

Géomorphologie : Les origines de la grotte de Saint-Marcel

Ludovic MOCOCHAIN, Jean Yves BIGOT

Le plateau de Saint-Remèze est constitué d'une épaisse couche de calcaire crétacé (130 - 112 Ma) qui borde la moyenne vallée du Rhône. Ce plateau est intensément karstifié, comme l'atteste le développement de la grotte de Saint-Marcel qui dépasse 53 km.

La grotte de Saint-Marcel est constituée de réseaux étagés sur plusieurs niveaux. Deux de ces niveaux (intermédiaire et supérieur) correspondent à des conduits en grande partie abandonnés par les écoulements. Ces conduits présentent de grandes sections et se développent horizontalement sur plusieurs kilomètres. Le troisième niveau (inférieur) est actif et partiellement noyé, il a été reconnu en plongée jusqu'à 65 m sous le niveau de l'Ardèche. L'étagement des niveaux horizontaux de la grotte de Saint-Marcel n'a aucun lien avec la structure géologique qui recoupe sans incidence majeure tous les réseaux. Cette observation permet de saisir le rôle du niveau de base dans la configuration étagée des réseaux horizontaux de la grotte. Dans le périmètre des gorges de l'Ardèche et de la moyenne vallée du Rhône, l'étude des niveaux repères liés à la crise de salinité messinienne permet de reconstituer les oscillations du niveau de base au cours des six derniers millions d'années à l'origine de la disposition étagée du karst.

Les investigations morphologiques menées dans la grotte ont permis d'identifier trois grandes phases de spéléogénèse et deux grands modes de circulation des eaux souterraines. Il s'agit en premier lieu de la structuration en profondeur du drainage du plateau de Saint-Remèze lors du creusement des canyons messiniens durant la crise de salinité. Au lendemain de la crise, à 5,32 Ma, la remise en eau de la Méditerranée a provoqué une brusque remontée du niveau de base produisant un refoulement hydrologique aux exutoires du karst messinien. Ce refoulement a déclenché le creusement per ascensum de conduits vauclusiens : les puits-cheminées. Cette spéléogénèse remontante, dite per ascensum, s'est reproduite au cours du Pliocène à chaque stade de la remontée du niveau de base. Durant le Pliocène (5,32 à 2 Ma), l'Ardèche a aussi connu de longues phases de stabilité propices à la spéléogénèse horizontale. Cette spéléogénèse correspond à un drainage des eaux du plateau de Saint-Remèze sur lequel se sont connectés de larges recouvrements souterrains de méandre de l'Ardèche.

Introduction

Les études morphologiques menées entre 2002 et 2007 dans la grotte de Saint-Marcel ont permis de restituer sa longue histoire. La grotte de Saint-Marcel se développe principalement sur trois grands étages. Deux étages sont fossiles et situés très en contre-haut de l'Ardèche ; le troisième est actif et se développe en grande partie sous ou au niveau de l'Ardèche. L'étagement des réseaux est indépendant du pendage des couches géologiques car ils recoupent sans incidence la structure plissée du massif. L'indépendance du karst par rapport à la structure géologique démontre les relations entre les niveaux de grotte et les positions de l'Ardèche au cours du Mio Pliocène. Les récentes études menées dans la vallée du Rhône [Clauzon, 1982] et dans la basse vallée de l'Ardèche [Martini, 2005] constituent un cadre géologique de référence pouvant inclure toutes les étapes de formation de la grotte de Saint-Marcel.

L'approche karstologique s'articule autour d'une double problématique, d'une part le fonctionnement hydrologique des grands niveaux de la grotte et, d'autre part, logique d'étagement liée aux différentes positions occupées par l'Ardèche depuis six millions d'années.

1 - Géologie et morphologie du plateau de Saint-Remèze

Le plateau de Saint-Remèze est formé d'une puissante couche de calcaire crétacé (fig. 1) de faciès urgonien (250-300 m). Ce plateau est délimité : au nord, par les massifs de la Dent de Rez (719 m) et du Serre de Barrès (667 m), au sud, par la vaste plaine d'Issirac remplie de sédiments éocènes au faciès calcaire peu karstifiable, à l'est par la vallée du Rhône et à l'ouest par la plaine de Vallon-Pont-d'Arc (fig. 2). Cette épaisse couche de calcaire a été plissée à l'Éocène durant la phase pyrénéenne, pour former un large brachyantoclinal d'orientation est-ouest, puis hachée ensuite par diverses phases tectoniques oligo-miocènes [Pascal *et al.*, 1989]. Cette structure plissée et faillée est façonnée par trois aplanissements qui lui confèrent son caractère morphologique de plateau.

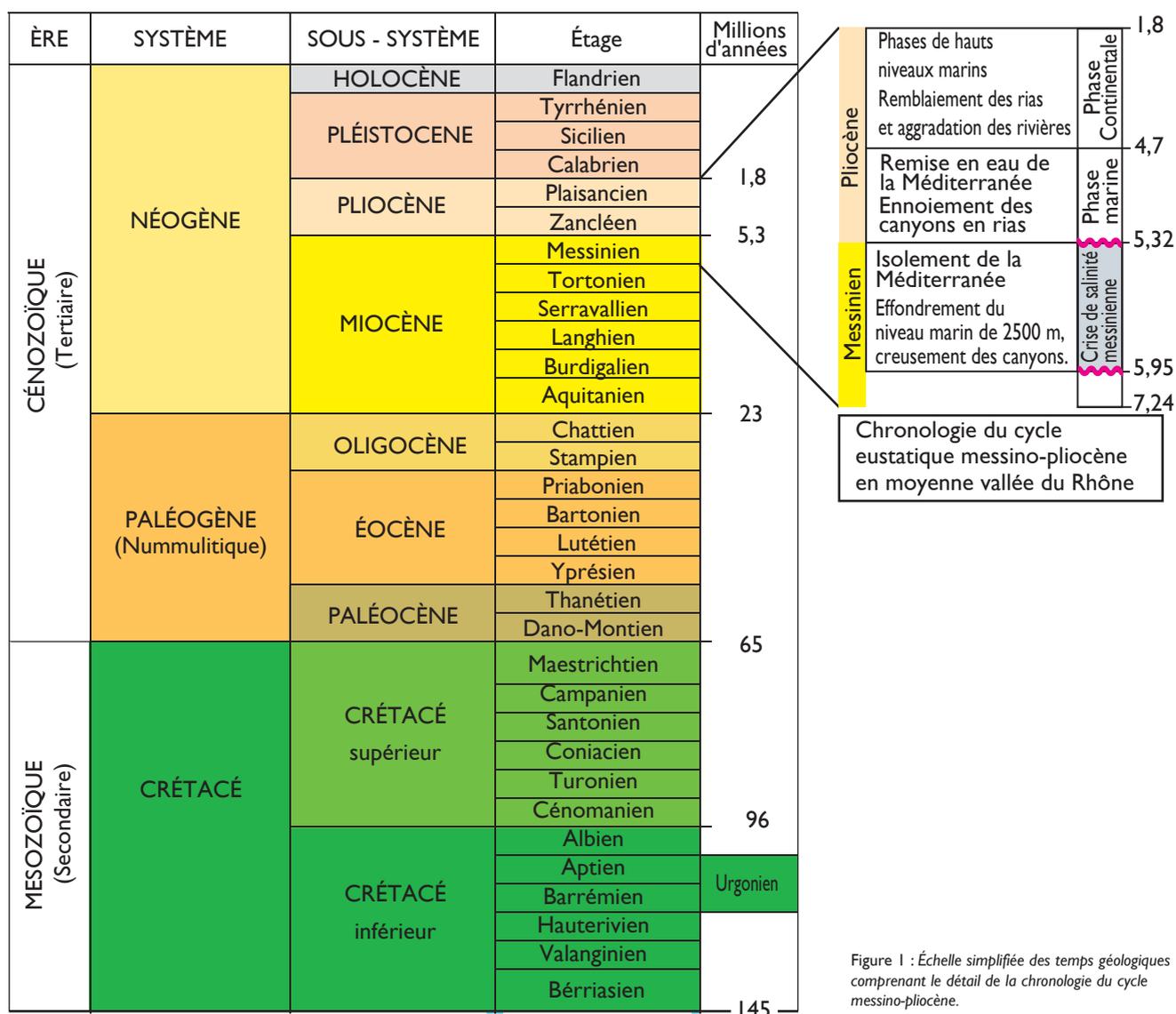


Figure 1 : Échelle simplifiée des temps géologiques comprenant le détail de la chronologie du cycle messino-pliocène.

Le plus haut des trois aplanissements est d'ampleur régionale et correspond à une surface située à 400 m d'altitude encore bien visible dans le paysage. Cette surface recoupe notamment le sommet de l'anticlinal de Saint-Remèze. Le second aplanissement est emboîté dans le précédent et forme une surface à l'altitude moyenne de 330 m située entre le village de Bidon et les gorges de l'Ardèche. La genèse du second aplanissement a pu être corrélée à l'épisode décrit dans les travaux de Jacques Martini qui correspond à une série de larges recoupements souterrains de méandre d'environ sept kilomètres de développement entre les altitudes de 380 m et 360 m, il s'agit de paléo-drains appelés "paléo-rivière souterraine de Saint-Remèze".

Faciès urgonien : on entend par faciès la nature de la roche ou du terrain. Le faciès urgonien correspondant à un calcaire blanc d'origine biochimique à rudistes et orbitolinidés, très purs formés il y a environ 110 Ma.

Brachyanticlinal : large anticlinal de forme circulaire dont la section par un plan horizontal n'est guère plus longue que large.

Crise de salinité messinienne : la crise de salinité correspond à un abaissement de 2000 m du niveau de la mer Méditerranée dû à son évaporation [Ryan et al., 1973] à la suite de la fermeture du détroit de Gibraltar il y a 5,95 Ma (fig. 1). L'effondrement du niveau marin a provoqué le creusement de profonds canyons comme celui du Rhône qui dépasse les 1000 m de profondeur au droit des Saintes-Maries-de-la-Mer [Clauzon, 1982].

Rias : vallées fluviales ennoyées suite à une remontée du niveau de la mer.

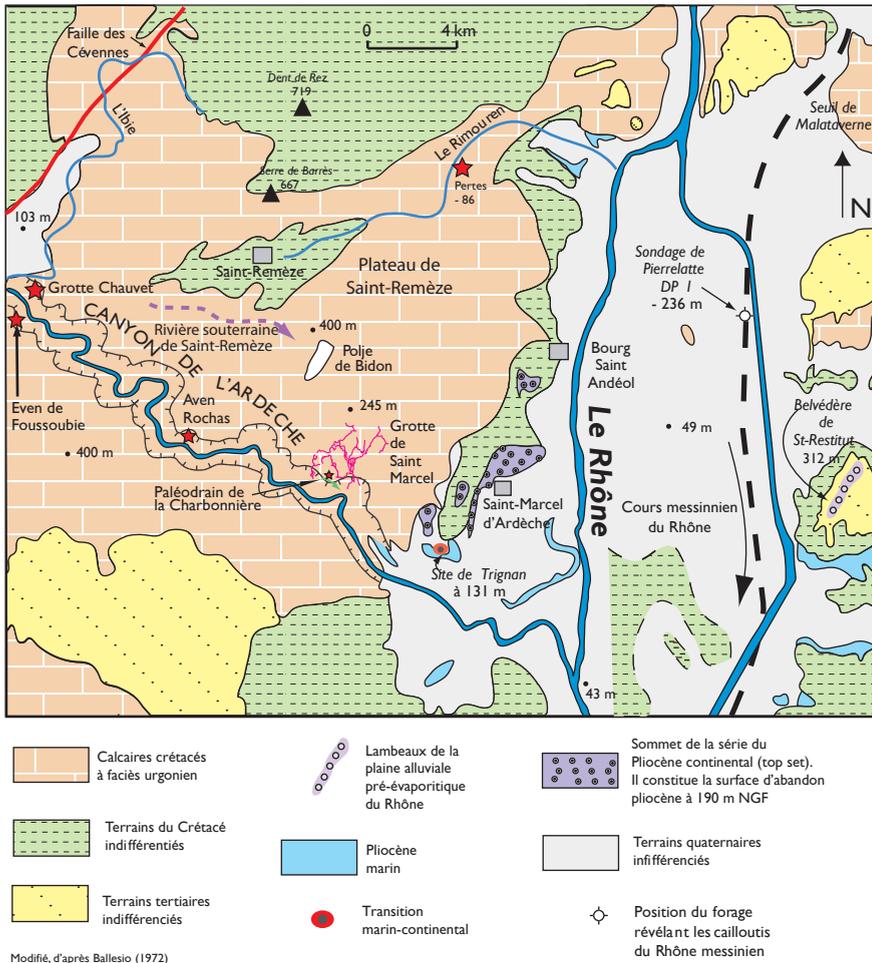


Figure 2 : Le plateau de Saint-Remèze dans son contexte géologique et géographique. Situé sur la rive droite de la moyenne vallée du Rhône, le plateau de Saint-Remèze domine le paysage rhodanien de près de 350 m. L'Ardèche entaille ce plateau par de profondes gorges incisant le calcaire sur des hauteurs pouvant parfois dépasser les 300 m. Le niveau de base du karst est déterminé par les réseaux hydrographiques de l'Ardèche, de l'Ibie et du Rhône.

À la fin du Miocène, l'Ardèche est alors tributaire d'un paléo-Rhône qui coule vers 340 m d'altitude au droit du belvédère de Saint-Restitut [Clauzon, 1982]. Le dernier aplanissement est circonscrit aux bordures est et ouest du plateau de Saint-Remèze. Il s'agit d'un aplanissement qui façonne la retombée du plateau vers la vallée de l'Ibie à l'ouest (à environ 260 m NGF) et la retombée du plateau sur la vallée du Rhône à l'est vers 220 m NGF.

Durant la crise de salinité, le creusement du canyon du Rhône, jusqu'à -236 m NGF au niveau de Pierrelatte (fig. 2 et 3), entraîne le creusement des gorges de l'Ardèche au maximum jusqu'à leur profondeur actuelle à 50 m NGF au droit de Saint-Martin-d'Ardèche. Ce différentiel de creusement de 300 m, entre les canyons messiniens du Rhône et de l'Ardèche (+50 Ardèche et -236 m Rhône), est vraisemblablement d'origine karstique à en juger par la découverte d'un important karst noyé reconnu en plongée sous le lit de l'Ardèche. On peut penser que la genèse de ce karst noyé a en effet ralenti,

sinon stoppé, l'incision du canyon messinien de l'Ardèche par engouffrement des eaux de la rivière dans des pertes rejoignant la vallée messinienne du Rhône par un itinéraire souterrain. L'exploration du karst noyé a révélé l'existence de morphologies de la zone vadose du karst, au moins reconnues jusqu'à 45 m sous le niveau actuel de l'Ardèche (photo 1). La genèse de telles formes implique un niveau de base situé en-dessous des formes vadoses observées, ce qui conforte l'hypothèse d'un écoulement souterrain de l'Ardèche en direction du Rhône messinien.

