces êtres (troglophiles, trogloxènes) trouvent sous terre un lieu de protection temporaire. Quel évènement particulier a eu lieu à l'extérieur pour les amener ici ? Le suivi d'une colonie de chiroptères pourra peut-être nous renseigner sur la qualité de l'environnement de la grotte ou sur un possible changement climatique.

Une partie de la faune cavernicole transite depuis les fissures vers les galeries en accompagnant les écoulements d'eau. Les crues provoquent par lessivage des parois, des fissures et des berges, une dérive d'une quantité importante de la faune aquatique souterraine vers les exurgences. L'étude de cette population nous renseignera sur d'éventuelles pollutions, ou sur une liaison avec un autre réseau faisant partie du même SYSTÈME KARSTIQUE.

En fait l'habitat souterrain se subdivise en différents lieux de vie propices à certaines espèces (figure 45). On pourra citer :

- Le milieu aquatique
- Les fissures Les parois
- Les dépôts d'argile, de cailloux
- La matière organique venue de la surface.



Figure 39. *Niphargus*



Figure 40. *Aphænops*



Figure 40. *Aphænops*

Figure 42. *Oxychilus cellerius*. Gastéropode troglophile devenu carnivore (on le voit manger un lépidoptère) pour s'adapter aux ressources nutritives présentes sous terre.



Figure 43. *Meta menardi* Araignée troglophile



Figure 44. *Euprocte urodele* troglophile.
Photo G. Cazes



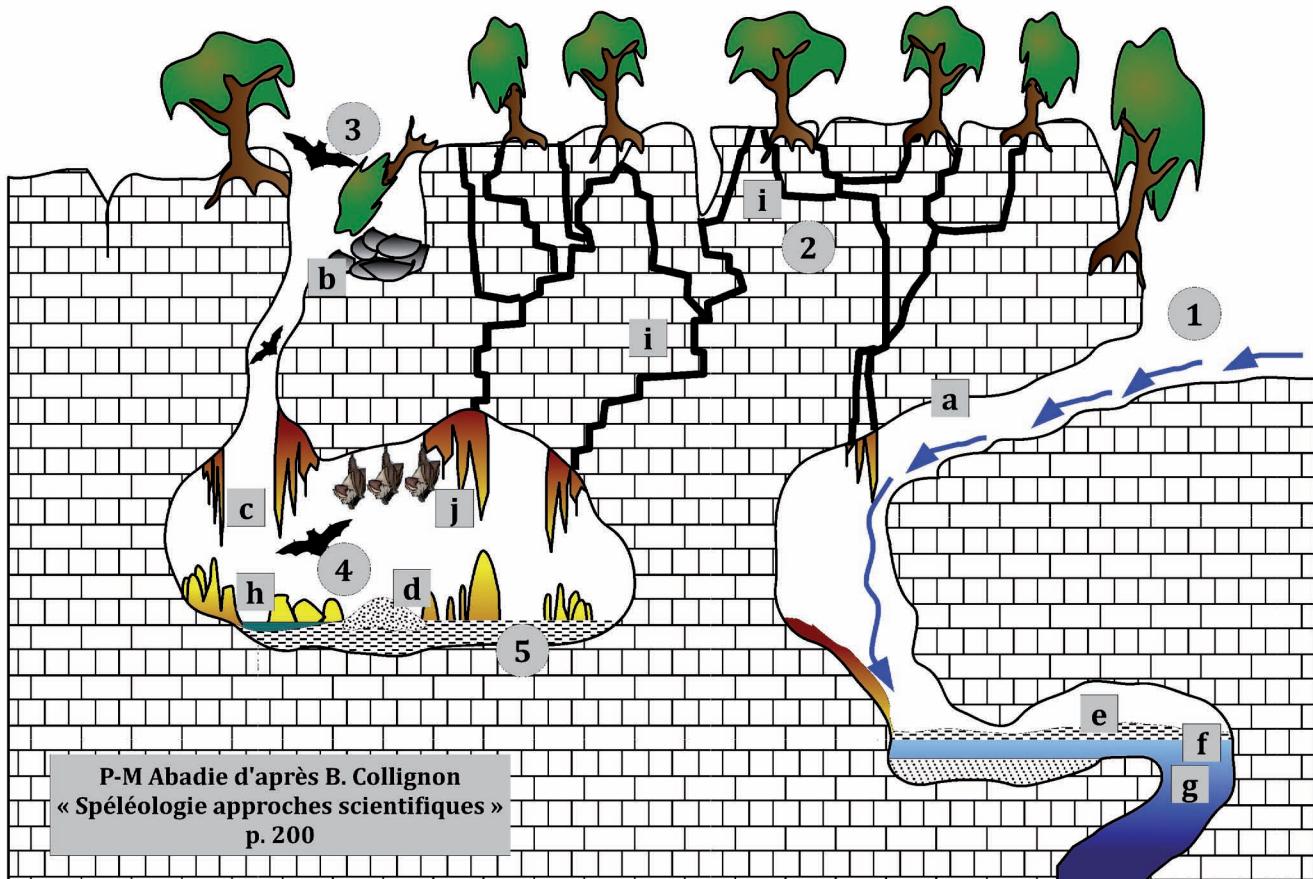


Figure 45.

Cette figure met en évidence la relation milieu de vie et faune que l'on peut trouver sous terre.

SOURCES DE NOURRITURE

- 1) Perte de rivière (débris organiques)
- 2) Infiltrations diffuses (matière organique en solution ou en fine suspension)
- 3) Aven (débris organiques, cadavres)
- 4) GUANO de chauves-souris
- 5) Bactéries autotrophes (ces êtres primitifs sont capables de trouver leur nourriture à partir de composés minéraux)

ASSOCIATIONS FAUNISTIQUES EN CAVERNE

- a) Parois et voûtes, dans la zone de pénombre ; faune pariétale (des parois) composée surtout de trogloxènes : papillons, tricoptères (phryganes), diptères (mouches, moustiques...)
- b) Fond d'avens, dans la zone de pénombre ; faune pariétale comme en a), plus des gastéropodes (escargots), des cloportes, des troglobies principalement carnassiers et de nombreux hôtes accidentels.
- c) Concrétions, suintement ; faune de petits troglobies (coléoptères, myriapodes, collemboles, cloportes)
- d) GUANO ; faune de guanobies et de carnassiers : acariens, collemboles, diptères, coléoptères, pseudoscorpions, mille-pattes.
- e) Berges de rivières, parsemées de débris végétaux portant parfois des moisissures ; riche faune troglobie : coléoptères, collemboles, cloportes, mille-pattes, pseudoscorpions
- f) Surface des eaux ; collemboles.
- g) Eaux courantes ; poissons, amphibiens (protées, larves de salamandres, euproctes), crustacés (décapodes-crabes et écrevisses, amphipodes, isopodes), planaires.
- h) Collections d'eaux, lac, bassin, gours ; collemboles (à la surface), acariens, copépodes.
- i) Fines fissures ; ce milieu est inaccessible à l'homme, mais il abrite une partie importante de la faune souterraine, notamment dans les zones très fissurées situées sous la surface du karst, bien alimenté en matière organique par les eaux d'infiltration.
- j) Voûtes des salles et galeries ; chauves-souris et leurs parasites (acariens, poux, puces moustiques).

