

La géologie du gouffre de l'Eau-Relie en Provence

Par Bruno Arfib, Université Aix-Marseille, le 20/05/16

Le gouffre de l'Eau-Relie se développe dans les terrains calcaires du Crétacé typiques de la basse Provence calcaire. Deux grandes particularités géologiques caractérisent cette cavité : (1) le cheminement spéléologique démarre dans les terrains du crétacé supérieur (coniacien) et traverse la bauxite qui repose sur un paléo-lapiaz creusé dans les calcaires de la base du crétacé inférieur ; (2) une vaste faille normale décale les terrains sur environ 95 mètres de hauteur au milieu du cheminement et le spéléologue va traverser cette zone de faille.

Les parois des galeries karstiques sont généralement exemptes de dépôts de concrétions ou de boue, ce qui permet d'observer aisément la nature des roches. Cette cavité donne ainsi accès à une coupe à travers les terrains du crétacé du nord Sainte Baume. Le gouffre de l'Eau-Relie constitue une cavité « école » pour l'observation géologique et karstologique en grotte.

1- Géologie de la Sainte Baume et de la Provence

Ere	Syst.	Série	Etage	Age Ma
Cénozoïque	Néogène	Pliocène	Pléistocène	1,81
			Pliocène	2,59
			Zancéen	5,33
		Miocène	Messinien	7,25
			Tortonien	
			Serravallien	11,61
			Langhien	13,65
			Burdigalien	15,97
				20,43
			Aquitanién	23,03
	Oligocène	Chattien	28,4	
		Rupélien		
		Priabonien	33,9	
		Bartonien	37,2	
	Eocène	Lutétien	40,4	
		Yprésien	48,6	
	Paléocène	Thanétien	55,8	
		Sélandien	58,7	
		Danien	61,7	
Crétacé	Supérieur	Maastrichtien	65,5	
			70,6	
		Campanien		
		Santonien	83,5	
		Coniacien	85,8	
		Turonien	89,3	
	Inférieur	Cénomanién	93,5	
			99,6	
		Albien		
			112,0	
		Aptien		
		Barrémien	125,0	
		Hauterivién	130,0	
Jurassique	Malm	Valanginién	136,4	
		Berriasien	140,2	
		Tithonien	145,5	
		Kimmeridgién	150,8	
	Dogger	Oxfordien	155,7	
		Callovien	161,2	
		Bathonien	164,7	
		Bajocién	167,7	
		Aalénién	171,6	
		Toarcién	175,6	
	183,0			

L'étude géologique du gouffre de l'Eau-Relie offre une vision synthétique de la complexité de la géologie de la Provence. Du jurassique (200 millions d'années) jusqu'à la fin du crétacé inférieur (100 millions d'années), l'emplacement actuel de la Provence se trouve au cœur du grand océan, La Téthys, au fond duquel se déposent des sédiments carbonatés, de faciès variables en fonction de la profondeur d'eau, de la température et des apports venant du continent. Le jurassique supérieur est caractérisé par des calcaires et dolomies. Durant le crétacé inférieur, au barrémien (130 à 125 millions d'années), les calcaires de plateforme de faciès urgonien se déposent ; ils forment aujourd'hui le paysage si particulier des calanques de Marseille à Cassis, et se retrouvent un peu partout en Provence.

A la fin du crétacé inférieur (Figure 1), la sédimentation marine va être perturbée par un événement géologique régional : le bombement durancien, un événement tectonique qui provoque le plissement à grande longueur d'onde de la future Provence. La Provence se trouve alors divisée en deux domaines géologiques (Figure 2) : (1) une partie émergée suivant un axe globalement est-ouest qui part du Revest-les-eaux (proche Toulon) jusqu'aux Baux de Provence, en passant par Mazaugues, Tourves, et (2) le reste est immergée. Il en découle deux processus d'évolution très différents.