La crise messinienne de salinité prend fin brutalement par la remontée du niveau marin à 5,32 Ma au tout début du Pliocène [Cita, 1975]. La vallée du Rhône [Clauzon *et al.*, 1995] et la partie aval des gorges de l'Ardèche, sont envahies par la mer formant de profondes rias (fig. 3). Au cours du Pliocène ces profondes rias vont subir un comblement important dû à l'apport sédimentaire du Rhône et de l'Ardèche. Le colmatage des rias débute par un cône deltaïque qui avance de l'amont vers l'aval par progradation, il s'agit d'un *Gilbert-type-fan-delta* [fig. 3; Clauzon *et al.*, 1995]. À ce comblement des rias correspond aussi un exhaussement du lit des rivières par aggradation. Au fil de leurs progressions, les *Gilbert-deltas* enregistrent la position du niveau marin sous la forme d'une discontinuité sédimentaire séparant les apports continentaux du lit des rivières des sédiments déposés en mer au-delà du front des deltas. Dans la littérature [Clauzon *et al.*, 1995; Clauzon, 1996], cette discontinuité est appelée transition marin/continental. En bordure du plateau de Saint-Remèze, la transition marin/continental est visible sur le site de Trignan (Saint-Marcel-

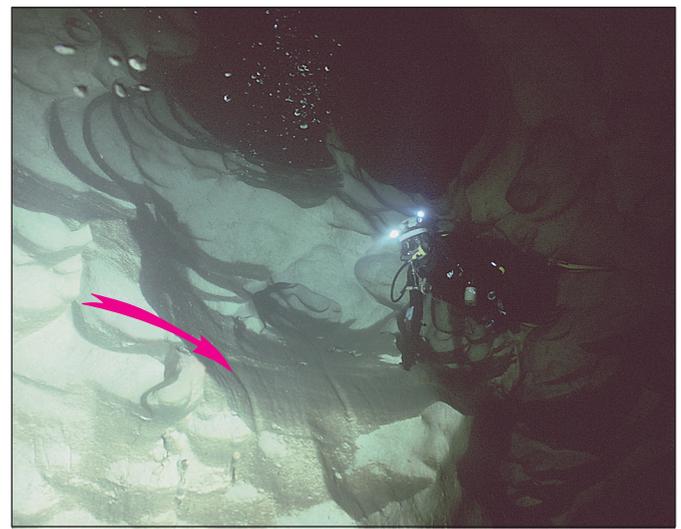


Photo 1 : Conduit noyé à 40 m de profondeur sous l'Ardèche, en aval de l'étage inférieur (grotte du Bateau). On peut observer à gauche en contrebas du plongeur des cannelures creusées par un écoulement gravitaire sur les parois de la galerie (GC)

d'Ardèche) à l'altitude de 130 m pour un âge estimé à 4,7 Ma. Le comblement des rias par aggradation, s'est achevé dans la région de Saint-Marcel-d'Ardèche, vers 200 m d'altitude au niveau de la plaine de Granouillet (fig. 2).

Depuis le Pléistocène, l'Ardèche et le Rhône ont entamé une ré-incision de leur vallée pour aboutir à l'actuelle topographie. En résumé, la crise de salinité a généré, dans le paysage ardéchois, quatre grands niveaux repères qui retracent l'évolution du Rhône et de l'Ardèche depuis 6 Ma (fig. 4) : vers 6 Ma, l'Ardèche se situe à l'altitude de 360 m, au niveau de la paléo-rivière souterraine de Saint-Remèze [Martini, 2005]. L'aplanissement formé par cette ancienne position de l'Ardèche est appelé, dans la littérature, surface d'abandon pré-évaporitique [Clauzon, 1996] car elle marque la position de l'Ardèche avant l'incision de son canyon messinien (fig. 3-1).

Le déclenchement de la crise de salinité à 5,95 Ma provoque une incision des canyons du Rhône et de l'Ardèche qui prend fin à 5,32 Ma. Le fond des talwegs constitue le second niveau repère. Il restitue la position des cours d'eau à la fin de la crise, juste avant leur submersion par la mer au pliocène (fig. 3-2).

NGF : Nivellement Général de la France. En géologie et en géomorphologie, pour qualifier l'altitude d'un objet (grotte, surface d'aplanissement, terrasses...) il est de coutume de ramener cette altitude au niveau actuel de la mer afin d'éviter tout contre sens au niveau des altitudes relatives. Ainsi, chaque altitude notée m NGF, est une altitude absolue, totalement indépendante d'une entrée de grotte ou d'un fond de vallée.

Vadose : qui se réfère à la partie exondée du karst. Les formes vadoses sont typiques d'une genèse au-dessus des zones noyées et temporairement noyées.

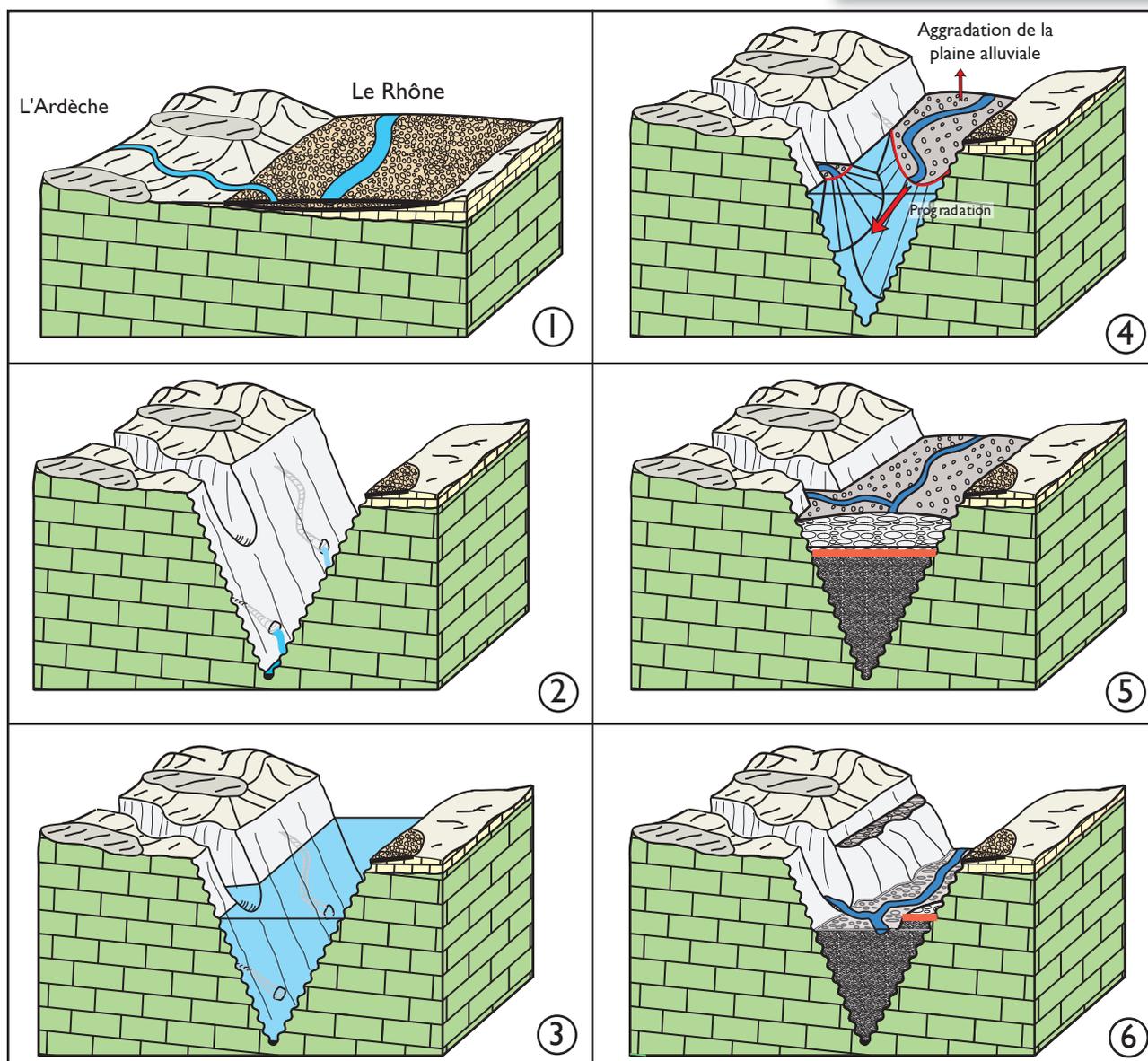


Figure 3 : Blocs-diagrammes illustrant l'évolution de la moyenne vallée du Rhône et la Basse Ardèche calcaire au cours du cycle eustatique messino-pliocène.

1/ Le Rhône et son affluent l'Ardèche à la veille de l'incision de leur canyon juste avant le déclenchement de la crise de salinité. Les plaines alluviales du fleuve et de la rivière forment la surface d'abandon pré-évaporitique.

2/ Le Rhône et son affluent l'Ardèche incisent leur canyon au cours de la crise de salinité messinienne. Notez le différentiel de creusement entre les deux canyons. Cette dissymétrie est due à de la nature calcaire du plateau de Saint-Remèze. L'Ardèche a en effet stoppé l'incision de son canyon au cours de la crise, au bénéfice d'un parcours souterrain.

3/ Les rias du Rhône et de l'Ardèche lors de la remise en eau de la mer Méditerranée. L'ouverture du détroit de Gibraltar entraîne une remontée du niveau de la mer et la submersion des canyons. La discontinuité séparant les sédiments marins des sédiments continentaux est appelée "transition marin/continental".

5/ Le remblaiement des rias s'accompagne d'un lent exhaussement du lit des rivières par aggradation*. Le niveau de base s'élève progressivement jusqu'à combler pratiquement l'intégralité des canyons messiniens. Cette large plaine alluviale constitue la surface d'abandon pliocène.

6/ Au cours du Quaternaire (Pléistocène), les rivières vont ré-inciser une partie de leur vallée pour atteindre leur topographie actuelle.

À 5,32 Ma, la remise en eau de la Méditerranée fait remonter le niveau marin qui va ensuite demeurer stable durant la phase de comblement des rias (fig.3-3). La position du niveau marin est restituée par la transition marin/continental vers 130 m NGF sur le site de Trignan (fig 3-4).

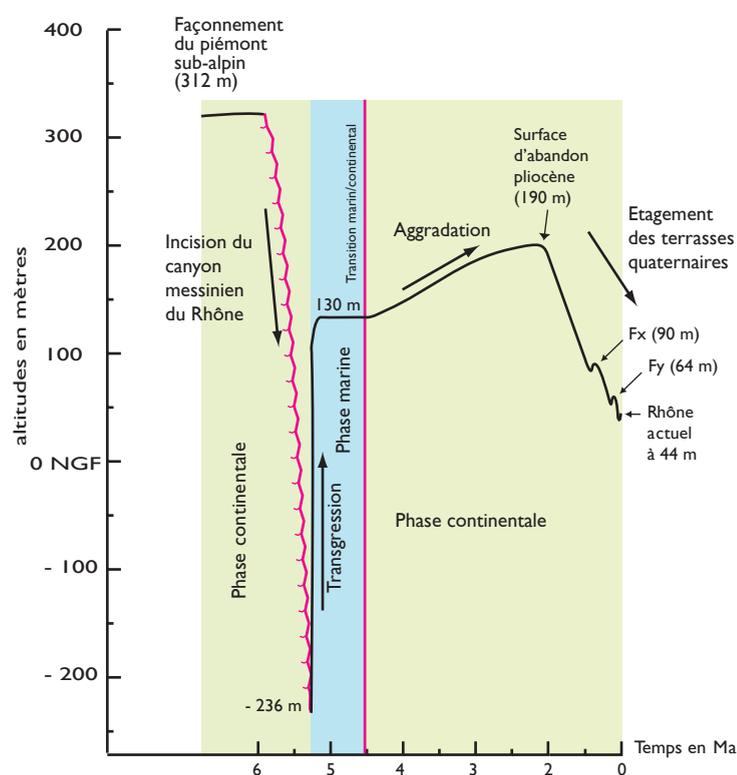


Figure 4 : Courbe d'évolution relative du niveau de base restituée d'après l'étude des niveaux repères en moyenne vallée du Rhône. Cette courbe reprend l'âge et la position en altitude des niveaux repères induits par la crise de salinité messinienne.

Le remblaiement des rias a pour conséquence l'exhaussement du lit des rivières jusqu'à 200 m NGF entre 4,7 Ma et 2 Ma (fig. 3-5). Cette altitude correspond à la surface d'abandon pliocène qui est ensuite fossilisée par l'encaissement des rivières au cours du Quaternaire (fig 3-6).

L'étude des quatre niveaux repères restitue les grandes tendances de l'évolution du niveau de base régional (fig. 4). Il se trouve que l'intégralité des réseaux de la grotte de Saint-Marcel est située dans la fourchette des oscillations du niveau de base au cours des six derniers millions d'années, ce qui permet de proposer une nouvelle interprétation de la formation de cette cavité majeure.

2 - Les étages de la grotte de Saint-Marcel

La grotte de Saint-Marcel présente plusieurs étages de galeries subhorizontales superposés sur près de 230 m entre -10 et 220 m NGF. Les altitudes respectives des réseaux de Saint-Marcel permettent d'identifier trois grands étages : l'étage inférieur, dont le développement est compris entre -10 et 50 m d'altitude, l'étage intermédiaire, entre 80 m et 180 m d'altitude, et enfin l'étage supérieur qui se développe autour de 220 m d'altitude (fig. 5).

II.1 L'étage inférieur

L'étage inférieur, principalement composé du réseau V, comprend toute la partie noyée et post-siphon des réseaux de Saint-Marcel. Ce réseau noyé est en général actif et totalise un développement de plus de 17 km. L'étude et l'interprétation de l'étage inférieur sont rendues difficiles par le caractère très technique des explorations en plongée souterraine. Toutefois, nous savons que les eaux de l'Ardèche, provenant des pertes de la Cadière et chargées de détritiques, empruntent une partie du réseau V et se mélangent avec les eaux plus froides et claires provenant du plateau.

L'alimentation de l'étage inférieur (réseau V) est donc mixte avec, d'une part les pertes de l'Ardèche, et d'autre part,

Aggradation : alluvionnement important d'une rivière qui tend à combler sa vallée. Dans le karst, cette dynamique se traduit par une élévation du niveau de base et un colmatage des exutoires.