COMMENT EXPLOITER « TOUT CELA PENDANT UNE SORTIE »

Soyez curieux et observateur. C'est ce qu'il faut retenir de l'esprit dans lequel ce document a été rédigé. Ce paragraphe va vous donner quelques pistes pour transmettre, attiser cette curiosité chez les autres, avec anticipation ou sans anticipation, dans la préparation.

Cas N°1 : Une sortie topographie

Une reprise d'explo se met en place au sein de votre club. Zut ! La topographie très ancienne ne permet pas de placer la portion nouvellement découverte et encore moins de faire un calage GPS avec l'autre cavité avec laquelle une jonction est pressentie. Il faut refaire la topographie avec des outils « modernes ». Le garçon et la fille nouvellement inscrits ont maintenant assez d'autonomie en progression pour s'intéresser à l'observation. Profitons de cette occasion en établissant un petit programme d'activités.

- Une première étape consiste en l'étude de l'ensemble des documents actuellement en bibliothèque dans lesquels on trouvera des observations déjà consignées.
- En second, une présentation au local du club des matériels qui vont être utilisés pour les relevés, avec un début de prise en main. Ne pas oublier de montrer un carnet topo déjà rempli ainsi que les documents que vous avez triés lors de la première étape. Maintenant rendez -vous ce week-end.
- Troisième étape. Mettez vos deux recrues au travail sur les activités de mesure et de choix de station. Restez aux notes sur le carnet pour l'instant. Au bout d'une dizaine de visées, en ayant permuted les fonctions de vos 2 apprentis observateurs, la « mécanique » est à peu près acquise.
- Quatrième étape. Proposez de venir jeter un coup d'oeil sur vos croquis d'habillage. Commentez-les, en revenant au besoin en arrière pour bien faire la liaison entre élément remarquable et son symbole en plan en section ou en coupe. Dans un premier temps, insistez plus sur l'utilité des notions de morphologie et de karstologie que sur les notions elles-mêmes. Une copie de ce document à vos 2 amis pourra peut-être les inciter à aller plus loin ?
- Cinquième étape. Peut-être avez-vous « oublié » un élément remarquable ? Ils vont peut-être le voir, ou alors il faudra les amener progressivement à le voir. (Je sais, ce n'est pas simple la pédagogie. D'ailleurs s'il y avait une pédagogie pour enseigner.... la pédagogie cela se saurait depuis longtemps.).
- Sixième étape en fonction du ressenti, vous pouvez peut-être proposer de prendre en main le carnet topo, pour une ou 2 visées en restant à proximité. Si cela paraît poser des

difficultés, vous pouvez peut-être songer à faire une séance type croquis d'explo. C'est très formateur et libéré de certaines contraintes. Vous pouvez prendre des photos des segments topographiés.

- Septième étape. Retour en surface et rendez-vous au plus vite pour participer à la séance de report. Cette dernière doit être préparée en ayant rentré préalablement une partie des données dans le logiciel par exemple. Ne rentrez pas tout de suite dans les moindres détails du logiciel de topo. Allez directement aux fonctions qui amèneront à utiliser les données consignées dans le carnet topo. Passez à la phase d'habillage en présentant avant les symboles les plus courants et en insistant sur l'intérêt des coupes et des sections, qui apportent des informations complémentaires dans certaines configurations de réseau. Les photos prises lors de la sortie permettront de mieux comprendre le choix des symboles.

Cas N°2 : Une sortie à thème

Dans le cadre d'un projet scientifique, dont la progression s'inscrit sur une année scolaire, une équipe de lycéens décide de se lancer dans le suivi des chauves-souris présentes dans une portion de cavité. Ce suivi, réalisé sur plusieurs années, a pour but de récupérer les données suivantes :

- La localisation du ou des individus sur la topographie
- L'identification du ou des individus (identification morphologique et/ou acoustique). La capture n'est pas envisageable car soumise à autorisation extrêmement restrictive.
- La mesure de l'effectif par comptage.
- L'horodatage des données.

Les lycéens souhaiteraient mettre en évidence l'évolution du climat en suivant les chiroptères vivant sous terre, dont le cycle annuel est rythmé par les saisons et la nourriture, les insectes, présents au dehors. Votre CDS est partenaire de ce projet. Cet objectif ambitieux demande la réalisation préalable d'objectifs intermédiaires dont on peut lister les principaux :

- Former les lycéens à la progression dans la cavité support de l'étude. Il faudra prévoir deux ou trois séances pour réaliser une petite progression pédagogique adaptée aux besoins liés aux techniques de progression.
- Réaliser la topographie précise de la zone d'étude. Les stations devront être matérialisées pour que les chauves-souris suivies puissent être localisées par rapport à celles-ci. Pourquoi ne pas envisager une topographie en 3D ? C'est aujourd'hui plus facilement réalisable qu'il y a quelques années.

- Se former à l'identification des chauves-souris. Stages, littérature, personne ressource seront mis à contribution. Il faudra réaliser des sorties de terrain pour s'entraîner.
- Pratiquer l'identification acoustique demandera un investissement financier plus ou moins grand en fonction du matériel dans lequel on souhaite investir. Il sera choisi en fonction de 2 critères. Veut-on enregistrer les données sur le terrain pour les traiter en classe ? Veut-on pouvoir pratiquer quelques mesures sur le terrain ?

Il faudra mettre en place un protocole de mesure sur le terrain et une base de données pour y archiver puis classer et traiter les informations recueillies.