Figure 1 : L'échelle des temps géologiques

(1) Nous sommes au milieu du crétacé, il y a environ 100 millions d'années. Les terres émergées subissent une forte altération et érosion, sous climat tropical. Les roches carbonatées (calcaires et dolomies principalement) subissent la karstification, c'est-à-dire le creusement de vides endokarstiques (dans la roche) et la mise en place d'un paysage de surface avec des dépressions et des lapiaz. L'érosion peut dépasser 600 mètres d'épaisseur, c'est-à-dire que l'intégralité des terrains du crétacé inférieur précédemment déposés a pu disparaître, comme par exemple au nord de la Sainte Baume à Mazaugues (Figure 3, Figure 1). Durant cette période qui a duré plusieurs millions d'années (Albien et Cénomaniens), les dépressions ont été comblées par les résidus d'altération argileux, riches en fer et en alumine, formant de la bauxite. La bauxite de Provence a été exploitée par l'homme au cours du XX^{ème} siècle pour en tirer l'alumine et produire de l'aluminium. Le musée des gueules rouges, à Tourves, retrace cette histoire et présente en détail la bauxite.

(2) A la même époque, au nord et au sud du bombement durancien, la sédimentation carbonatée continue dans les bassins sous la mer (Figure 2).

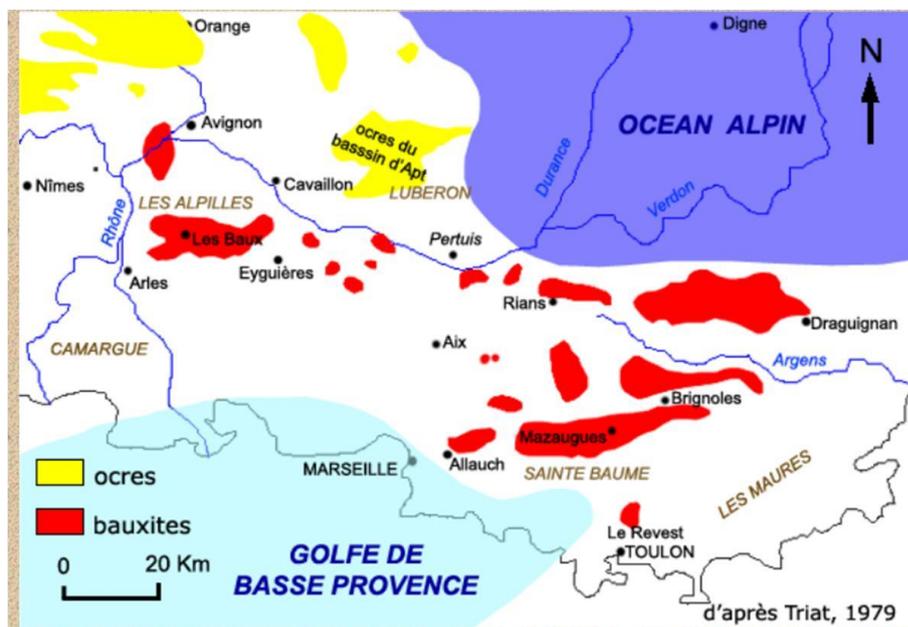


Figure 2 : Situation des zones à bauxite sur la topographie actuelle, complétée par la localisation des océans à la fin du crétacé inférieur durant le bombement durancien (figure extraite de http://lithotheque.ac-aix-marseille.fr/Affleurements_PACA/bauxites_PACA/bauxite_formation_plus.htm#)

Puis la mer va revenir sur les terres émergées, c'est la transgression marine. L'intégralité de la Provence va de nouveau être entièrement sous la mer et des sédiments carbonatés se déposent qui vont former des calcaires, des marnes ou des calcarénites quartzueuses. A cette époque la cavité « L'Eau-Relie » n'existe pas encore et la Sainte Baume non plus. Les terrains du Crétacé supérieur vont venir recouvrir la bauxite et les surfaces érodées durant l'épisode du bombement durancien. Au nord de la Sainte Baume, vers Mazaugues, les roches du crétacé supérieur reposent directement sur les terrains du jurassique supérieur (ou sur la bauxite), illustrant ainsi l'érosion intense qui a fait disparaître toutes les roches du crétacé inférieur.