Niveau repère : un niveau repère est un marqueur géologique qui restitue une ancienne position du niveau de base, telle qu'une surface d'aplanissement ou une terrasse alluviale. La position spatiale et l'âge respectif de chaque niveau repère permet de produire une courbe qui retrace les oscillations du niveau de base au cours des temps géologiques. Ainsi, l'étude des niveaux repères de la vallée du Rhône permet de détecter les oscillations du niveau de base au cours des six derniers millions d'années. Cette évolution, présentée sous la forme d'une courbe, est ensuite utilisée par les karstologues pour déterminer l'âge des différents étages d'une grotte.

des eaux karstiques provenant du plateau. Dans les parties basses de l'étage inférieur, les circulations s'effectuent principalement en régime noyé, parfois à grande profondeur (-10 m NGF dans l'Aval Profond), avant de resurgir en bordure de l'Ardèche selon un mode vauclusien.

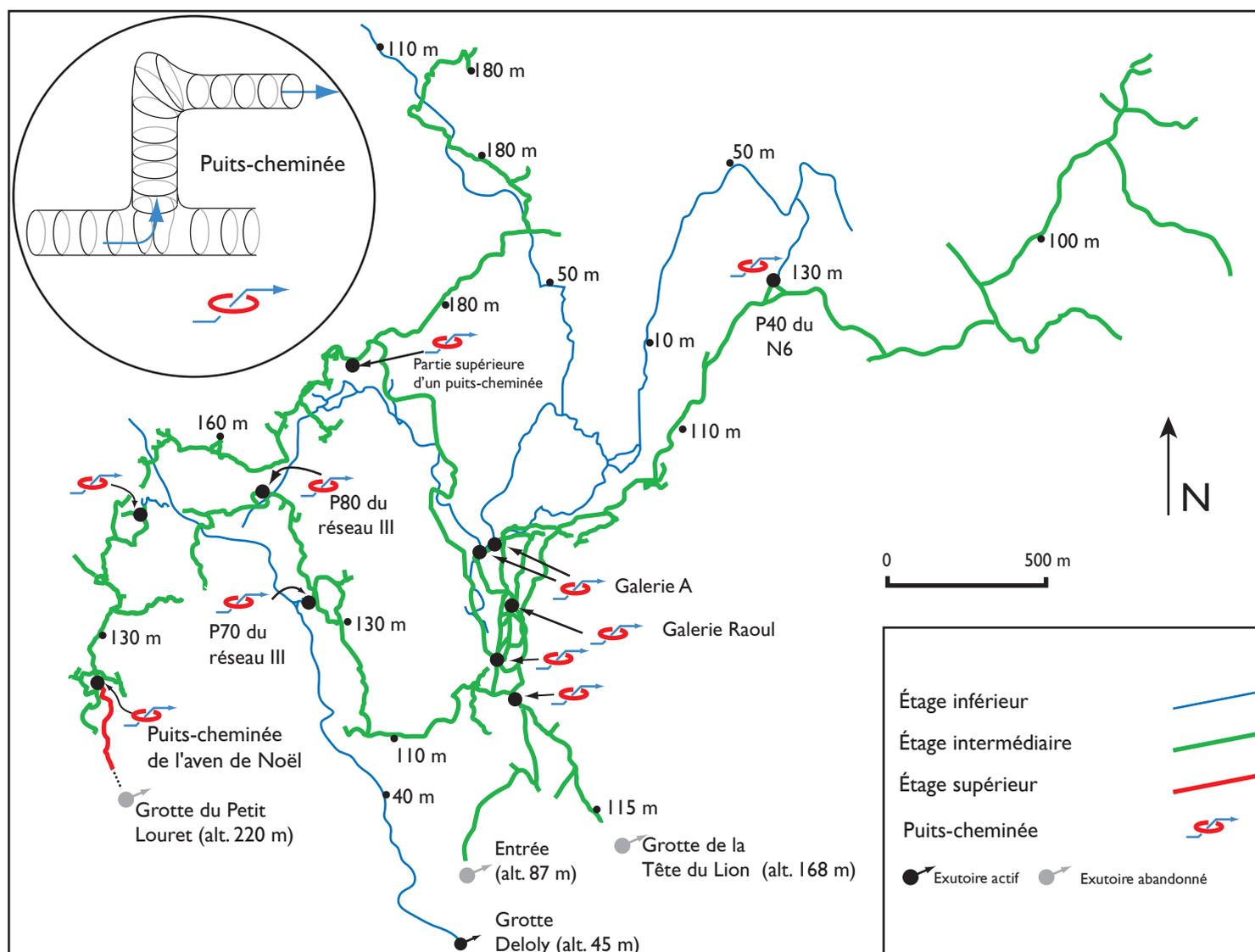


Figure 5 : Carte de localisation des puits-cheminées de la grotte de Saint-Marcel.

II.2 L'étage intermédiaire

L'étage intermédiaire regroupe la plus grande partie des réseaux de l'aven de Noël et de la grotte de Saint-Marcel : le réseau I, la galerie du Lac, le réseau IV, la galerie Raoul, l'intégralité des réseaux II et III, la galerie Principale et la galerie Supérieure de l'aven Noël (fig. 6).

Le réseau II

Le réseau II forme un ensemble de galeries qui se développent assez loin sous le plateau en direction du nord-est à une altitude moyenne de 100 m NGF. Depuis l'entrée naturelle de la grotte de Saint-Marcel jusqu'au départ de N I4 (proche du fond actuel), cet ensemble de galeries présente un caractère remarquablement horizontal dont l'altitude oscille en moyenne de plus ou moins quinze mètres. La direction générale et la longueur du réseau II montrent qu'il est exclusivement alimenté par des eaux issues du plateau. Ce réseau présente une morphologie en tube, orné de nombreuses cupules et coupoles et autres formes pariétales de la zone noyée ou épinoyée du karst (voir partie III, chap. 2). D'une manière générale, la coupe longitudinale des réseaux de la grotte de Saint-Marcel présente un profil en long en "dents de scie". L'incidence du pendage des couches calcaires est en fait corrigée par l'existence de plusieurs petits puits creusés sur diaclases qui relient un drain creusé sur joint de strate à son prolongement situé en contre-haut ou en contrebas (photo 2 a et b), ce qui permet de conserver l'horizontalité des profils en long des différents étages de la grotte de Saint-Marcel.

Le réseau II comporte de remarquables puits, comme le P 40 de la galerie N 6 (fig. 7) ou ceux de la galerie A. Ces puits indiquent une filiation entre les niveaux noyés (étage inférieur) et le réseau II (étage intermédiaire). Cette filiation apparaît évidente sur la topographie où les conduits fossiles se superposent aux conduits noyés, ce qui tend à montrer que les oscillations de l'Ardèche au cours des derniers millions d'années n'ont absolument rien changé à la logique de ces circulations karstiques.



Photos 2 a et b : Exemple d'un puits de raccordement qui permet à une galerie de conserver un profil en long horizontal à l'échelle d'un étage (Puits Ascendant de la galerie N 13, réseau II de la grotte de Saint-Marcel). En haut la partie supérieure du puits, en bas le puits vu en contre-plongée (JYB)



Le réseau III

Le réseau III présente deux parties distinctes : une partie aval au profil en long horizontal autour de 100 m NGF et une partie amont, la galerie B, qui se développe à l'altitude de 130 m. La limite entre la partie aval (est) et la partie amont (ouest) est marquée par le P70 qui met en relation le réseau III avec l'étage inférieur (voir coupe page I41). La partie aval du réseau III montre des morphologies bien spécifiques de la zone noyée du karst (galerie en tube ornée de cupules et grands coups de gouge). Cette partie aval prend naissance au niveau de la galerie des Gours suspendus, c'est-à-dire au sommet du P70. Ce conduit vertical, correspond à l'amont de la galerie des Gours suspendus. Le P70, qui n'accuse en fait que 50 m de dénivellation, assure le lien et matérialise la filiation entre l'étage inférieur et l'étage intermédiaire (fig. 5 et coupe page I41).

La partie amont du réseau III, la galerie B, se situe en contre-haut du P70, en moyenne autour de 130 m NGF. Elle est géographiquement proche

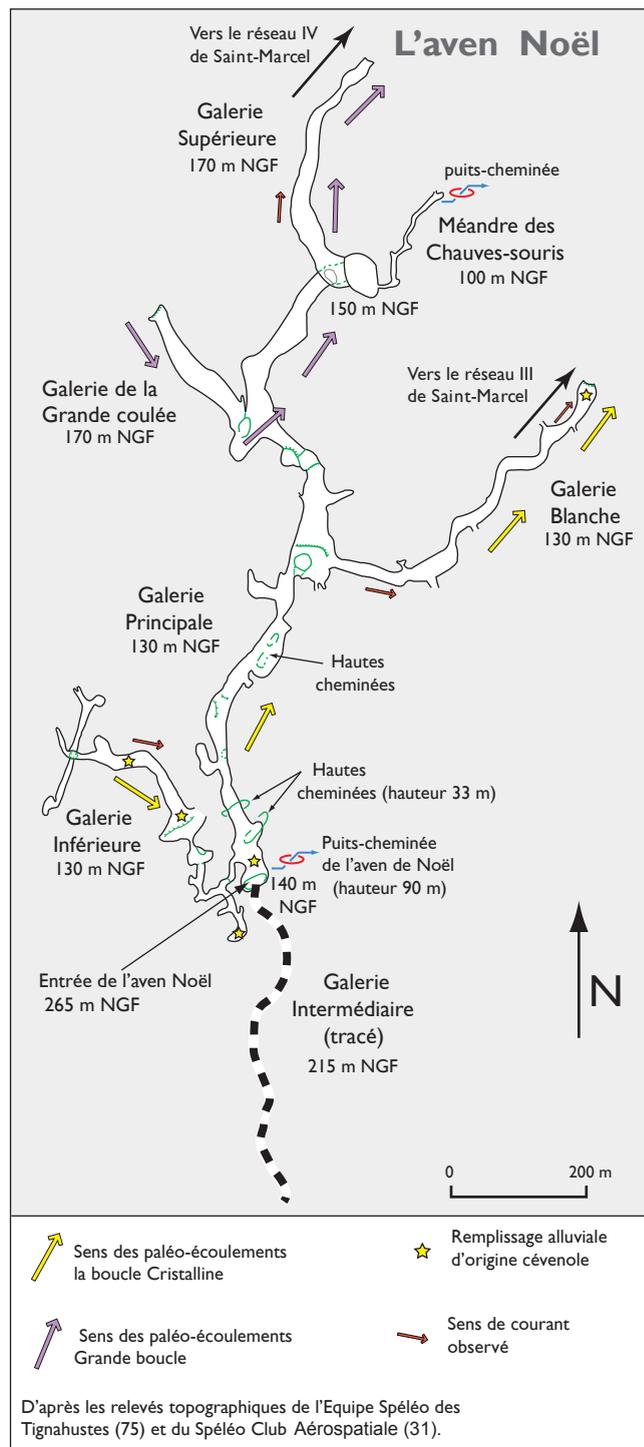


Figure 6 : Plan de l'aven Noël.

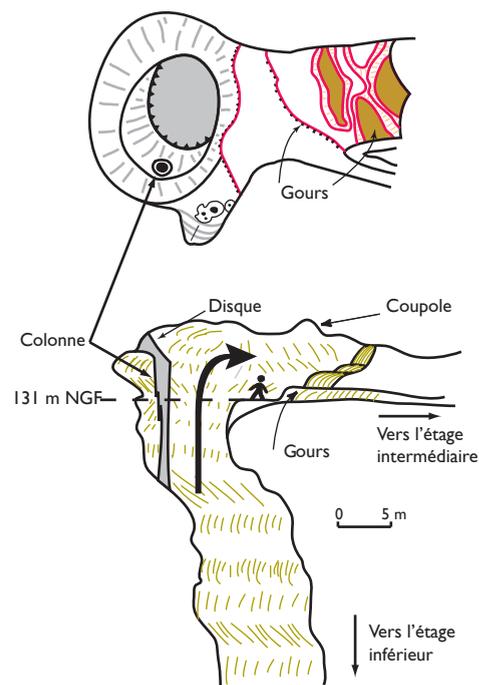


Figure 7 : Plan et coupe simplifiés du puits-cheminée dit 'P40' de la galerie N6 (réseau II) qui relie l'étage inférieur à l'étage intermédiaire.

de l'Ardèche et conserve un profil en long horizontal calé à environ 130 m d'altitude. Les morphologies de la galerie B diffèrent peu de la partie aval du réseau III. Le terminus spéléologique actuel de la galerie B est très proche de la galerie Blanche de l'aven de Noël. Les altitudes de ces deux galeries, ainsi que leurs morphologies similaires, montrent qu'il s'agit du même réseau. En effet, il existe dans les deux galeries un remplissage fluviatile identique composé de dragées de quartz, schistes et micaschistes transportés par l'Ardèche (boucle Cristalline).

La galerie B est aussi connectée à l'étage inférieur par un puits, le P80 (fig. 5). Au sommet du puits, à l'altitude 130 m, on peut observer des cannelures verticales profondément incisées dans les parois de la galerie (photo 3) et dominées par de belles coupes. Ces indicateurs morphologiques attestent de la proximité immédiate de la surface piézométrique, et confirme un stade de stabilité de l'Ardèche à 130 m NGF dans la partie aval des gorges.

Les réseaux I et IV

Le réseau I présente les plus grandes sections de galeries de toute la grotte de Saint-Marcel, du moins jusqu'à la Grande Barrière (voir partie III, chap. I).

Une étude morphologique de détail de la bifurcation de la Grande Barrière (fig. 8) a permis de constater que l'amont des grandes galeries du réseau I était le réseau IV qui provient du sud-ouest (Grande boucle). À la Grande Barrière, un chenal de voûte bien visible en plafond provient du nord, c'est à dire de l'amont du réseau I, et se prolonge au sud vers l'aval du réseau I. Ces observations suggèrent que le conduit originel est bien celui du réseau I qui se développe le long d'un axe N-S sur plusieurs kilomètres. La connexion du réseau IV (demi-boucle), provenant de l'Ardèche, avec le réseau I a eu lieu plus tardivement. Cette connexion a entraîné le recalibrage de la partie aval du réseau I entre la Grande Barrière et la Cathédrale. Vers l'amont, le terminus spéléologique du réseau IV se trouve très proche et à la même altitude, 160 m NGF, que le terminus de la galerie Supérieure de l'aven de Noël, il s'agit en fait du même conduit. Les vastes galeries qui composent cette portion de réseau (galerie Supérieure de l'aven de Noël et réseau IV) sont ornés de grands coups de gouge (photo 5) et contiennent un remplissage détritique fin allochtone composé de sables à éléments de quartz et argiles à micas de couleur beige et rouge.