On voit bien que dans ce projet les compétences relevant uniquement de la progression sous terre ne sont qu'une partie de celles dont nos apprentis spéléologues auront besoin. L'utilisation des outils informatiques, quelques connaissances en traitement du signal, des qualités d'observation, et de la rigueur seront des compétences appréciables pour conduire ce projet.

Cas N°3 : Une Sortie club/EDS

Aujourd'hui les « grands » sont devant ils apprennent à équiper. Vous êtes avec les moins expérimentés en ayant laissé un peu d'avance à vos équipeurs. L'équipement personnel de chacun a été vérifié, vous avez fait quelques remarques sur le paysage qui entoure l'entrée de la cavité (ROCHE, végétation, circulation d'eau...). Maintenant on y va ! Premier passage bas, premier ressaut, chacun est occupé par les consignes que vous donnez pour franchir les obstacles. Le groupe se reforme dans une première petite salle. Vous savez qu'ensuite il y a un petit bout de méandre suivi par « le puits ». Vous entendez votre collègue cadre qui est avec son équipe... Le puits n'est donc pas encore complètement équipé en double.

Allez on sort la topographie et vous en présentez les grands principes de représentation. Où est l'entrée sur la topographie ? demande l'un de vos apprentis. On estime la distance sur la topo, on lit l'échelle et on compare le résultat à la distance que l'on pense avoir réellement parcouru.

On n'est pas loin de l'entrée, fait remarquer un autre membre du groupe, pourtant il fait noir. Eteignons les lumières ! En fait un peu de lumière arrive, on ne l'avait pas remarqué... Tout comme l'araignée sur sa toile à quelques centimètres de vous ? On rallume. Que fait-elle là cette araignée ?

J'arrête là cet exemple. Je crois que vous avez compris le principe. J'appelle cela : « l'occasion fait le larron ». C'est une observation opportuniste qui va permettre à votre petit groupe d'être actif, de ne pas voir le temps passé, mais surtout de devenir instinctivement



observateur sous terre. Peut -être que ce type de dialogue aura sensibilisé une partie du groupe et que vous devrez leur organiser une soirée ou une sortie plus spécifique, et les faire participer à la pose de fluo capteurs.



Figure 46. Bassin concrétionné avec la marque du niveau d'eau permanent attestant de la période de sécheresse durant laquelle la photo a été prise (Bagnoli Irpino, Avellino (Italie): Photo: Francesco Maurano)

GLOSSAIRE

Ce glossaire vous donnera les définitions des mots en MAJUSCULE des précédents chapitres, mais également des définitions de notions nécessaires à une meilleure description du milieu qui nous intéresse.

Allochtone : Se dit d'une roche, d'un minéral provenant d'un autre endroit que celui où se développe la cavité. On peut trouver des blocs de granit amenés par les glaciers du quaternaire, dans des cavités du piémont pyrénéen. Ces blocs sont des matériaux allochtones.

Aquifère : Terrain ou formation géologique contenant de l'eau.

Aragonite : Cristal de Ca CO₃ du système orthorhombique. Se présentant en petits prismes, en aiguilles ou en fibres. Instable, elle se transforme généralement en calcite.

Autochtone : Terme opposé à allochtone. Se dit d'une roche, d'un minéral provenant de l'encaissant de la cavité.

Calcaire : voir roches sédimentaires.

Calcite : Cristal de Ca CO₃ du système rhomboédrique. Incolore et translucide lorsqu'elle est pure, elle est généralement colorée par les impuretés.

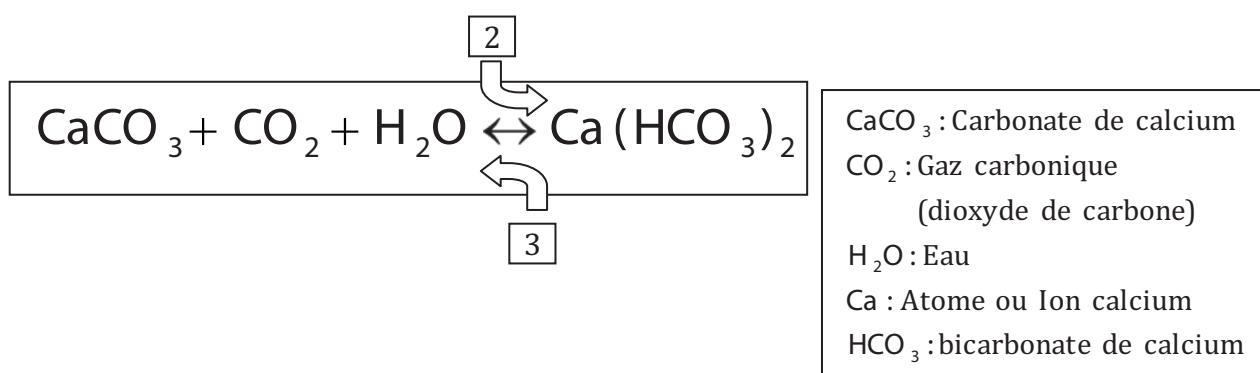
Corrosion : Erosion chimique du calcaire par l'eau agressive.

Dioclase : Cassure affectant un volume rocheux sans déplacement relatif des deux

compartiments, due à un phénomène de décompression de la roche

Discordance : Etat d'un terrain qui ne présente pas de couches en successions parallèles et régulières.

Dissolution : La dissolution est un phénomène physique qui provoque la « disparition » d'un solide (ou gaz) dans un liquide (ex : le sucre se dissout dans l'eau). Dans le cadre de la dissolution du calcaire par l'eau nous pouvons résumer l'ensemble des phénomènes d'équilibre des carbonates de la façon suivante :



La figure ci-après indique la nature des échanges chimiques ainsi que leur localisation au sein d'un karst.

- En 1, l'eau devient acide
- En 2, l'eau acide dissout le carbonate de calcium contenu dans le calcaire
- En 3, le carbonate de calcium repasse à l'état solide en libérant du gaz carbonique.