Vers la fin du Crétacé, au Campanien-Maastrichtien (Figure 1), la mer se retire et la sédimentation passe à un régime côtier puis lacustre. C'est à cette période que se développe la végétation sub-tropicale du bassin d'Aix qui sera piégée et formera le Lignite (charbon) exploité dans des mines. A l'Eocène, autour du Bartonien (40 à 37 Millions d'années environ), les grands chevauchements se mettent en place sur des structures plissées pré-existantes. Les terrains glissent du sud vers le nord, donnant du sud vers le nord : l'unité

géologique de Bandol, l'unité du Beausset, l'unité de la Sainte Baume. Depuis, la Provence a subi plusieurs phases de fracturation et de basculement, et le relief a été façonné par l'érosion.

Vu en coupe, le massif de la Sainte Baume est complexe (Figure 4) : la haute-chaîne qui surplombe le Plan d'Aups est en fait constitué de terrain en position renversée, c'est-à-dire que les plus jeunes sont dessous et les plus vieux dessus. Le Plan d'Aups est formé par les terrains du crétacé supérieur autochtone. Et entre le Plan d'Aups et l'anticlinal de la Lare se trouvent les terrains de l'unité chevauchante qui sont venus du sud et passés par dessus la Sainte Baume. Le curieux, et/ou amateur de géologie, pourra découvrir de nombreux spécimens de rudistes et mieux comprendre à quoi ressemblait la Provence au Crétacé en visitant l'exposition de la maison du Terroir et du Territoire de la Cadière d'Azur.