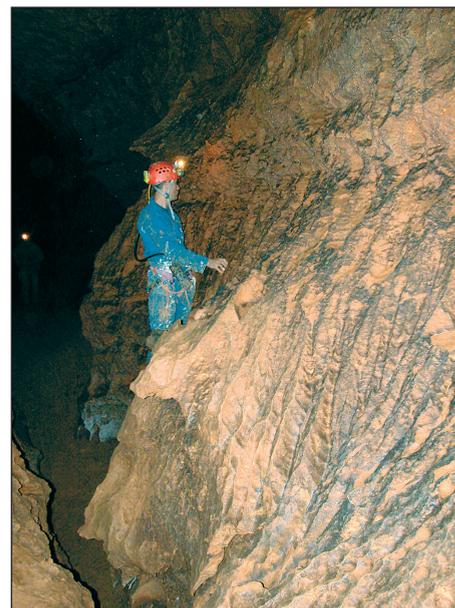


Photo 3 : Le sommet du "P80" vers 130 m d'altitude dans le réseau III (grotte de Saint-Marcel). On peut observer à droite du personnage les lapiáz de paroi qui caractérisent le fonctionnement épinoyé de cette partie du réseau (LM)

Paragénéisme : l'évolution paragénéti- que d'un conduit correspond au creusement préférentiel de sa voûte sous l'effet du dépôt et de l'accumulation d'un remplissage au sol. Ce phénomène est présenté et analysé dans les travaux de Philippe Renault (1967). En Ardèche, on associe ce phénomène de creusement à la remontée du niveau de base.

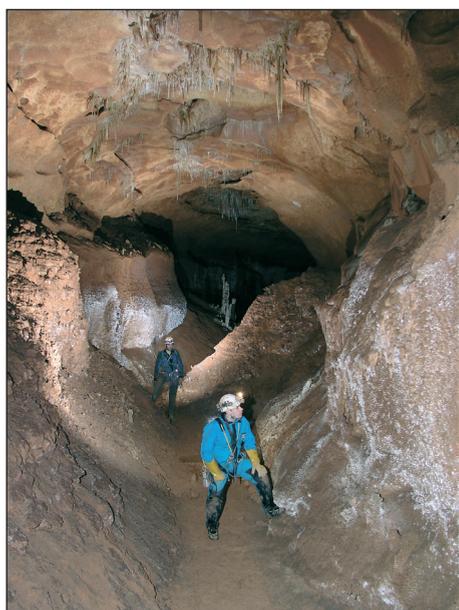


Photo 4 : Le remplissage argileux a pratiquement atteint la voûte de la galerie de la Chaussée des Géants en amont du réseau I (étage intermédiaire de la grotte de Saint-Marcel) (JYB)

Les galeries des réseaux I et IV présentent également de nombreuses banquettes de remplissage évoquant une évolution paragénéti- que de la voûte des galeries. En certains endroits, le remplissage est encore en place et montre que la section fonctionnelle de la galerie devait être plus réduite que la section actuellement visible, parfois complètement dégagée de son remplissage. Les phénomènes de paragénéti- sme observés dans la grotte de Saint-Marcel sont l'expression souterraine de l'évolution remontante du niveau de base..

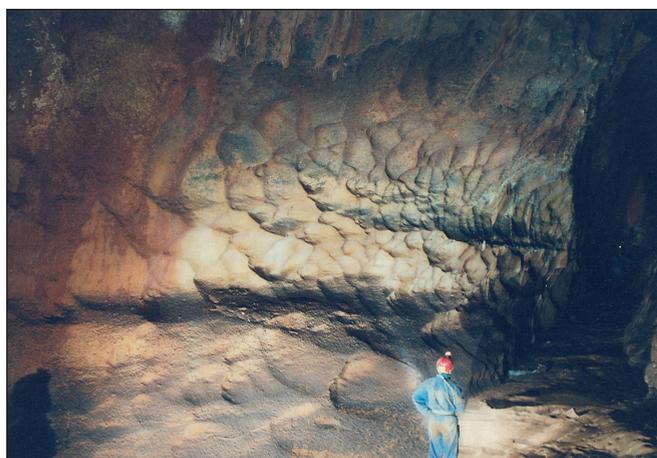


Photo 5 : Les coups de gouge ornent la galerie principale du réseau I vers + 160 m NGF (étage intermédiaire de la grotte de Saint-Marcel) (JYB)

La galerie du Lac

La galerie du Lac correspond à un ancien exutoire de la grotte de Saint-Marcel. Cette galerie se développe à une altitude moyenne de 115 m. Elle prend naissance dans la Cathédrale (voir coupe page 110) où converge une grande partie des réseaux. La galerie du Lac se termine quelques 400 m plus au sud sur un cône de grèzes très proche du versant des gorges. Un peu avant ce terminus, un remplissage témoin (photo 6) composé d'argiles beiges finement laminées indique que la galerie a été entièrement colmatée jusqu'à la voûte. Au cours de son évolution, la galerie du Lac, a été obstruée, puis abandonnée, probablement au profit d'autres conduits.

La galerie du Lac semble avoir connu des phases d'assèchement et de réennoiment comme l'attestent les massifs stalagmitiques extrêmement corrodés (photo 7) qui scellent une série de remplissages argileux. Des concrétions corrodées ont été également observées dans la partie touristique du réseau I toute proche. La remise en eau de galeries après une phase de concrétionnement est un phénomène assez commun dans les gorges de l'Ardèche que l'on retrouve aussi dans la grotte Chauvet [Delannoy *et al.*, 2004].

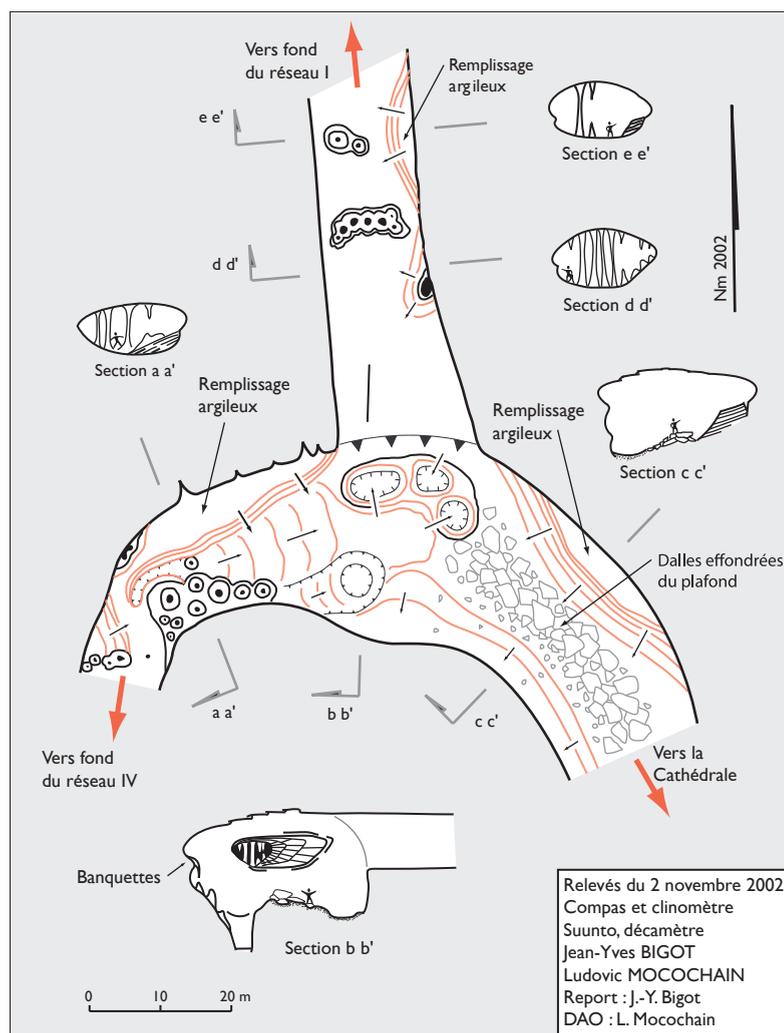


Figure 8 : Plan et sections de la zone de la Grande Barrière ou "Carrefour en T" marquant la confluence entre la Grande boucle et l'amont du réseau I.

Grèzes : éboulis formés de petits éléments anguleux pouvant alterner avec des lits plus argileux.

La formation des grèzes est liée au modelé des versants dans un contexte périglaciaire. Les grèzes ont une origine externe à la cavité.

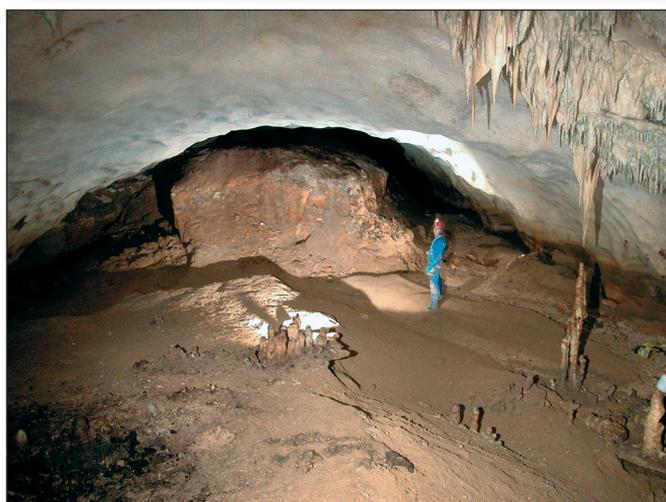


Photo 6 : Le remplissage d'argile beige colmate la quasi-totalité du conduit de la galerie du Lac (étage intermédiaire de la grotte de Saint-Marcel) (LM)

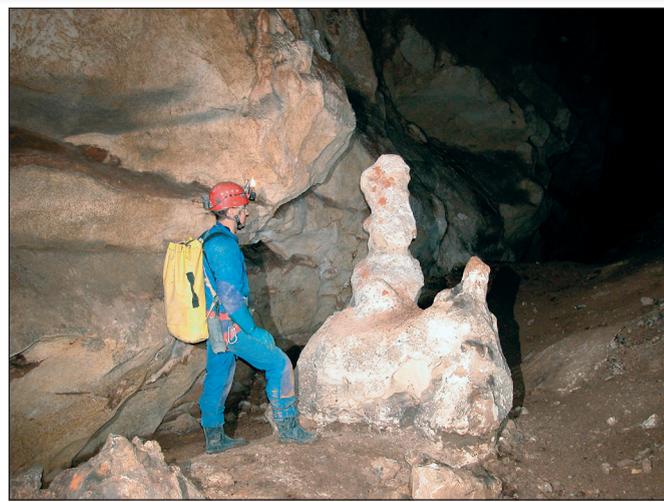


Photo 7 : Un massif stalagmitique de la galerie du Lac corrodé par des remises en eau postérieure à sa formation (étage intermédiaire de la grotte de Saint-Marcel) (LM)

II.3 L'étage supérieur

L'étage supérieur comprend la "galerie Intermédiaire" de l'aven de Noël et les galeries décapitées du site de la Charbonnière. On trouve également, au sommet de certaines hautes cheminées, des morphologies témoins de cette phase de spéléogénèse (cas de l'aven Despeysse).

L'aven Despeysse

L'aven Despeysse se raccorde à la partie amont du réseau II vers l'altitude de 100 m. Sur la coupe (fig. 9), on peut identifier trois ensembles de conduits : un conduit horizontal séparé par deux ensembles de conduits verticaux. La partie inférieure de la cavité est un large pan incliné (env. 35° ; section I de la fig. 9) dont la voûte est ornée de coupoles (photo 8). Cette partie prend fin 35 m plus haut pour laisser place à un conduit subhorizontal d'une centaine de mètres de longueur (130 m NGF), appelé abusivement "méandre". La partie supérieure de l'aven Despeysse prend un caractère vertical plus accusé (section 3 de la fig. 9), où alternent puits et toboggans. Malgré un concrétionnement important, les morphologies phréatiques dominent dans ce dernier tronçon. La succession des puits se présente comme une suite de cheminées raccordées les unes aux autres. La coupole sommitale, creusée en roche, ne présente aucun lien apparent avec la surface si ce n'est l'ouverture artificielle pratiquée par les spéléologues qui lui vaut le nom d'aven Despeysse. Cette coupole sommitale est entaillée par des encoches de niveau d'eau en rapport avec un petit conduit horizontal (photo 9). Ce conduit et les encoches se trouvent 12 m sous la surface, soit vers 218 m d'altitude et attestent d'un niveau d'écoulement ou de stagnation de l'eau. Ce niveau d'écoulement est postérieur au colmatage intégral de la cheminée, situé juste en dessous.

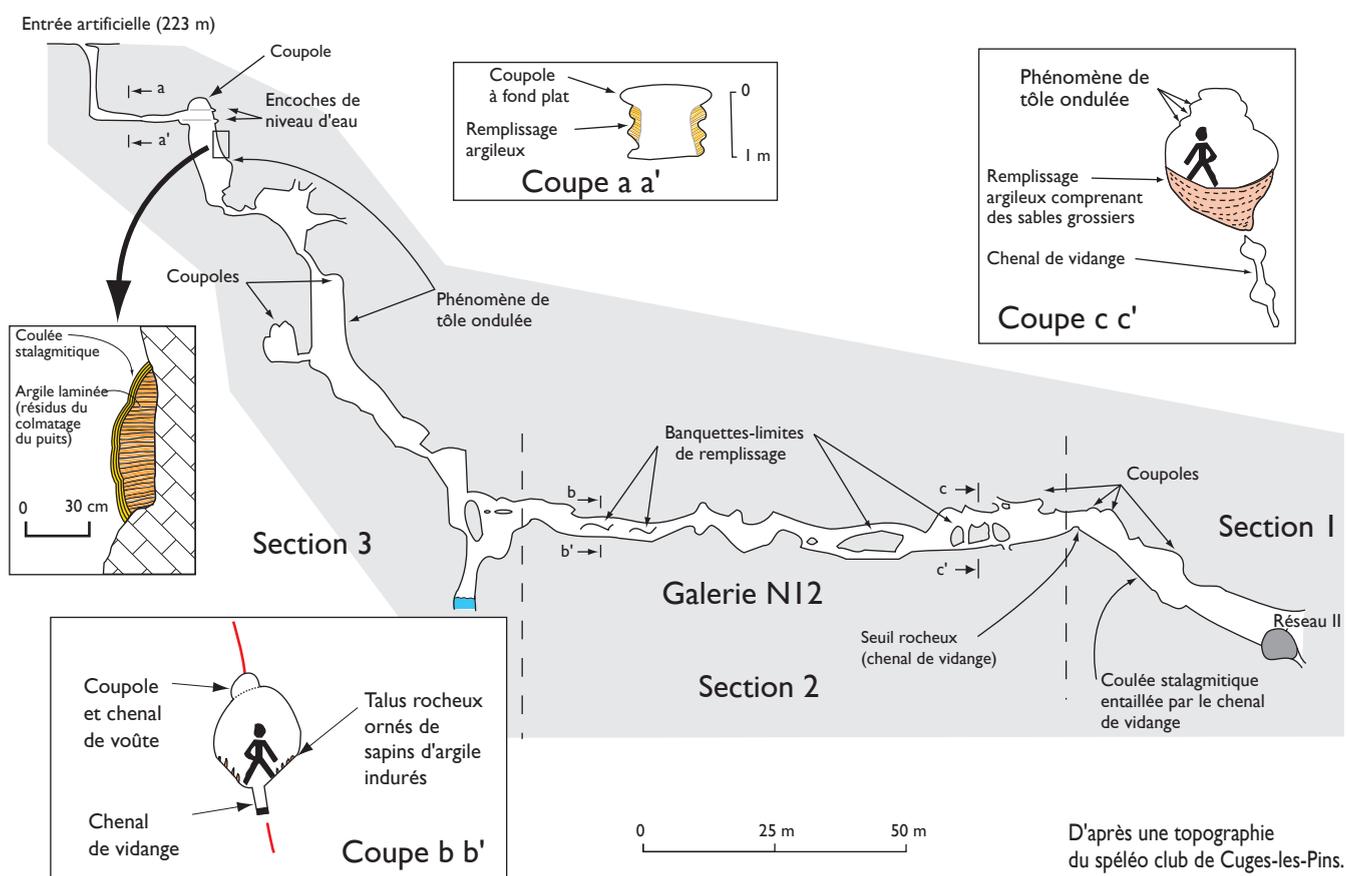


Figure 9 : Coupe topographique de l'aven Despeysse.