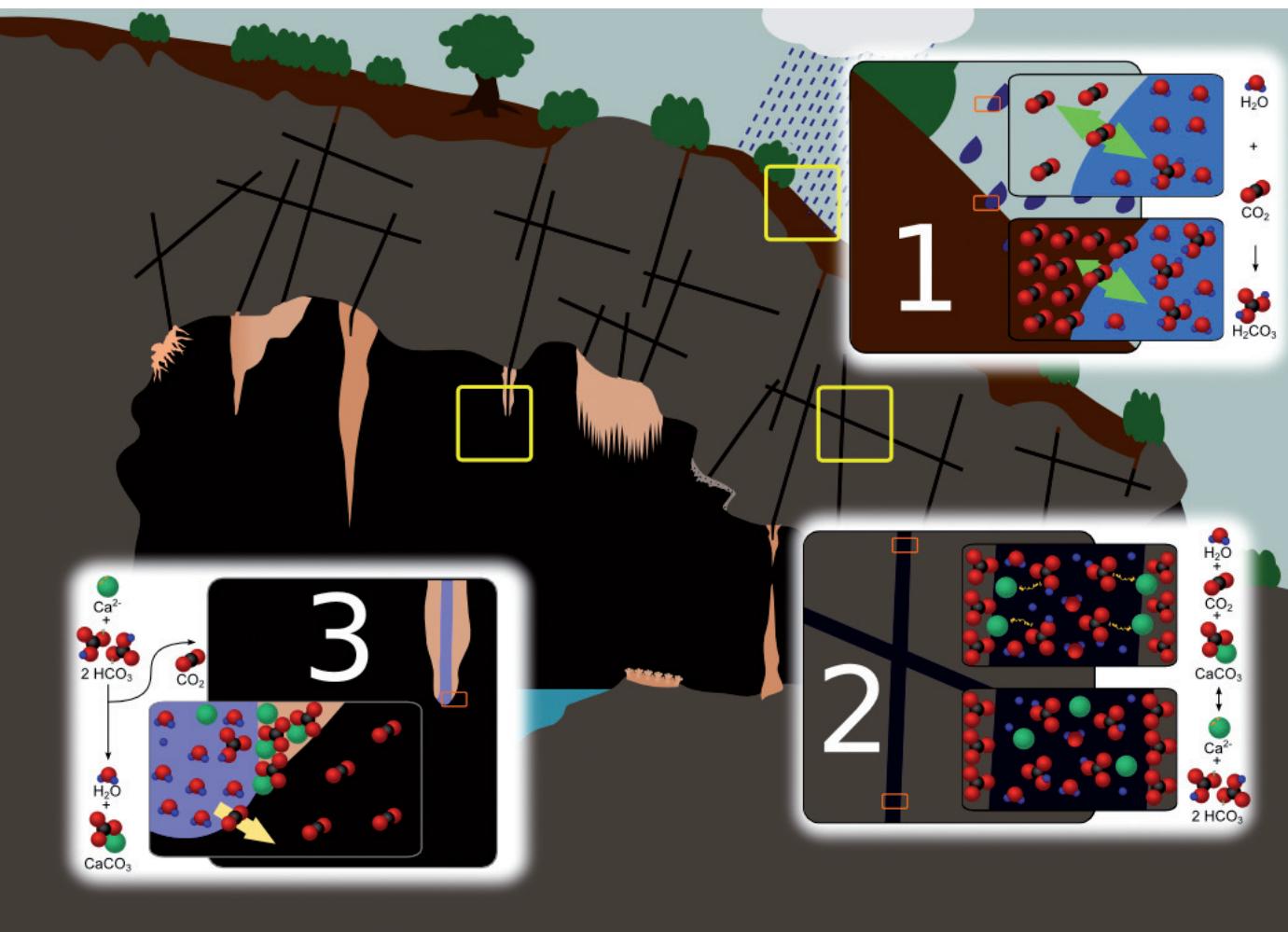
Les différents facteurs en jeu peuvent être alors classés suivant le sens de déplacement de ce subtil équilibre :

Ce qui favorise la formation des calcaires (dans le sens localisé en 3) :

- Pression en CO₂ faible
- Acidité faible
- Température élevée
- Agitation de l'eau

Ce qui favorise la solubilisation des calcaires (dans le sens localisé en 2) :

- Pression de CO₂ élevée (expérience : verser de l'eau Perrier dans de l'eau de chaux troublée)
- Acidité
- Température faible
- Agitation faible



Doline : Excavation circulaire fermée de nature karstique, à fond plus ou moins plat, pouvant avoir de dix à plusieurs centaines de mètres de diamètre. L'origine des dolines semble due à l'existence d'un point d'absorption puisque l'eau de la dépression fermée ne peut s'écouler, après la pluie, que vers la profondeur. (CNRTL.FR ; Derrau)

Dolomie : Roche sédimentaire carbonatée contenant 50% ou plus, de carbonate, dont la moitié au moins sous forme de dolomite (carbonate de calcium et de magnésium).

Emergence : Point de sortie (source) des écoulements souterrains. S'il est diffus, on parle de zone d'émergence.

Endokarst : Partie souterraine d'un massif karstique.

Energie chimique : Cette énergie est libérée ou absorbée lors d'une réaction chimique qui respectivement se traduit par la création ou la rupture d'une liaison entre atomes formant une molécule. Ces échanges d'énergie ont lieu lors des réactions repérées 1, 2 et 3 sur la figure associée à la définition de DISSOLUTION du présent glossaire.

Energie mécanique : Capacité d'un système ou d'un corps à produire du travail mécanique ou son équivalent. Dans le cas de la formation des cavernes, ce travail se traduit par un déplacement de matières minérales.

Erosion : En géomorphologie, l'érosion est le processus de dégradation et de transformation du relief, et donc des roches, qui est causé par tout agent externe (eau, vent, glace, êtres vivants) autre que la tectonique. Ce phénomène de destruction des matériaux conduit à la formation d'un modelé.

Exokarst : Zone superficielle d'un massif karstique.

Facteur : Chacun des agents, des éléments qui concourent à un résultat. Facteurs climatiques, économiques.

Gravité, gravitation : La gravitation est le phénomène d'interaction physique qui cause l'attraction réciproque des corps massifs entre eux, sous l'effet de leur masse. Il s'observe au quotidien en raison de l'attraction terrestre qui nous retient au sol. Ce phénomène physique a également des conséquences sur notre environnement, telles que la stratification de l'atmosphère, des océans, des sédiments...

Guano : Excrément de chauves-souris.

Gypse : Cristal. Sulfate de calcium hydraté, $\text{Ca SO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ du système monoclinique. De dureté faible, il est en outre très soluble. Se présentant fréquemment en grains ou en fibres.