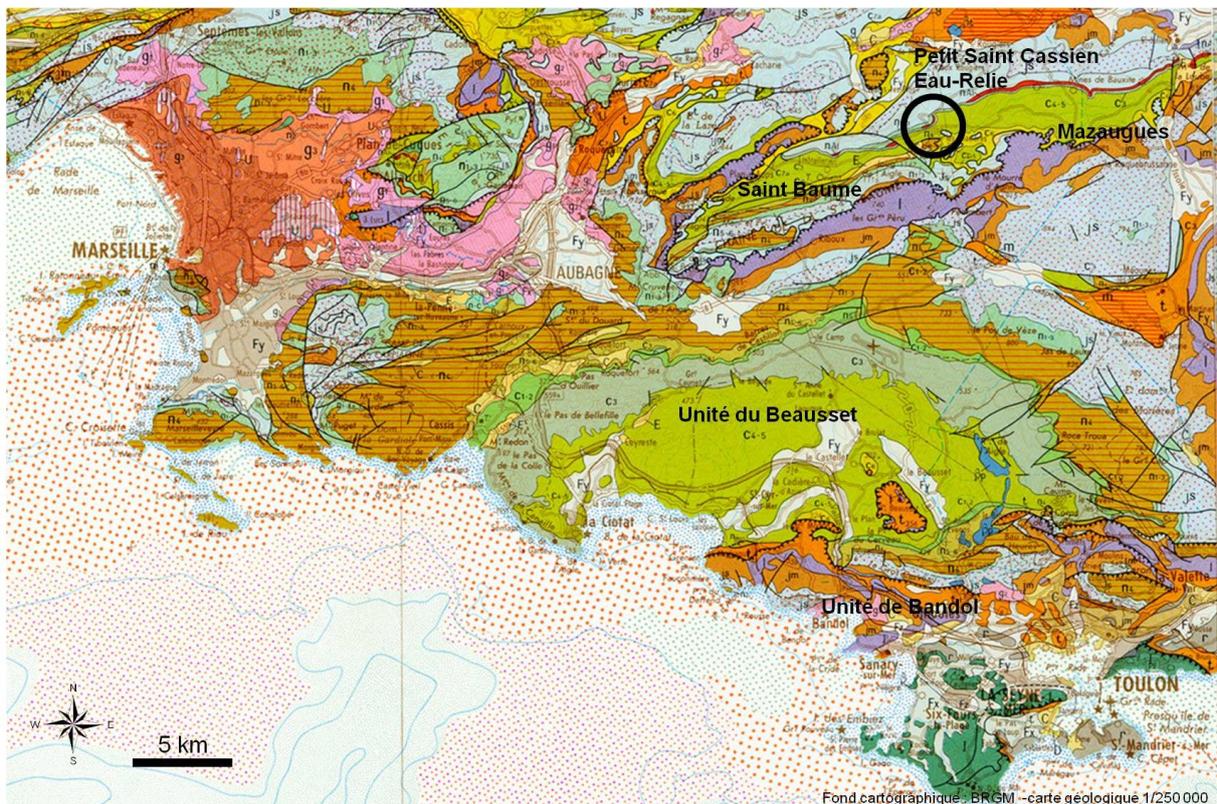


Figure 3 : Carte géologique 1/250 000 de Marseille à Toulon (d'ouest en est) et de la mer à la Sainte Baume (du sud au nord)

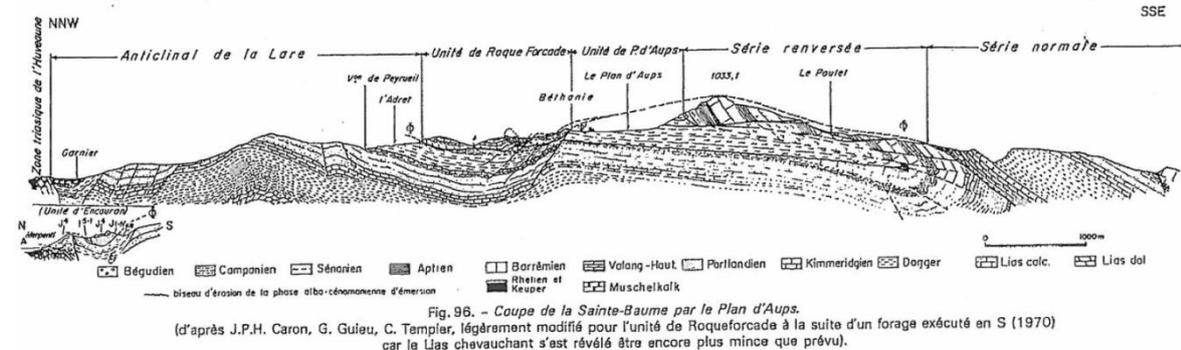


Figure 4 : Coupe géologique traversant le massif de la Lare et la Sainte Baume (figure extraite de Gouvernet et al. 1979)

2- La géologie autour de l'Eau-Relie

La carte géologique 1/50 000 (BGRM, consultable sur infoterre.fr) permet de voir précisément l'âge des terrains identifiés dans le secteur Saint-Cassien / Eau-Relie (Figure 5). La bauxite affleure à l'ouest et au nord de l'Eau-Relie, visible à deux reprises sur la route de Rougiers. La bauxite repose ici sur les terrains du Valanginien (n2 – base du crétacé inférieur, fin vers 136 millions d'années), ce qui signifie que toute l'épaisseur de terrains hauterivien, barrémien (faciès urgonien) et aptien ont été érodés lors du bombement durancien. Au-dessus de la bauxite, la série calcaire est datée du Turonien (C3 – environ 90 millions d'années) puis passe rapidement à du Coniacien (C4R). Il manque donc au niveau de la bauxite, les dépôts calcaires correspondant à environ 46 millions d'années. Le Turonien et le Coniacien sont ici calcaires, avec de nombreux fossiles de rudistes.