L'omniprésence des formes pariétales de la zone noyée du karst, les restes d'un remplissage ayant colmaté pratiquement tout l'aven ainsi que les deux stades indiquant une stabilité durable du niveau de base conduisent à penser que la formation de l'aven Despeysse résulte d'un long processus d'ennoiement de la grotte de Saint-Marcel en rapport avec la remontée du niveau de base (l'Ardèche) depuis l'altitude du réseau II à 100 m NGF jusqu'à 218 m NGF. Les formes observées dans la portion horizontale, située à 130 m, NGF montrent un premier arrêt du niveau de base dans son processus d'exhaussement. Les banquettes de remplissage et le caractère paragéométrique du chenal de voûte indiquent un ennoyage et un comblement de la galerie qui correspondent sans doute à une reprise de l'exhaussement du niveau de base se terminant vers 210 m NGF, altitude à laquelle correspondent les encoches de niveau d'eau visibles au sommet des puits de l'aven Despeysse (photo 9).



Photo 8 : Des coupes ornent le plafond de la première partie de la galerie N12 menant à l'aven Despeysse, réseau II (étage intermédiaire de la grotte de Saint-Marcel) (JYB)

Le P90 et la galerie Intermédiaire de l'aven de Noël

La “galerie Intermédiaire”, mal nommée, de l'aven de Noël représente le plus haut niveau horizontal des réseaux situé vers 220 m d'altitude ; elle correspond à l'étage supérieur défini dans la grotte de Saint-Marcel. Cette galerie, longue de seulement 200 m, prend fin sur un cône d'éboulis de grèzes très proche du versant des gorges (photo 10). L'horizontalité bien marquée de ce conduit, qui présente des morphologies caractéristiques d'un écoulement noyé, est représentatif d'une position stable de l'Ardèche. Dans sa partie nord, la galerie se termine au sommet d'un remarquable puits-cheminée : le puits de Noël, qui constitue le prolongement vertical de la galerie. Ce puits qui correspond au puits d'entrée de l'aven de Noël est un vaste conduit vertical où dominent les formes noyées du karst. Il relie la galerie Principale de l'aven de Noël (alt. 130 m ; étage intermédiaire), à la galerie Intermédiaire (étage supérieur).



Photo 9 : La partie supérieure des puits de l'aven Despeysse est marqué d'encoches de niveau d'eau vers + 218 m NGF (étage supérieur) (JYB)

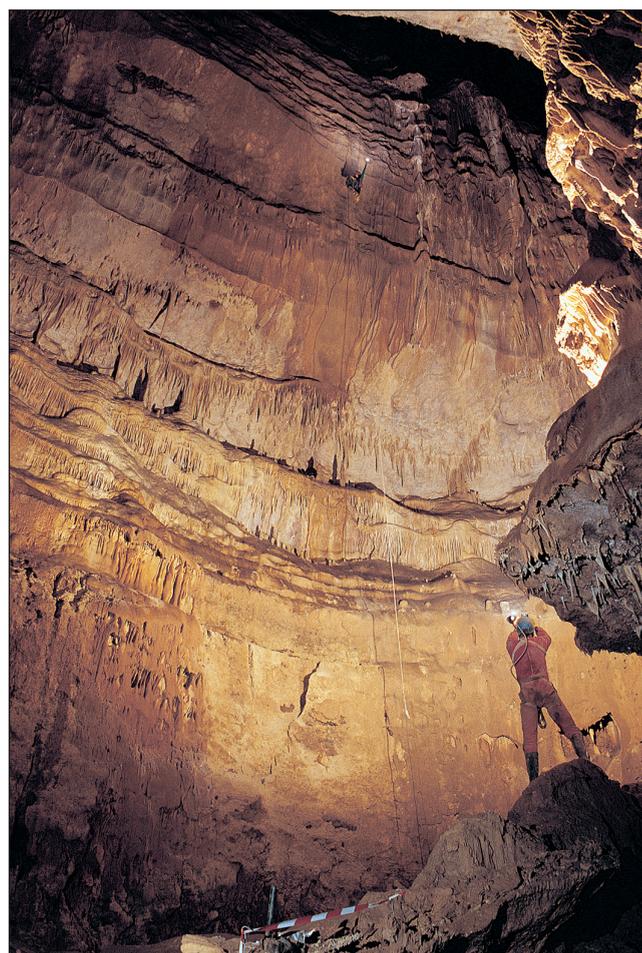


Photo 11 : Base du puits-cheminée de l'aven de Noël au départ de la Galerie Principale à + 130 m NGF (PG)

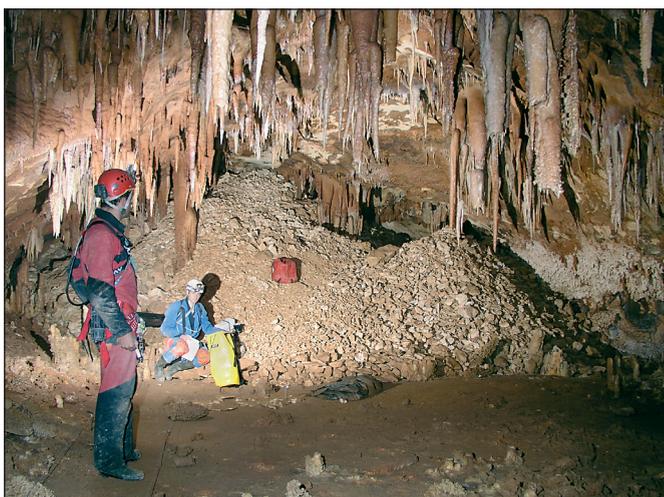


Photo 10 : Un cône de grèzes obstrue la galerie Intermédiaire de l'aven de Noël. Il se trouve en position proximale des gorges de l'Ardèche vers + 220 m NGF (étage supérieur) (JYB)

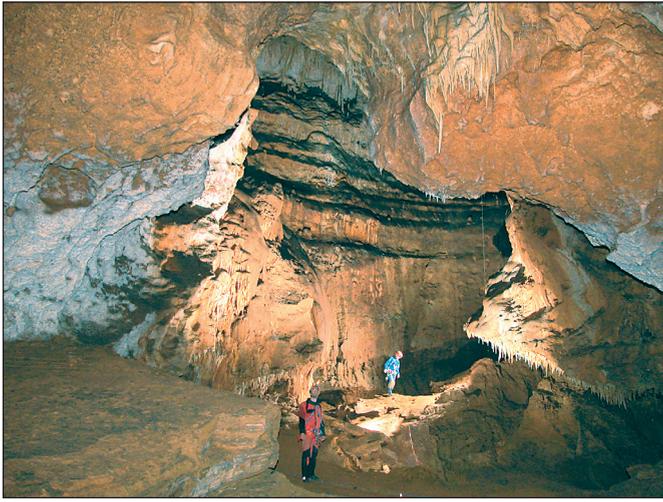


Photo 12 : Base du puits-cheminée de l'aven de Noël au départ de la galerie Principale à +130 m NGF. On peut observer la banquette limite de remplissage se trouvant à gauche du premier personnage. Cette morphologie s'infléchit verticalement lorsque le conduit horizontal débouche dans le puits (LM)

Coupe schématique de l'aven de Noël

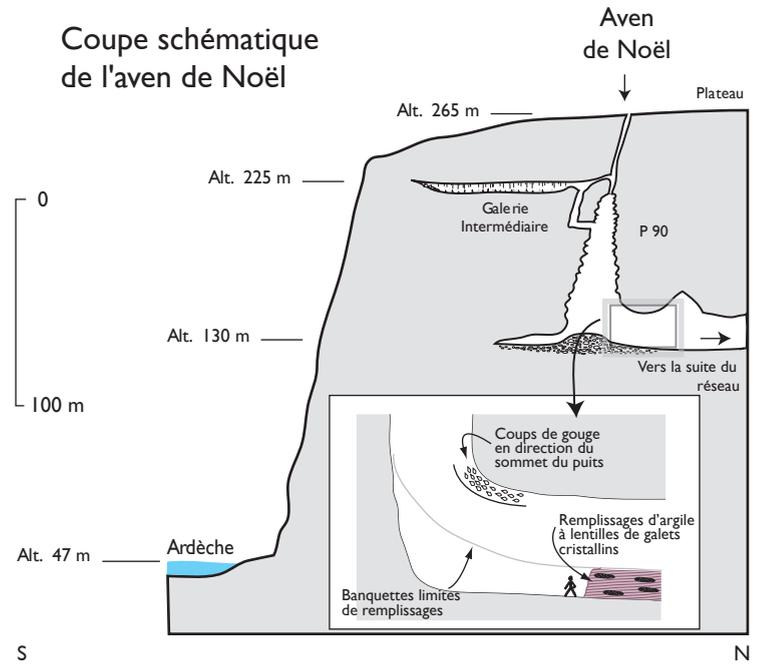


Figure 10 : Coupe simplifiée de la galerie Intermédiaire de l'aven de Noël et de son puits-cheminée.

Les galeries décapitées du site de la Charbonnière

Le site de la Charbonnière se situe en bordure immédiate des gorges à 220 m d'altitude (fig. 2). Le site se présente sous la forme d'une large galerie décapitée par le recul du versant et partiellement colmatée par un remplissage fluviatile composé de galets et de sables de l'Ardèche scellé par une brèche calcaire. L'altitude de cette galerie est la même que celle de la "galerie Intermédiaire" de l'aven de Noël et du sommet de l'aven Despeysse ; tous ces sites constituent autant de marqueurs morphologiques et sédimentaires attestant une ancienne position de l'Ardèche autour de 220 m d'altitude.

Brèche calcaire :

roche composée d'éléments détritiques grossiers et anguleux cimentés dans une matrice calcaire.

3 - Chronologie de la mise en place et du fonctionnement des étages de la grotte de Saint-Marcel

Chaque étage de la grotte de Saint-Marcel correspond à une ancienne position du niveau de base régional. Il est possible d'établir des corrélations géométriques avec des marqueurs (niveaux repères) de surface dont l'âge est par ailleurs connu des géologues. Cependant, cette démarche est insuffisante en présence de deux niveaux repères situés à la même altitude mais d'âges différents, comme une terrasse quaternaire de l'Ardèche qui peut interférer avec la transition marin/continental (130 m) du Pliocène. Pour s'affranchir du risque d'interférences entre des niveaux repères d'âges différents, il faut étudier l'organisation et la morphologie des conduits verticaux reliant entre eux les étages de la grotte. En effet, la morphologie des puits permet de déterminer la nature des relations hydrologiques existantes entre différents étages de la grotte. Ces puits sont l'expression souterraine de l'évolu-

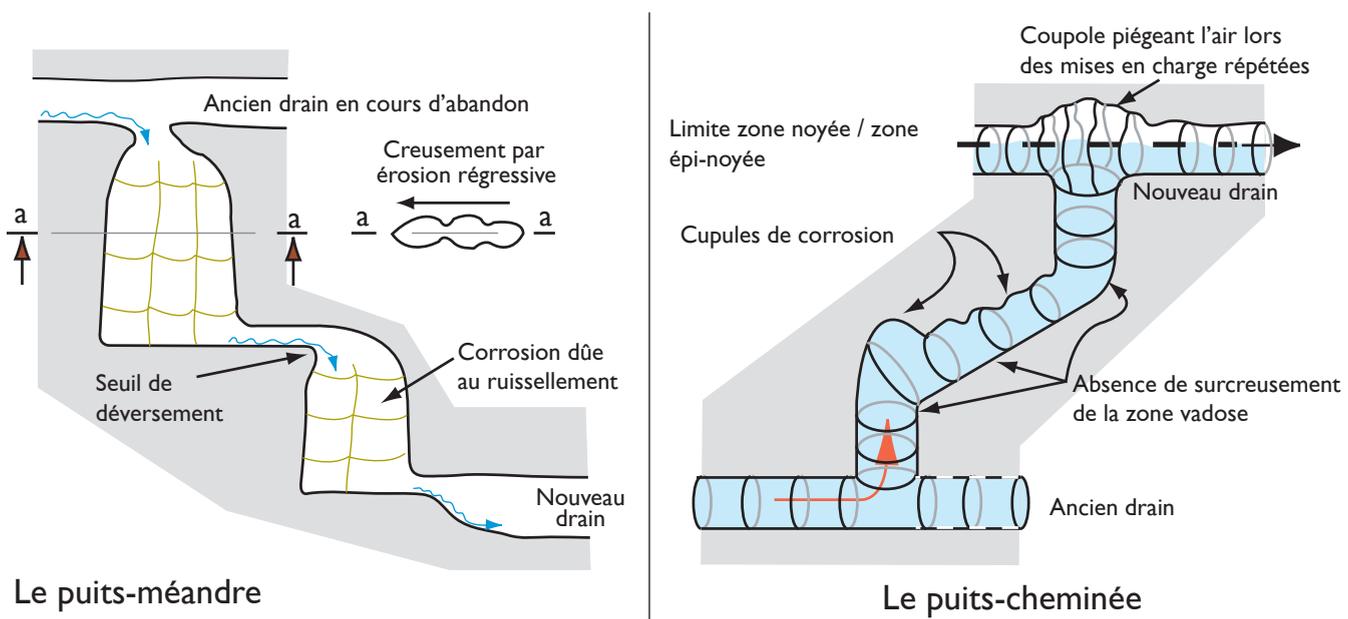


Figure 11 : Deux exemples de puits de filiation a) de type per descensum ; b) de type per ascensum.

tion dynamique du niveau de base extérieur. Par exemple, les puits de filiation gravitaire (fig. II a), puits-méandres, puits en éteignoir, etc., conduisent à chercher deux niveaux repères successifs formés dans un contexte de descente du niveau de base. En revanche, lorsque le niveau de base remonte, les puits de filiation sont ascendants, on les appelle “puits-cheminées” (fig. II b), il faut alors rechercher les deux niveaux repères successifs qui correspondent à cette dynamique de remontée du niveau de base.