Héritage : Ensemble des processus passés conduisant à la formation d'un modelé aujourd'hui non fonctionnel. On parle d'héritage glaciaire, d'héritage tropical ...

Isotope : Un exemple très connu de couple d'isotopes est constitué par le carbone : le carbone est présent en grande majorité sous son isotope de poids atomique 12 (le « carbone 12 ») ; d'autre part, on peut trouver en faible quantité l'isotope de poids atomique 14 (le carbone 14), qui est chimiquement strictement équivalent au carbone 12, mais qui est radioactif. En effet, les neutrons supplémentaires du noyau rendent l'atome instable. Il se désintègre en donnant de l'azote et en émettant un rayonnement bêta. La proportion de l'isotope instable par rapport à l'isotope stable varie donc au cours du temps. C'est sur cette variation que se basent les méthodes de datation radioactive par couple d'isotopes. C'est certainement l'application la plus importante du concept d'isotope.

Karst : Massif généralement calcaire affecté par la DISSOLUTION et marqué par l'infiltration des eaux.

Karstologie : Branche de la géomorphologie basée sur l'étude scientifique des Karsts.

Lapiaz, Lapié : Ces 2 termes souvent confondus définissent pourtant 2 éléments différents. Le lapié (terme d'origine savoyarde) est la forme mineure la plus caractéristique du karst, rainure plus ou moins profonde résultant de la DISSOLUTION du calcaire en surface et se présentant en groupements denses (CNRTL.FR ; George 1970). On appelle lapiaz les surfaces burinées par les lapiés.

Marne : La marne est une roche sédimentaire contenant du calcaire CaCO_3 et de l'argile en quantités à peu près équivalentes (35 % à 65 %).

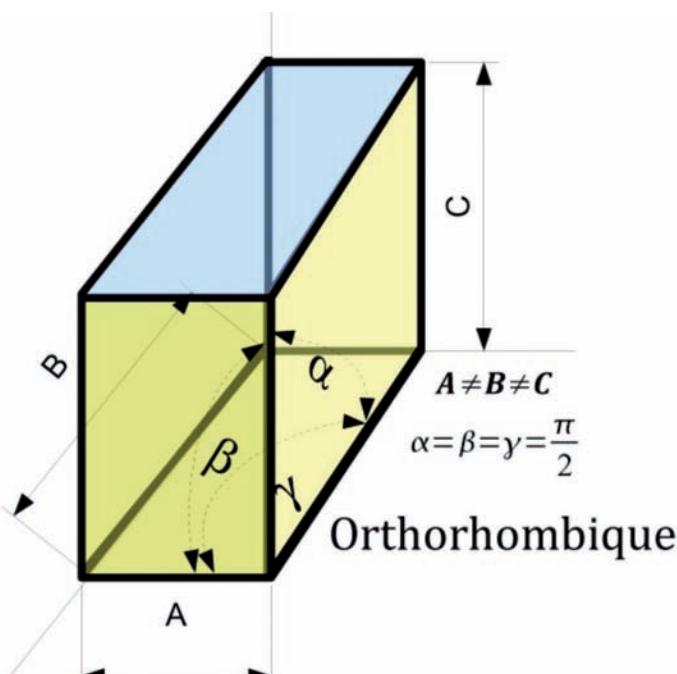
Minéral : Solide naturel homogène possédant une composition chimique définie et une structure atomique ordonnée.

Modelé : Ensemble des formes de surfaces (mais aussi souterraines) marqué par l'action d'agents érosifs précis. On parle de modelé glaciaire, modelé karstique ...

Niveau de base : Altitude pour un système karstique à partir de laquelle l'énergie potentielle (mécanique) devient nulle. C'est généralement l'altitude de l'émergence la plus basse du système.

Orogenèse : Processus de compression et de remontée de l'écorce terrestre provoqué par les mouvements du magma, aboutissant à la formation d'une chaîne de montagne.

Orthorhombique : Les atomes Carbone, Oxygène, et de Calcium, entrant dans la composition de l'aragonite se positionnent entre eux pour donner une structure géométrique régulière. Elle a une forme orthorhombique qui constitue la forme de base du cristal.

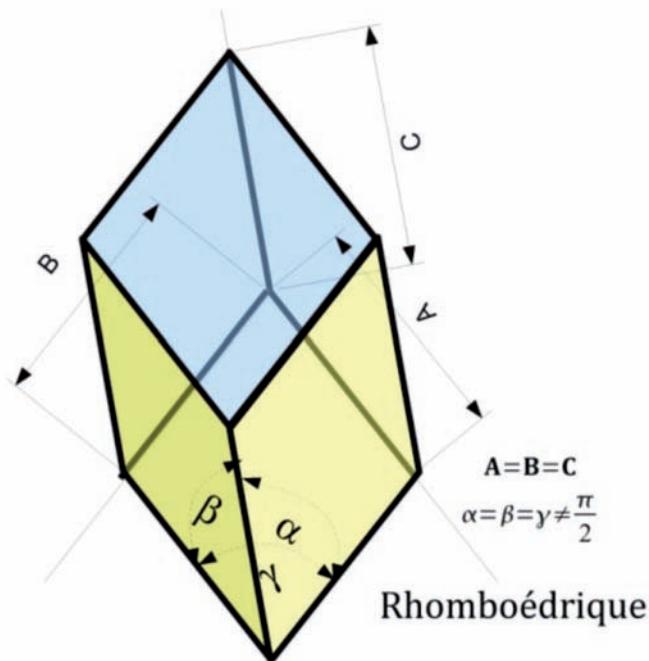


Perméabilité : Aptitude à laisser passer un fluide (de l'eau) sous l'effet d'un gradient (action de la gravité par exemple). Dans le karst, la dimension des fissures conduit à parler de perméabilité en grand.

Pli : Déformation résultant de la flexion et de la torsion affectant les roches.

Réseaux : Ensemble de conduits souterrains explorés et reliés entre eux. C'est donc une réalité spéléologique.

Rhomboédrique : Les atomes Carbone, Oxygène, et de Calcium, entrant dans la composition de la calcite se positionnent entre eux pour donner une structure géométrique régulière. Elle a la forme d'un rhomboèdre qui constitue la forme de base du cristal.



Roche : Une roche est un matériau formé par un agrégat naturel de minéraux, de fossiles, et/ou d'éléments d'autre(s) roche(s). On peut les classer en 3 grandes familles (ignées, métamorphiques, sédimentaires).