La reconnaissance de tel ou tel type de puits de jonction permet de proposer une chronologie relative de la formation des différents étages de l'endokarst, et de discriminer les niveaux repères de surface associés à la spéléogénèse.

Endokarst : partie souterraine du karst : galeries, puits... en opposition avec les formes de surface (exokarst).

A) Étagement et fonctionnement des réseaux

III.A.1 Genèse de l'étage inférieur

L'Aval Profond est un conduit qui se développe 60 m sous le niveau de l'Ardèche, soit à la cote -10 m NGF. Les difficultés techniques n'ont pas permis d'explorer complètement ce conduit situé à grande profondeur, cependant un traçage a confirmé sa liaison avec le canyon de l'Ardèche. L'Aval Profond fonctionne actuellement en système vauclusien, ce qui permet aux eaux du réseau V, en grande partie noyé, de résurger au niveau de l'Ardèche après un transit en profondeur. Le profil d'écoulement de certains conduits du réseau V conserve une pente d'écoulement régulière, y compris dans leurs parties noyées. L'acquisition de cette pente d'écoulement, totalement incohérente avec la position actuelle de l'Ardèche, n'a pu se réaliser qu'à la faveur d'une position très déprimée du niveau de base. Les plongées dans ces parties noyées confirment cette hypothèse en révélant l'existence de morphologies spécifiques de la zone vadose jusqu'à - 40 m sous le niveau de l'Ardèche (photo 1). La courbe d'évolution du niveau de base restituée d'après l'étude des niveaux repères (fig. 4), permet de proposer la crise messinienne de salinité comme seule période possible pour acquérir cette morphogénèse vadose. L'étage inférieur de la grotte de Saint-Marcel constitue donc la marque de la spéléogénèse profonde induite par la crise de salinité. On en déduit qu'il s'est formé entre -5,96 et -5,32 Ma. Par ailleurs, l'étage inférieur est relié en plusieurs endroits à l'étage intermédiaire par des puits-cheminées tels que les puits P70 et P80 du réseau III, P40 du réseau N6 (page 126), ainsi que ceux de la galerie A (fig. 5). Ces puits-cheminées suggèrent une formation de l'étage intermédiaire postérieure à l'étage inférieur et intervenant à la suite d'une remontée du niveau de base.

III.A.2 Genèse de l'étage intermédiaire

Le réseau II

L'horizontalité du réseau II est la marque d'un niveau de spéléogénèse situé aux alentours de 100 m NGF et indique une position durablement stable de l'Ardèche à cette altitude.

Le réseau II est en liaison en deux endroits avec l'étage inférieur par des puits-cheminées. Il s'agit des puits-cheminées de la galerie A et du puits-cheminée P40 de la galerie N6 (fig. 5 et 7). Le réseau II se trouve aussi en liaison, par un système de galeries remontantes et de puits-cheminées, avec la galerie Raoul, superposée trente mètres en contre-haut. La galerie Raoul est une galerie horizontale (photo en bas de la page 119), longue de quelques centaines de mètres, qui se termine dans la Cathédrale (voir coupe page 110). Cette configuration de puits-cheminée prolongée par une galerie horizontale autorise à penser que la galerie Raoul est un exutoire supérieur du réseau II.

L'étage inférieur (50 m NGF), le réseau II (100 m NGF) et la galerie Raoul (140 m NGF) forment un ensemble de trois niveaux subhorizontaux superposés et interconnectés. L'existence des puits-cheminées reliant ces trois niveaux entre eux permet d'en déduire la dynamique *per ascensum* de cet étagement. Le puits-cheminée P40 de la galerie N6 et la galerie A relie l'étage inférieur au réseau II, ce qui indique que la formation du réseau II succède à la formation de l'étage inférieur après une remontée du niveau de base. Cependant, on ne retrouve pas sur la courbe d'évolution du niveau de base (fig. 4) de stade de stabilité à l'altitude de 100 m, mais seulement le stade à 130 m de la transition

marin/continental vers 4,7 Ma. Seule la galerie Raoul peut correspondre à ce stade à 130 m.

Ces éléments permettent de caler l'âge de la formation du réseau II entre la fin de la crise de salinité et le haut niveau marin enregistré par la transition marin/continental à 130 m NGF. En effet, la filiation entre le réseau II et la galerie Raoul montre une adaptation *per ascensum* du drainage du réseau II à une seconde remontée du niveau de base avant sa stabilisation vers 130 m NGF. La formation du réseau II (étage intermédiaire) se trouve donc encadrée entre la formation de l'étage inférieur, contemporain de la crise messinienne, et celle de la galerie Raoul, contemporaine du stade de la transition marin/continental vers 4,7 Ma. Cette configuration permet de proposer le réseau II comme un marqueur de l'évolution géologique régionale, expression d'une position stable du niveau de base vers 100 m NGF entre 5,32 et 4,7 Ma.

L'effet de la remontée du niveau de l'Ardèche de 100 à 130 m NGF peut également expliquer la défluviation qui a conduit à l'abandon de la galerie N9 au profit de la partie aval du réseau II. La galerie N9 formait un exutoire du réseau II à 100 m NGF qui s'est probablement colmaté à la suite de l'exhaussement du niveau de l'Ardèche au Pliocène. Le refoulement du drainage à l'exutoire a provoqué une défluviation souterraine de l'amont du réseau II vers l'ouest afin de se connecter au réseau I via le Labyrinthe (partie aval du réseau II; fig. 12).

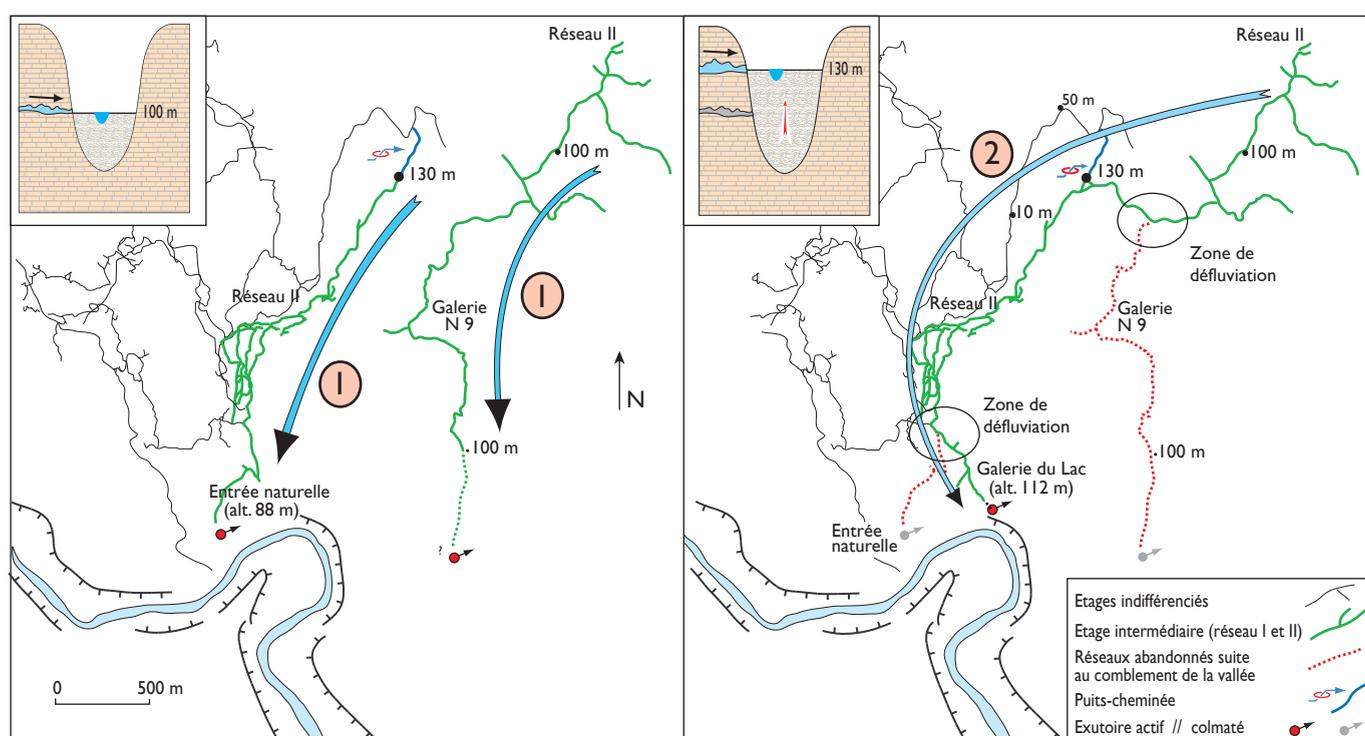


Figure 12 : Figure explicative du détournement d'une partie du drainage du réseau II vers le réseau I à la suite de l'obstruction de l'exutoire de la galerie N9.

Le réseau III

Les deux niveaux distincts du réseau III (partie aval à 100 m et galerie B à 130 m) ainsi que les deux puits-cheminées (P70 et P80) suggèrent une formation du réseau III en deux étapes.

Le puits-cheminée P70 prolongé par la partie aval du réseau III, semble être un exutoire de l'étage inférieur (coupe page 141). Le caractère horizontal de la partie aval du réseau III, prolongé par le réseau I jusqu'à l'entrée naturelle, marque une position de stabilité durable du niveau de base à 100 m NGF après son exhaussement. Cet étagement a par ailleurs déjà été identifié pour le réseau II.

Le remplissage fluvial observé dans la galerie B montre un transit de l'Ardèche par le réseau III qui débute dans l'aven de Noël (galerie Inférieure et galerie Blanche; fig. 6). Le transit de l'Ardèche en recoupement souterrain de méandre, nommé boucle Cristalline (fig. 13), débute à 130 m NGF dans l'aven Noël, emprunte la galerie B et poursuit son cours dans la partie aval du réseau III située 30 m en contrebas. Ce recoupement souterrain d'un méandre subaérien de l'Ardèche marque une position stationnaire de la rivière vers 130 m NGF. Cette phase fluviale, attestée par un fort alluvionnement souterrain (graviers roulés cristallins), semble contemporaine, d'un point de vue géométrique,

de la phase de stabilité du niveau de base enregistrée par la transition marin/continental (fig. 4). Cette hypothèse est accréditée par l'argument hydrodynamique du puits-cheminée P80 reliant l'étage inférieur à la boucle Cristalline (étage intermédiaire). Ainsi, la genèse en deux temps du réseau III (stades 100 et 130 m) fait écho à la dynamique qui a présidé la formation du réseau II et de la galerie Raoul. Les réseaux II et III de la grotte de Saint-Marcel sont contemporains, ce qui confère à la boucle Cristalline (stade fluviatile à 130 m NGF) un âge approximatif de 4,7 Ma, calé par la transition marin/continental.

La galerie du Lac

Les observations réalisées dans la galerie du Lac permettent de proposer quatre phases distinctes pour l'histoire de cette galerie :

- Dans une première phase des remplissages se déposent. Des banquettes limites de remplissages sont visibles depuis le bas de la Cathédrale et remontent vers la galerie du Lac. Les banquettes semblent témoigner d'un colmatage de l'entrée naturelle (aval du réseau I), au profit de la galerie du Lac située en contre-haut. Cette défluviation souterraine a sans doute été causée par l'exhaussement du niveau de l'Ardèche résultat de l'aggradation de son lit. L'altitude et la hauteur des cheminées montrent que la galerie du Lac se trouvait dans la zone noyée du karst, ce qui accrédite l'hypothèse de la remontée de l'Ardèche avant que ne se forme la boucle Cristalline (fig. 5).

- La seconde phase correspond au développement du concrétionnement, témoin d'une redescente du niveau de l'Ardèche sous l'altitude moyenne de la galerie. Cette redescente interviendrait au Pliocène entre le dépôt de la transition marin / continental à 4,7 Ma et le façonnement de la surface d'abandon pliocène à 2 Ma. Cette ré-incision de la vallée de l'Ardèche est un phénomène d'ampleur régionale à imputer, soit à un soulèvement géodynamique, soit à une baisse eustatique générale qui pourrait être rattachée à l'importante chute eustatique marquant le milieu du Pliocène vers 3,8 Ma [Haq *et al.*, 1987 ; Hardenbol *et al.*, 1998].

- La troisième phase est caractérisée par la remise en eau de la galerie responsable de la corrosion des concrétions et le dépôt d'une seconde génération de remplissage colmatant la galerie du Lac jusqu'à la voûte (photo 6). Cette phase d'ennoiement durable aboutissant à un colmatage total de la galerie, se situe au cours du Pliocène supérieur lors du dernier exhaussement de l'Ardèche, prenant fin localement à 200 m NGF vers 2 Ma (fig. 4).

- Enfin, la quatrième phase correspond à l'abandon de la galerie du Lac au cours des périodes récentes, une fois l'Ardèche repassée sous son altitude.

Baisse eustatique : baisse généralisée du niveau de la mer qui peut être liée à la formation de calottes glaciaires ou à une variation de la contenance des bassins océaniques d'origine tectonique.

Les réseaux I et IV

La galerie de la Grande Coulée et la galerie Supérieure de l'aven de Noël (fig. 6) se prolongent dans la grotte de Saint-Marcel par le réseau IV, puis par le réseau I, en aval de la Grande Barrière. Toutes ces galeries décrivent en plan une large boucle par rapport au canyon de l'Ardèche et évoquent un vaste recoupement souterrain de méandre, nommée Grande boucle (fig. 14). Cette observation est attestée par l'omniprésence d'un remplissage fin allochtone. Contrairement à la boucle Cristalline, les éléments détritiques transportés dans la Grande boucle sont nettement plus petits (photo 13).