Roches sédimentaires : ce sont les roches qui résultent de l'accumulation et du compactage (diagénèse) de débris d'origine minérale (dégradation d'autres roches), organique (restes de végétaux ou d'animaux, fossiles), ou de précipitation chimique (passage à l'état solide d'un corps qui était dissous dans un liquide). Les calcaires sont constitués de carbonates de calcium en association avec d'autres minéraux ; quand la présence d'argile devient importante on parle de marnes. Le grès est également une roche sédimentaire résultant de l'agglomération de restes d'autres roches ou minéraux détruits par l'érosion.

Sédiment : Accumulation d'éléments provenant de la désagrégation, de la DISSOLUTION de roches préexistantes, transportés et déposés par les eaux, le vent, ou de matière d'origine organique.

Strate : Couche, banc, dépôt sédimentaire limité par deux discontinuités parallèles.

Stratigraphie : Etude de la succession chronologique et de la répartition géographique des formations sédimentaires ou d'origine sédimentaire, généralement stratifiées.

Surrection : La surrection correspond à un déplacement des roches par rapport à l'altitude zéro. Ce mouvement conduit à la formation d'un relief positif (altitude croissante).

Système karstique : Ensemble des conduits et fissures alimentant une émergence. C'est une unité de drainage dont une partie seulement peut éventuellement être explorée par les spéléologues.

Système spéléologique : Ensemble de réseaux explorés, non reliés entre eux, mais dont l'appartenance à un même système karstique a été démontrée (par traçage par exemple). C'est donc là encore une réalité spéléologique.

Tectonique : Ensemble des déformations affectant des terrains géologiques après leur formation.

NOTES PERSONNELLES :

INTERPRETATION DE LA FIGURE 24

Le remplissage terrigène domine, mais s'y intercalent des évènements associés à un remplissage chimique (concrétionnement).

0 : Creusement initial de la galerie

1 : De gros éboulements se produisent. Les blocs seront enrobés dans les alluvions de la phase 2

2 : La galerie fonctionne en rivière souterraine avec des alluvions faites de gros galets, comme dans un torrent.

3 : Dépôt de concrétions à la surface des alluvions. Ces concrétions ont un âge d'environ 220 000 ans. (Datation par radio ISOTOPES). Les alluvions 2 sont donc antérieures de 220 000 ans.

4 : Un épais ensemble de dépôts de décantation rythmés (c'est-à-dire dans lesquels on peut voir une alternance de couches claires et sombres) envahit la galerie suite à l'obstruction de son exutoire. Ce type de dépôt peut se faire dans de l'eau n'ayant quasiment aucune vitesse d'écoulement.

5 : Au terme de cet épisode, une coulée stalagmitique recouvre partiellement le dépôt 4. Son âge est d'environ 95 000 ans. Le SEDIMENT 4 s'est donc accumulé entre -220 000 ans et -95 000 ans.

6 : Un recreaseument torrentiel des alluvions 4 se produit immédiatement suivi par le dépôt d'un lit de galets (7). L'âge de cet évènement est antérieur à celui de la stalagmite qui le surmonte (8), datée de 32 000 ans. Enfin un nouveau recreaseument survient (9).

La disposition statistique des galets du remplissage (7) indique que le sens du courant était vers la gauche : dans le lit d'un torrent, les galets plus ou moins plats sont imbriqués de telle sorte que leur partie relevée indique l'aval de l'écoulement, comme l'illustre le médaillon en haut de la figure 24.

POUR EN SAVOIR PLUS

Vous trouverez des références de revues, d'ouvrages mais aussi de sites internet. Certains ouvrages sont anciens, pas forcément faciles à trouver, et n'ont pas été numérisés. Il y a peut être là un travail à entreprendre pour conserver une mémoire collective. C'est dans cet état d'esprit que la FFS développe le **Centre National de Documentation Spéléo** dont on peut consulter le catalogue en ligne. Internet a facilité l'accès aux données nationales mais aussi mondiales. C'est la raison pour laquelle j'ai fait figurer des sites en langue anglaise, contenant de bonnes ressources. Ces ressources seront de toutes natures, textes téléchargeables ou pas, images, schémas, vidéos. La grande variété des supports autorise des exploitations très différentes, sur des soirées ou un CD-ROM de fin de stage. Les références proposées sont de tous niveaux pour que chacun puisse y puiser les informations qu'il recherche en fonction de la progression de ses connaissances. Je ne me suis pas permis d'y associer un « label » débutant, confirmé ou expert, pour ne pas mettre de frein à une saine curiosité.

Bibliographie générale

Revues, périodiques

Bulletin bibliographique spéléologique (annuel).

Karstologia (revue de la Fédération française de spéléologie et de l'Association française de karstologie sur l'étude scientifique des karsts et des grottes).

Spéléo (revue indépendante sur l'actualité spéléologique).

Spelunca (revue de la Fédération française de spéléologie).

Spelunca-Librarie (catalogue en ligne).

Speleoscope (Bulletin de liaison et d'information de la Commission scientifique et de la Commission environnement de la Fédération Française de Spéléologie)

Livres

Choppy J., Où trouver ? Orientation documentaire spéléologique et karstologique française et internationale. 1^{ère} ed. 1984, 2^{ème} ed. 1989, Publication Spéléo Club de Paris

Collection *Dossier Instruction*, Cette collection comporte de nombreux titres dont certains concernent la connaissance du milieu. EFS

Collignon B., *Spéléologie, approches scientifiques*, Edisud, 1988

Geze B., *La spéléologie scientifique*, coll. « le rayon de la science » Seuil, Paris, 1965

Gilli E. ; *La spéléologie*, Que sais-je ? P.U.F, Paris, 1995

Ouvrage collectif, « *Du sport à la science* » ; qui a servi de base à ce document avec l'autorisation des auteurs. http://telechargement.ffspeleo.fr/sport_a_science.pdf

Audra P. et collectif, « *Grottes et karsts de France* » ; Karstologia mémoires N°19, 2010.

Biospéologie, Climat

Darne F., *Approche de la biospéologie*, Dossier d'instruction EFS no116, 1^{re} édition, 1997

Delamare-Debouteville C., *La vie dans les grottes*, P.U.F., Que sais-je ?, Paris, 1971

Ferreira D., Dole-Olivier M.-J., Malard F., Deharveng L., Gibert J., Faune aquatique souterraine de France : base de données et éléments de biogéographie, Karstologia N°42, p15-22, 2^{ème} semestre 2003.

Ginet R. et Decou V., *Initiation à la biologie et à l'écologie souterraines*, Éditions universitaires Delarge, 1977

Ginet R. et Juberthie C., *Le peuplement animal des karts de France*, Karstologia N°10, p43-51, 2^{ème} semestre 1987 et Karstologia N°11-12, p. 61-71, 1988

Jeannel R., *Faune cavernicole de la France*, Lechevalier, Paris, 1926

Jeannel R., *Les fossiles vivants des cavernes*, Gallimard, Paris, 1943

Lismonde B., *Climatologie du monde souterrain T1 & T2*, CDS Isère

Martel E.-A., *L'évolution souterraine*, Flammarion, Paris, 1908, p. 242 - 289

Racovitza E. G., *Essai sur les problèmes biospéologiques*, Biospeologica I, 1907

Siffre M., *La France des grottes et des cavernes*, éd. Privat, 1999, p. 136 - 153

Siffre M., *Les animaux des gouffres et des cavernes*, Hachette, 1979

Thines G. et Tercafs R., *Atlas de la Vie souterraine : les animaux cavernicoles*, Boubée (Paris) et De Visscher (Bruxelles), 1972

Vandel A., *Biospéologie : la biologie des animaux cavernicoles*, Gauthier-Villars, Paris, 1964

Viré A., *La faune souterraine de France*, Paris, 1900

Géologie Karstologie Hydrologie

Audéat M. ; *Notions de géologie, géomorphologie et hydrogéologie à l'usage des spéléologues*, 3^{ème} édition 1997, Département enseignement de l'UIS.



- Bauer J. ; *Eléments d'hydrodynamique karstique*, Spélunca N°86
- Bauer J. ; *Principes de karstologie physique*, Les cahiers de l'EFS N°7
- Chauve P. ; *Des grottes et des sources*, Belin pour la science
- Choppy J. ; *Pourquoi se creusent les grottes*, Karstologia mémoire N°16-2008
- Cusey R. et D. ; *La calcite*, minéraux et fossiles des Pyrénées hors série N°4
- Dars R. ; *La géologie*, Que sais-je ? P.U.F.
- Foucault A. ; *Guide du géologue amateur*, Dunod.
- Gilli E. ; *Eaux et rivières souterraines*, Que sais-je ? P.U.F.
- Jaillet S. ; *La crue sous terre*, Les cahiers de l'EFS N°10
- Michel F. ; *Roches et paysages : reflets de l'histoire de la terre*, BRGM éditions, Belin pour la science.
- Prost A. ; *La terre : 50 expériences pour découvrir notre planète*, Belin pour la science.
- Renault Ph. ; *La formation des cavernes*, Que sais-je ? P.U.F.
- Salomon J-N ; *Précis de Karstologie*, Presses universitaires de Bordeaux.
- Trombe F. ; *Les eaux souterraines*, Que sais-je ? P.U.F.
- Vanara N. ; *Le karst des Arbailles*, Karstologia mémoire N°8-2000

Archéologie

Guillot F. ; *Spéléologie et archéologie*, Les cahiers de l'EFS N°6

Webographie générale

Association Française de Karstologie ; Articles en ligne, liste de thèses et d'ouvrages, <http://www.karstologie.com/>

Bakalowicz M. ; Structures rencontrées dans un karst
<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-structures-karst.xml>

Base de données minéralogique <http://www.mindat.org/>

Base de données roches et minéraux <http://rea.ccdmd.qc.ca/ri/minerocguide/>

BRGM éducation <http://eduterre.brgm.fr>

Bunnel D. ; Virtual cave, Visitez virtuellement différents types de cavités en admirant et comprenant les formes que l'on y trouve, <http://www.godearthgraphics.com/virtcave/>

CNRS le portail des dossiers « saga sciences » <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/saga.htm> et plus particulièrement : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/cycle/eauxSouterr.html>

Échelles stratigraphiques. Le site le plus complet en la matière est celui de la commission internationale de stratigraphie. <http://www.stratigraphy.org/>

Encyclopédie de géologie en ligne <http://www.geopedia.fr>

ENS Lyon ; Ressources multimédia planète terre <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/objets>

Jean D.; Exposé karstologie stage initiateur http://ecole-francaise-de-speleologie.com/stages/lot_2003/karstolot/index.htm

Journal international de spéléologie <http://www.ijc.speleo.it/index.php?lang=fre>

Jura spéléo ; Vues souterraines brièvement commentées <http://juraspeleo.ffspeleo.fr/docu/photos/souterrain/souterrain.htm>

Karst waters institute; Karst resources for teachers <http://www.karstwaters.org/educationlinks/teachers.htm>

Konig C. ; Grottes et cavernes, secrets et mythes http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/geologie/d/grottes-et-cavernes-secrets-et-mythes_592/c3/221/p1/

La réserve naturelle souterraine de la grotte de hautecourt <http://hautecourt.univ-lyon1.fr/>

Moteur de recherché spécialisé dans l'information scientifique <http://www.scirus.com/>

Quelques très bonnes pages sur la biospéologie <http://www.pragmasoft.be/carnets/bio/animcav/index.html#Introduction>

Stouff P. ; Site perso SVT, chimie des carbonates <http://pst.chez-alice.fr/svtiufm/carbonat.htm>

Un parcours géologique transpyrénén avec notice et panneaux d'interprétation sur le terrain. <http://www.routetranspyreneenne.com/>

Un très beau cours interactif de géologie <http://objectif-terre.unil.ch/index.php?id=lev1>

YouTube propose de bonnes vidéos sur des sujets qui nous passionnent. Pour ne pas perdre de temps en recherche, je vous propose simplement de rentrer cagira73 dans la zone recherche. Une liste contenant des sujets tels que **la tectonique, l'échelle des temps géologiques, le cycle de l'eau, la formation des montagnes, les roches...** Vous y trouverez également les émissions de la série « C'est pas sorcier ». Grottes gouffre et abimes **1, 2 et 3**.

Un petit truc : Les centres dans lesquels nous réalisons nos stages ou nos regroupements ne sont pas toujours reliés à l'internet. Il faut donc avoir ces vidéos sur notre PC pour une consultation hors ligne,



ce qui demande d'avoir préalablement « aspiré » le document. Une des méthodes les plus simples, consiste à utiliser le navigateur **Firefox** sur lequel vous aurez ajouté un additif nommé DownloadHelper. Vous pourrez sauvegarder vos vidéos sur votre disque dur pour une consultation sans internet.