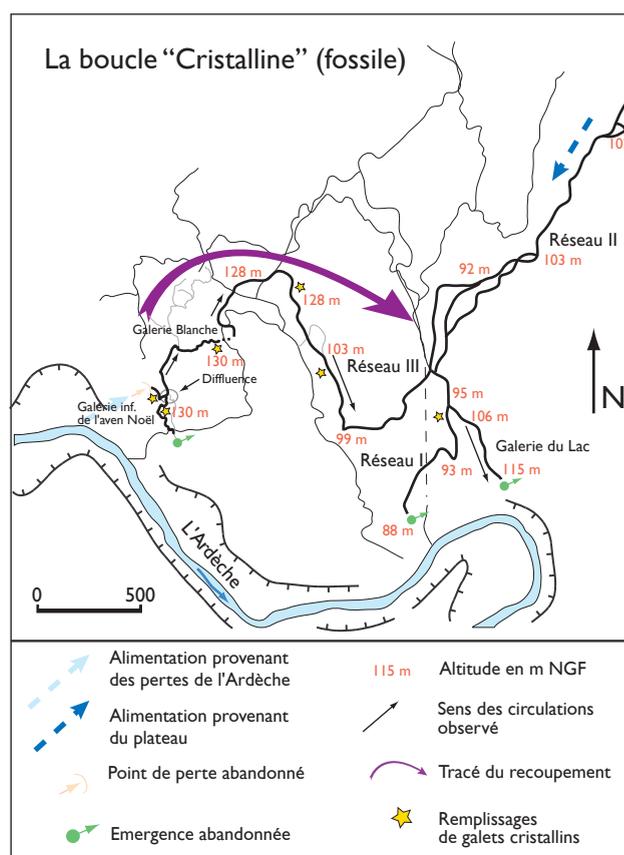


Figure 13 : Carte simplifiée de la boucle Cristalline : un recoupement de méandre abandonné de la grotte de Saint-Marcel.

Cette différence s'explique sans doute par le profil en long en dents de scie (crans verticaux développés sur diaclases) de la Grande boucle dont les points bas piègent les sédiments grossiers. Cependant, dans l'ensemble, le profil en long des réseaux I et IV présente une ligne horizontale bien marquée située autour de 155 m d'altitude. L'acquisition d'un tel profil horizontal est le résultat d'une phase de stabilité durable de l'Ardèche. Par ailleurs, si l'on applique à cette position restituée de l'Ardèche, une pente d'écoulement proche ou égale à l'actuelle, il devient possible de corréler cet épisode de stabilité à 155 m NGF en aval des gorges au stade observé à 190 m NGF en amont des gorges (aven de la Plaine des Gras, grotte Chauvet, grotte du Déroc...). Cette comparaison géométrique permet de rattacher la genèse de la Grande boucle au Pliocène supérieur lors d'un stade de stabilité de l'Ardèche entre deux cycles d'aggradation. Cette hypothèse s'appuie aussi sur la filiation des deux puits-cheminées qui relient la Grande boucle à l'étage inférieur (fig. 5).

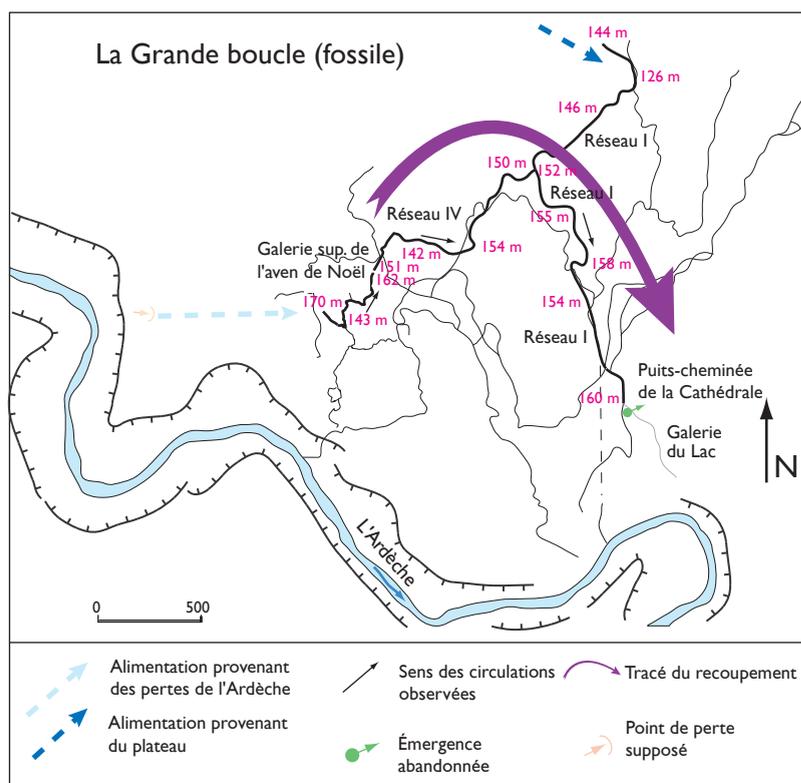


Figure 14 : Carte simplifiée de la Grande boucle : un recouplement de méandre abandonné de la grotte de Saint-Marcel.



Photo 13 : Reste d'un remplissage d'argile beige se trouvant dans la Grande Galerie de l'aven Noël. Ce dépôt est synchronisé du fonctionnement en recouplement de méandre de la Grande boucle (JYB)

La Grande boucle présente certaines similitudes de fonctionnement avec la boucle Cristalline. En effet, la Grande boucle décrit d'abord une demi-boucle depuis l'aven de Noël jusqu'à la Grande Barrière ; là elle rejoint et se connecte au conduit initial du réseau I venant du nord et drainant le plateau (galerie Rouge). En aval, au niveau de la Cathédrale, la Grande boucle redescend de 160 à 100 m (coupe page 110) pour rejoindre l'entrée naturelle. La galerie du Lac et l'entrée naturelle ne peuvent correspondre à l'exutoire potentiel de ce grand recouplement de méandre car leur position est beaucoup trop basse. C'est probablement dans les réseaux supérieurs de la Cathédrale, à l'altitude de 160 m NGF, qu'il faut voir le débouché aval de la Grande boucle dans les gorges de l'Ardèche.

III.A.3 Genèse de l'étage supérieur

La galerie Intermédiaire et le P90 de l'aven Noël

La galerie Principale de l'aven de Noël est un conduit horizontal à 130 m NGF qui se termine au pied du puits-cheminée de l'aven de Noël. À la voûte de la galerie Principale, on observe un chenal de voûte qui s'infléchit en direction du puits-cheminée. Des coups de gouge ornent le chenal de voûte (photo 12) et indiquent un sens du courant remontant dans le puits-cheminée en direction de la galerie Intermédiaire (fig. 10). Ces observations montrent que le puits-cheminée de Noël et son prolongement sommital, la galerie Intermédiaire, constituent un exutoire de la galerie Principale située 90 m plus haut. Nous savons que la galerie Principale tout comme la galerie Intermédiaire marque une position stabilisée du niveau de l'Ardèche. Il se trouve que l'altitude de 220 m de la galerie Intermédiaire est comparable à celle de la surface d'abandon pliocène dont le façonnement fait suite et

termine le cycle d'aggradation de l'Ardèche débuté, en l'occurrence, à l'altitude de 130 m NGF (fig. 4). D'un point de vue géométrique et dynamique, la réponse per escensum du karst correspond parfaitement à la dynamique remontante de l'Ardèche qui passe de l'altitude de 130 m à l'altitude de 210 m après une aggradation de 80 m. La formation de tels systèmes de conduits a permis de pallier le refoulement et le colmatage des exutoires dûs au remblaiement de la ria de l'Ardèche par aggradation. Un tel agencement des conduits situés à proximité de l'Ardèche prouve la permanence des écoulements karstiques malgré les oscillations de grande ampleur du niveau de l'Ardèche.

B) Synthèse : un système de recouvrements de méandre étagés

Les trois recouvrements souterrains de méandre identifiés (boucle Active de la Cadière pour l'étage inférieur (fig. 15) ; boucle Cristalline (fig. 13) et Grande boucle (fig. 14) pour l'étage intermédiaire) se superposent et forment une grande partie des réseaux de Saint-Marcel. Cet étagement de recouvrements souterrains de méandre, associé à la rivière souterraine de Saint-Remèze étudiée par J. Martini atteste de la récurrence de cette spéléogénèse malgré les oscillations répétées de la rivière. L'amplitude des recouvrements souterrains de méandre amène à s'interroger sur la dynamique de creusement des conduits qui ne sont pas parallèles, mais presque symétriques au cours décrit par l'Ardèche aérienne. En effet, le cheminement souterrain est parfois plus long et plus sinueux que celui de la rivière aérienne. En outre, le gradient topographique de la rivière est très faible entre le point de perte et le point d'émergence. Il n'excède pas les deux à cinq mètres. L'analyse morphologique des deux tronçons distincts que présentent les recouvrements de méandre de la boucle Cristalline et de la Grande boucle montre qu'ils se sont formés en deux temps.

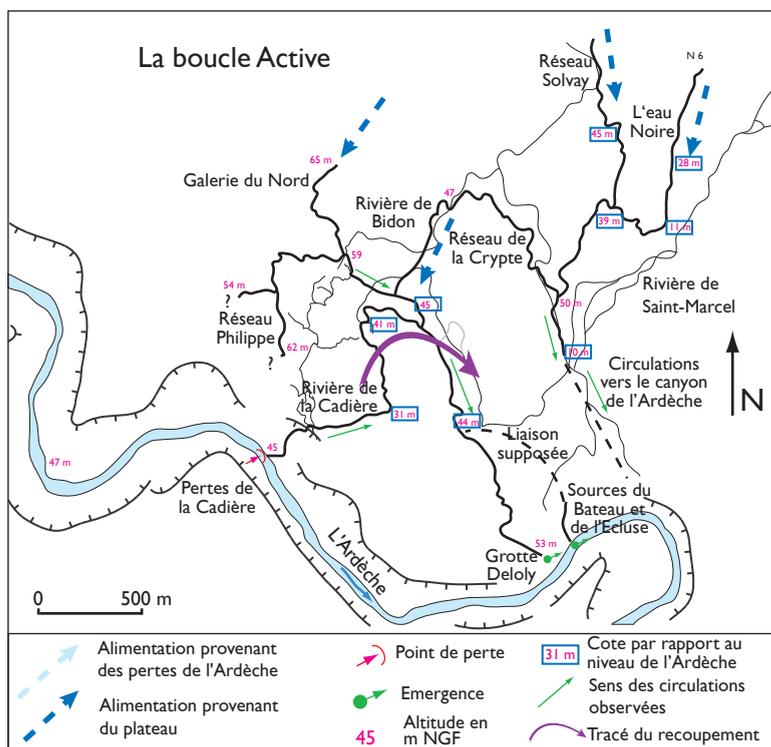


Figure 15 : Carte simplifiée de la boucle Active : le recouvrement de méandre fonctionnel de la grotte de Saint-Marcel.

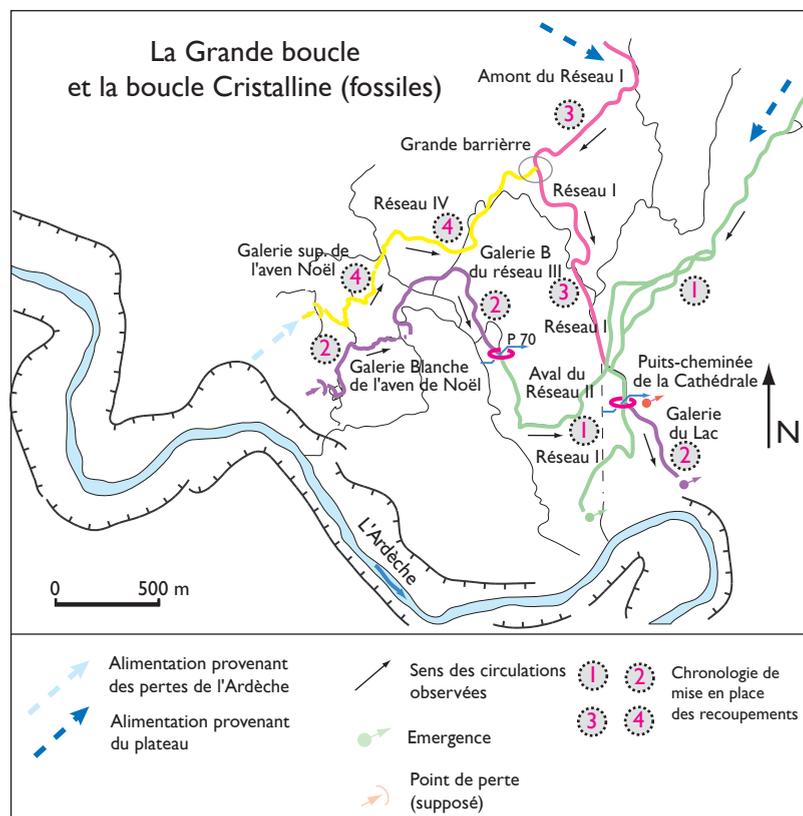


Figure 16 : Chronologie de la mise en place des étages de la grotte Saint-Marcel et des recouvrements souterrains de méandre corrélatifs. Ce processus se déroule en deux temps :

- dans un premier temps au cours d'une remontée du niveau de base, le drainage provenant du plateau s'adapte par creusement d'un puits-cheminée et/ou d'un drain horizontal calé sur la surface piézométrique (étapes 1 et 3 de la figure),
- dans un second temps, le recouvrement de méandre se forme en se raccordant au drainage provenant du plateau.