Ressources multimédia sous licence commons <http://www.wikimedia.com>

Webographie topographie

Les symboles topographiques conventionnels de l'UIS http://www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols/cave_symbols.php?languageSelection=french

Webographie biospéologie

CS MidiPy; Clé détermination des invertébrés, à construire pour être amenée sur le terrain. <http://www.comite-speleo-midipy.com/Sitebio/Docs/determination/cledeetermination.pdf>

CSR MidiPy, Site bio <http://www.comite-speleo-midipy.com/Sitebio/index.htm>

Lips J. Quelques rudiments de biospéologie <http://environnement.ffspeleo.fr/biospeologie/documents/initiationbio.pdf>

Pernet Olivier De belles pages sur la biospéologie <http://acces.inrp.fr/evolution/biodiversite/biodiversite-et-societe/biodivKar/>

TABLE DES MATIÈRES

UN MILIEU FRAGILE QU'IL FAUT PROTEGER	2
IL RESTE, SUR NOTRE PLANÈTE, DES LIEUX INEXPLORES	3
UNE BONNE FORMATION AVANT TOUT	4
LA STRUCTURE DE CE DOCUMENT	5
DE L'EAU	6
DES ROCHES	8
L'EAU SOUTERRAINE	8
COMMENT SE CREUSENT LES GROTTES	14
UN PHÉNOMÈNE GÉOLOGIQUE	17
QUAND LES GROTTES SE REMPLISSENT	21
ÉVOLUTION DES GROTTES	25
LE KARST	28
LE CLIMAT DES GROTTES	32
LA SPÉLEOLOGIE SCIENTIFIQUE	35
LA GROTTE COMME LABORATOIRE	37
LES OUTILS DU SPÉLEOLOGUE OBSERVATEUR	38
LA VIE DANS LES GROTTES	41
COMMENT EXPLOITER « TOUT CELA PENDANT UNE SORTIE »	45
CAS N°1 : UNE SORTIE TOPOGRAPHIE	45
CAS N°2 : UNE SORTIE A THÈME	46
CAS N°3 : UNE SORTIE CLUB/EDS	47
GLOSSAIRE	49
INTERPRETATION DE LA FIGURE 24	55
POUR EN SAVOIR PLUS	56
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE	56
Revues, périodiques	56
Livres	56
BIOSPÉLEOLOGIE, CLIMAT	57
GÉOLOGIE, KARSTOLOGIE, HYDROLOGIE	57
ARCHEOLOGIE	58
WEBOGRAPHIE GÉNÉRALE	58
WEBOGRAPHIE TOPOGRAPHIE	60
WEBOGRAPHIE BIOSPÉLEOLOGIE	60
TABLE DES MATIÈRES	61



Remerciements :

Le mémoire d'instructeur constitue le plus souvent la dernière étape du cursus, pour la plupart de celles et ceux qui se sont lancés dans cette aventure. Je n'ai pas dérogé à la règle. A titre personnel, il marque la fin d'une aventure et la poursuite d'un engagement fédéral sous un autre angle.

Il aura fallu trouver un équilibre pas toujours simple entre passion et raison, travail et loisir, famille et bénévolat.

Vers qui doit-on tourner ses remerciements ? Si je remonte à mes débuts en spéléo vers le milieu des années 70 au sein de l'Association Spéléologique Charentaise, un nom me vient immédiatement en tête : Pierre Vauvillier. J'espère avoir redonné une partie du temps que tu as su donner à toutes celles et ceux que tu as entraîné dans ces séances de désobstruction et de topographie. Merci à toi Pierre et aux anciens de l'ASC qui se rappellent sûrement avoir supporté un gamin infatigable parleur. Merci à mes parents, pas du tout spéléo, qui ont su me faire confiance et qui ont consacré de leur temps pour m'aider à assouvir cette passion.

Le travail et ses mutations tant géographiques que structurelles, le service national au Niger, la famille qui s'agrandit, tous ces évènements m'ont amené tardivement vers les brevets fédéraux. C'est au hasard des évènements et des rencontres qui m'ont porté que j'en suis arrivé là. Si fin 90 quelqu'un m'avait dit que 10 ans plus tard je finirai mon cursus instructeur je ne l'aurais pas cru. Merci à ceux qui par une parole, un geste m'ont encouragé, convaincu. J'espère qu'ils se reconnaîtront dans la liste des prénoms qui suivent : Jean-Charles, Dominique, Jean-François, Paul, Pascal, Gérard, Philippe, Jacques, José, Emmanuel...J'en oublie sûrement, qu'ils me pardonnent.

Malgré ce que peuvent dire ou penser certains, les brevets de l'EFS évoluent tant dans leurs contenus, que dans leurs formes et leurs modalités d'évaluation. C'est dans cet esprit qu'est née l'idée de ce document. Au fil du temps les candidats se présentant à l'initiateur fédéral de spéléologie arrivent avec de moins en moins de vécu. Ce manque d'expérience et de connaissance peut rendre pour certains ce stage dense et difficile. A l'heure actuelle seuls 3 jours sur 7 sont consacrés à de l'évaluation, les 4 autres à de la formation. Cette dernière est répartie sur 2 grands pôles : les techniques d'encadrement, la connaissance du milieu. Où est l'essentiel dans ce vaste sujet ? Tel est l'objectif de ce mémento, qui ne se veut pas exhaustif, mais incitatif comme son titre l'indique. La vulgarisation est une pratique difficile, car elle doit aborder les notions essentielles sans les déformer. J'espère y être arrivé avec le concours et les conseils de nombreuses personnes.

Ce mémoire a été relu sur le fond et sur la forme par :
Abadie I., Biot V., Godart J-F., Jaillet S., Meysonnier M., Marque N.,
Roussel J-C., Thomas M.

Merci aux photographes :
Abadie I., Cazes G., Dominique J., Dorez J., Jaitlet S.

Mes derniers remerciements iront vers celle qui partage ma vie et ma passion depuis plus de 20 ans et vers nos enfants, embarqués dans nos aventures et mis parfois aussi à contribution. Merci Isabelle, Yann, Sophie et Noémie.

Morlaàs, juillet 2010.



ISSN : 0990-9060