Le tronçon amont est représentatif d'une position durablement stable de l'Ardèche qui assure l'essentiel de l'alimentation souterraine. Le tronçon aval est généralement situé en contrebas du précédent où s'effectuent la confluence et le mélange des eaux de la rivière Ardèche avec celles issues du plateau. Dans les deux cas (boucle Cristalline et Grande boucle), les tronçons aval semblent préexister aux recouvrements souterrains de méandre car leur profil d'écoulement est parfaitement continu depuis leur zone d'alimentation provenant du plateau. Ainsi, les tronçons amont des boucles viennent-ils se connecter sur les tronçons aval déjà en place et façonnés par les eaux du plateau (fig. 16). Dès lors, on peut penser que les tronçons aval des boucles (creusés à l'origine par les eaux du plateau) ont favorisé la capture souterraine des tronçons amont creusés par les pertes de l'Ardèche. Ainsi, la formation du cheminement souterrain de la rivière se trouve plus court de moitié (demi-boucles) qu'une boucle classique développée

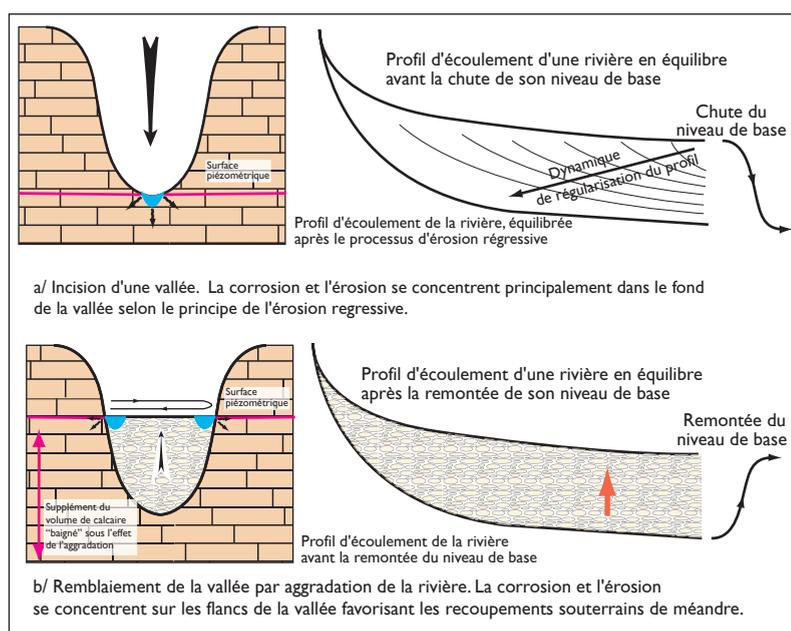


Figure 17 : Evolution des conditions d'érosion et de corrosion d'une rivière en fonction de l'évolution de son niveau de base.

parallèlement au cours aérien. Cette spéléogénèse peut s'apparenter à une capture karstique. En effet, la formation en deux temps des recoupements souterrains de méandre est assimilable à un détournement d'un écoulement sub-aérien allochtone par un écoulement souterrain autochtone.

Par ailleurs, le transit souterrain d'une partie des eaux de l'Ardèche se trouve ainsi favorisé par l'évolution aggradante de la rivière qui permet d'envoyer un plus grand volume de calcaire (fig. 17). Cet ensemble de facteurs facilite considérablement les processus de spéléogénèse, notamment le long de microfractures préexistantes envoyées et utilisées par les recoupements souterrains de méandre durant les phases d'aggradation de l'Ardèche.

C) Les épisodes pléistocènes

Si les grands traits de la grotte de Saint-Marcel ont été acquis durant le cycle messino-pliocène, il reste toutefois une part des morphologies et du creusement des réseaux attribuable au Pléistocène.

Au Quaternaire, sous l'impulsion du glacio-eustatisme, l'Ardèche ré-incise le remplissage fluviatile pliocène de sa vallée. C'est au cours de cette rechute du niveau de l'Ardèche que les réseaux de la grotte de Saint-Marcel ont été décolmatés tout en conservant leurs morphologies originelles. Il existe toutefois quelques empreintes morphologiques de ces épisodes récents; il s'agit du creusement de puits-méandres qui trépanent certaines galeries de la grotte. Ces puits gravitaires, creusés à l'emporte-pièce, ne semblent assurer aucun rôle hydrologique dans le fonctionnement des réseaux. À l'exception du puits d'accès au réseau Solvay, ces puits ne mettent pas non plus en relation deux étages de la grotte.

Conclusion

Les investigations morphologiques et sédimentologiques dans de la grotte de Saint-Marcel permettent de proposer un nouveau modèle de spéléogénèse, il s'agit de l'étagement *per acensum* de réseaux horizontaux qui sont alimentés d'une part, par des puits-cheminées et d'autre part, par des pertes de l'Ardèche qui décrivent de larges recoupements souterrains de méandre. Cette spéléogénèse particulière est le résultat d'une dynamique d'exhaussement marquée de l'Ardèche qui a travaillé en aggradation au cours du Pliocène.

L'étude détaillée de la grotte souligne "l'effet mémoire" de l'endokarst par la conservation d'événements indécélables en surface. On retrouve ainsi une position stationnaire de l'Ardèche vers 100 m au début du Pliocène, déduit de la formation du réseau II et de la partie aval du réseau III, ou encore le stade de spéléogénèse de la Grande boucle qui permet de confirmer un long stade stationnaire de la rivière vers 160 m d'altitude au Pliocène. Il a été relevé une phase de ré-incision de l'Ardèche dans sa vallée vers 3,8 Ma, phase déduite de l'assèchement et du concrétionnement de certaines galeries comme la galerie du Lac.

La richesse de la grotte de Saint-Marcel autorise ainsi une meilleure compréhension des phénomènes karstiques et améliore singulièrement la connaissance de l'évolution géologique régionale, notamment sur les impacts directs et différés de la crise de salinité messinienne dans la spéléogénèse des karsts du pourtour méditerranéen. À ce jour, il s'agit de l'exemple le plus démonstratif illustrant l'importance de la remontée du niveau de base dans les mécanismes de spéléogénèse du pourtour méditerranéen.

Bibliographie

Références concernant la grotte de Saint-Marcel

Voir partie IV, chap. 1, références [5], [6], [64], [85], [103], [136], [138], [140], [160], [162], [163], [164], [167], [168], [169].

Références citées dans le texte

CITA M.B., 1975 - Planktonic foraminiferal biozonation of the Mediterranean Pliocene deep sea record. A revision. *Riv. Ita. Paleontol.*, 81, 4, pp. 527-544.

CLAUZON G., 1982 - Le canyon messinien du Rhône : une preuve décisive du "Desiccated deep-basin model" [Hsu, Cita, Ryan, 1973]. - *Bull. Soc. Géol. France*, 24, 3, pp. 597-610.

CLAUZON G., 1996 - Limites de séquences et évolution géodynamique. *Géomorphologie*. 1, pp. 3-22.

CLAUZON G., RUBINO J.-L. & SAVOYE B., 1995 - Marine Pliocene Gilbert-type fan deltas along the French Mediterranean coast. Livret guide de l'excursion de l'ASF, publication n° 23, pp. 145-222.

DELANNOY J.-J., PERRETTE Y., DEBARD E., FERRIER C., KERVAZO B., PERROUX A.-S., JAILLET S. & QUINIFY., 2004 - Intérêt de l'approche morphogénique pour la compréhension globale d'une grotte à haute valeur patrimoniale : la grotte Chauvet (Ardèche, France). *Karstologia*, 44, pp. 25-42.

HAQ B.U., HARDENBOL J. & VAIL P., 1987 - Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present). *Science*, n° 235, pp. 1156-1167.

HARDENBOL J., THIERRY J., FARLEY M.B., JACQUIN T., GRACIANSKY P.C. & VAIL P.R., 1998 - Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. In P.C. de Graciansky, J. Hardenbol, T. Jacquin & P.R. Vail (eds): Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins, *SEPM, Spec. Publ.*, n° 60, pp. 3-13.

MARTINI J., 2005 - Etude des paléokarsts des environs de Saint-Remèze (Ardèche, France) : mise en évidence d'une rivière souterraine fossilisée durant la crise de salinité messinienne. *Karstologia*, n° 45-46, pp. 1-18.

PASCAL M., LAFARGE D., CHEDHOMME J. & GLINTZBOECKEL C., 1989 - Notice explicative, carte géologique de la France (1/50.000), feuille Bourg-Saint-Andéol (889). B.R.G.M., Orléans, 67 p. Carte géologique par Pascal M., Elmi S., Busnardo R., Lafarge D., Truc G., Valleron M., Chedhomme J. et Combier J. (1989).

RENAULT Ph., 1967 - Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. *Annales de spéléologie*, v. 22 1 et 2, pp. 5-17 et 209-267.

RYAN W. B. F., HSÜ K. J. & al., 1973 - Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 13, 1-2, U.S. Government Printing Office, Washington D. C. (1973) 1247 p.

Autres références

AUDRA Ph., CAMUS H. & ROCHETTE P., 2001 - Le karst des plateaux jurassiques de la moyenne vallée de l'Ardèche : datation par paléomagnétisme des phases d'évolution plio-quaternaires (aven de la combe Rajeau). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. 172, n° 1, pp. 121-129.

BALLESIO R., 1972 - Étude stratigraphique du Pliocène rhodanien. *Docum. Lab. Géol. Fac. Sc. Lyon*, 53, 333 p.

BAULIG H., 1928 - Le Plateau Central de la France et sa bordure méditerranéenne. Armand Colin, Paris, 592 p.

BESSON D., CLAUZON G., COUEFFE R., DEXCOTE Y., FERRY S., GONZALO J., MOCOCHAIN L., PARIZE O., RUBINO J.-L., SUC J.-P. et TESSIER B., 2002 - Le Néogène du bassin d'avant pays rhodano-provençal. Livret guide de l'excursion *Stati 2002*, 162 p.

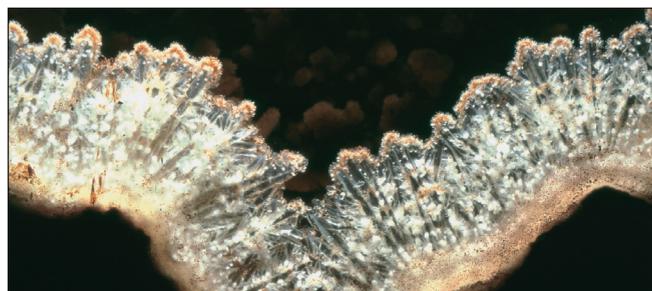
BIGOT J.-Y., 2002 - Conduits ascendants dans les gorges de l'Ardèche : les avens Cordier, Rochas et de Noël. *Actes de la douzième rencontre d'octobre*, Spéléo-Club de Paris, n° 12, pp. 15-19.

BIGOT J.-Y., 2004a - Les puits et conduits subverticaux. *Spéléo*, n° 49, pp. 24-26.

BIGOT J.-Y., 2004b - Les puits et conduits subverticaux, l'exemple de l'aven de la Pépette, Simiane-la-Rotonde, Alpes-de-Haute-Provence, France. *Atti della Tavola Rotonda Internazionale "Grotte e carsismo nel gruppo delle Grigne e nelle valli del Lario"*, Valsassina, 2-5 settembre 2004. *Le Grotte d'Italia, Rivista dell'Istituto Italiano di Speleologia e della Società Speleologica Italiana, Serie V, n. 5*, Frasassi, pp. 57-62.

BOINET D. & CAMUS H., 1998 - Observations sur la genèse et l'évolution des puits-cheminées : l'exemple singulier du réseau du Garrel - St-Jean-de-Buèges (Hérault). *Actes de la huitième rencontre d'octobre*, Spéléo-Club de Paris, n° 8, pp. 12-13.

- CAMUS H.**, 1997 - Formation des réseaux karstiques et creusement des vallées. *Karstologia*, n° 29, pp. 23-42.
- CAMUS H.**, 1997b - Signification des concrétionnements exogènes noyés : l'exemple du travertin noyé de Gourneyras. *Actes de la septième rencontre d'octobre*, Spéléo-Club de Paris, pp. 38-43.
- CAMUS H.**, 1999 - L'organisation des réseaux de drainage à différents stades de l'évolution du paysage karstique de la bordure carbonatée sud-cévenole (de l'Aigoual à la basse vallée de l'Hérault). *Des paysages du karst aux géosystèmes karstiques - Dynamiques, structures et enregistrements karstiques*. Université de Savoie, Vol. 1, pp. 55-74.
- CAMUS H.**, 2003 - Vallées et réseaux karstiques de la bordure carbonatée sud-cévenole. Relations avec la surrection, le volcanisme et les paléoclimats. *Thèse de géographie physique - Géomorphologie*. Université Michel de Montaigne - Bordeaux III, 675 p.
- CHEVALIER P.**, 1944 - Distinctions morphologiques entre deux types d'érosion souterraine. *Rev. Géogr. Alpine*, XXXII/III, pp. 475-486.
- CHUMAKOV I.S.**, 1973 - Geological history of the Mediterranean at the end of Miocene-the beginning of the Pliocene according to new data. *Init. Repts. DSDP*, Washington, XIII, 2, pp. 1241-1242
- DEBARD E.**, 1997 - Les remplissages karstiques du Bas-Vivarais : karstogénèse, sédimentogénèse et archéologie. *Quaternaire*, 8, 2/3, pp. 305-317.
- DELANNOY J.-J., DEBARD E., FERRIER C., KERVAZO B. & PERRETTE Y.**, 2001 - Contribution de la cartographie morphologique souterraine dans l'étude spéléogénétique de la grotte Chauvet. Premiers éléments spéléogénétiques et implications paléogéographiques, préhistoriques et paléontologiques. *Quaternaire*, 12-4. 235-248.
- DEMARCO G.**, 1960 - Observations à propos de la série pliocène du sondage de Pierrelatte (Drôme). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 250, pp. 4013-4015.
- FONTANNES F.**, 1882 - Note sur l'extension et la faune de la mer pliocène dans le sud-est de la France. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (3), 11, pp. 103-141.
- FRACHON J.-C.** 1963 - Étude du réseau souterrain de Cerdon-Menouille. *Spelunca*, n° 3, pp. 24-26.
- GUÉRIN R.**, 1973 - Un exemple du rôle de la tectonique et de la microtectonique dans la géométrie des écoulements karstiques fossiles et actuels : le Bas-Vivarais calcaire. *Thèse*, Univ. Montpellier, 113 p.
- HÄUSELMANN Ph., HOBLÉA F. & JAILLET S.**, 2005 - Intérêt paléogéographique et patrimonial des cavités du vallon de l'Echarassou (affluent du Baravon, affluent de l'Ibie, commune de Lagorce, Ardèche). *Actes numériques des 4^e Rik-Rak*, Seyssins, 15 & 16 janvier 2005.
- LISMONDE B.**, 2000 - Corrosion des coupoles de plafond par les fluctuations de pression de l'air emprisonné. *Karstologia*, n° 30, pp. 39-46.
- MANDIER P.**, 1988 - Le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire. Essai de synthèse paléogéographique. *Docum. BRGM*, n° 151, 885 p.
- NICOD J.**, 1997 - Les recoupements karstiques de méandres encaissés. *Karstologia*, n° 30, pp. 41-48.
- VIALA C.**, 2000 - Dictionnaire de la spéléologie. Archéologie souterraine, biospéléologie et écologie souterraine, karstologie, maladies et risques spécifiques, matériels utilisés en spéléologie, paléontologie du Quaternaire, préhistoire souterraine, spéléologie physique, techniques de progression souterraine, termes et expressions régionales. *Eléments de géomorphologie karstique, de géologie, de tectonique, d'hydrogéologie, principales cavités et régions karstiques, etc. Spelunca Librairie Fédération française de spéléologie édit.*, 264 p.



Dentelles (BD)