Une autre caractéristique de ce secteur est la présence de deux grandes failles, matérialisées sur la carte géologique par un trait noir. Le report de la topographie de l'Eau-Relie (en bleu sur la Figure 5) permet de voir que la cavité passe à travers la faille nord. Le Petit Saint-Cassien (en rouge sur la Figure 5) traverse également la faille nord dans le secteur de l'Eau-Relie. Par contre, on peut aisément observer sur la Figure 5 qu'au niveau de l'entrée du Petit Saint-Cassien la cavité s'est développée préférentiellement suivant l'orientation ouest-est de la faille nord. Sur la partie terminale de la zone explorée du Petit Saint Cassien, la galerie principale suit la direction de la faille sud sur près de 1,5 km.

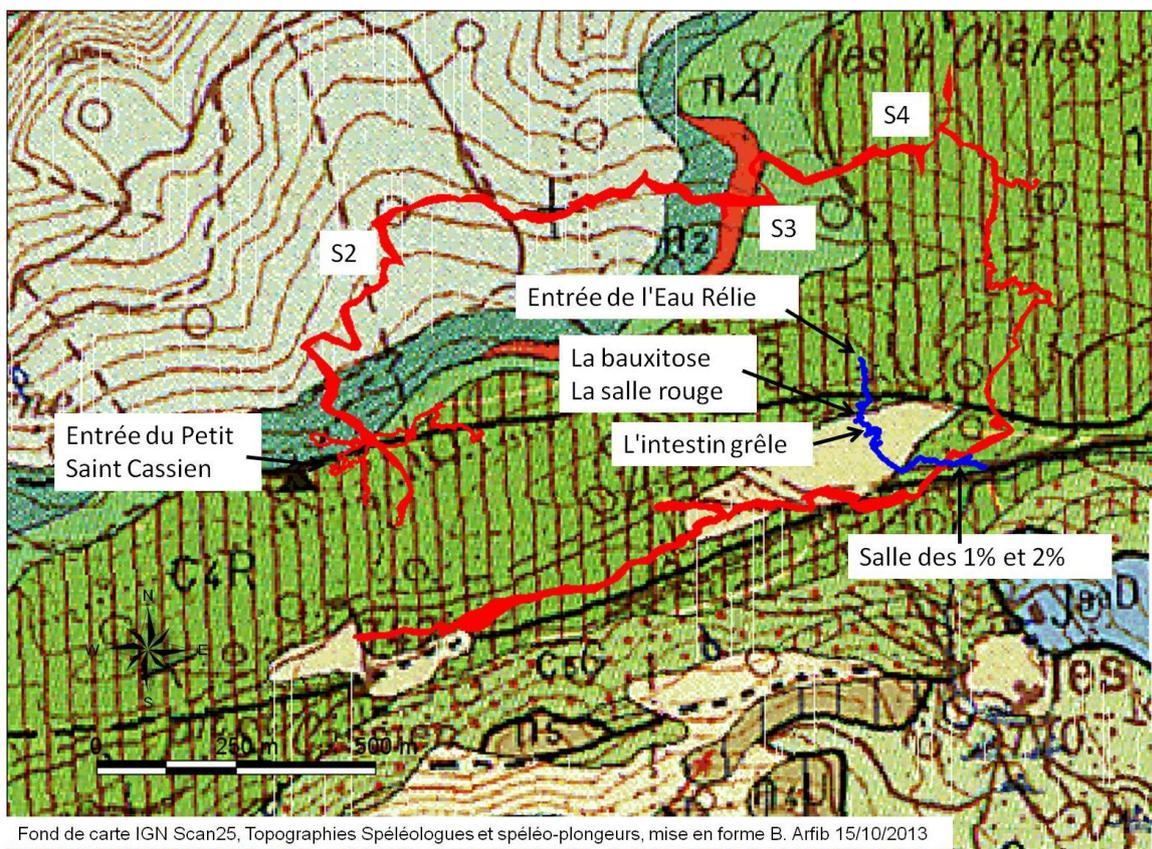


Figure 5 : Report de la topographie du Gouffre du Petit Saint Cassien et du Gouffre de l'Eau-Relie sur le fond de carte géologique 1/50 000

3- La géologie dans l'Eau-Relie

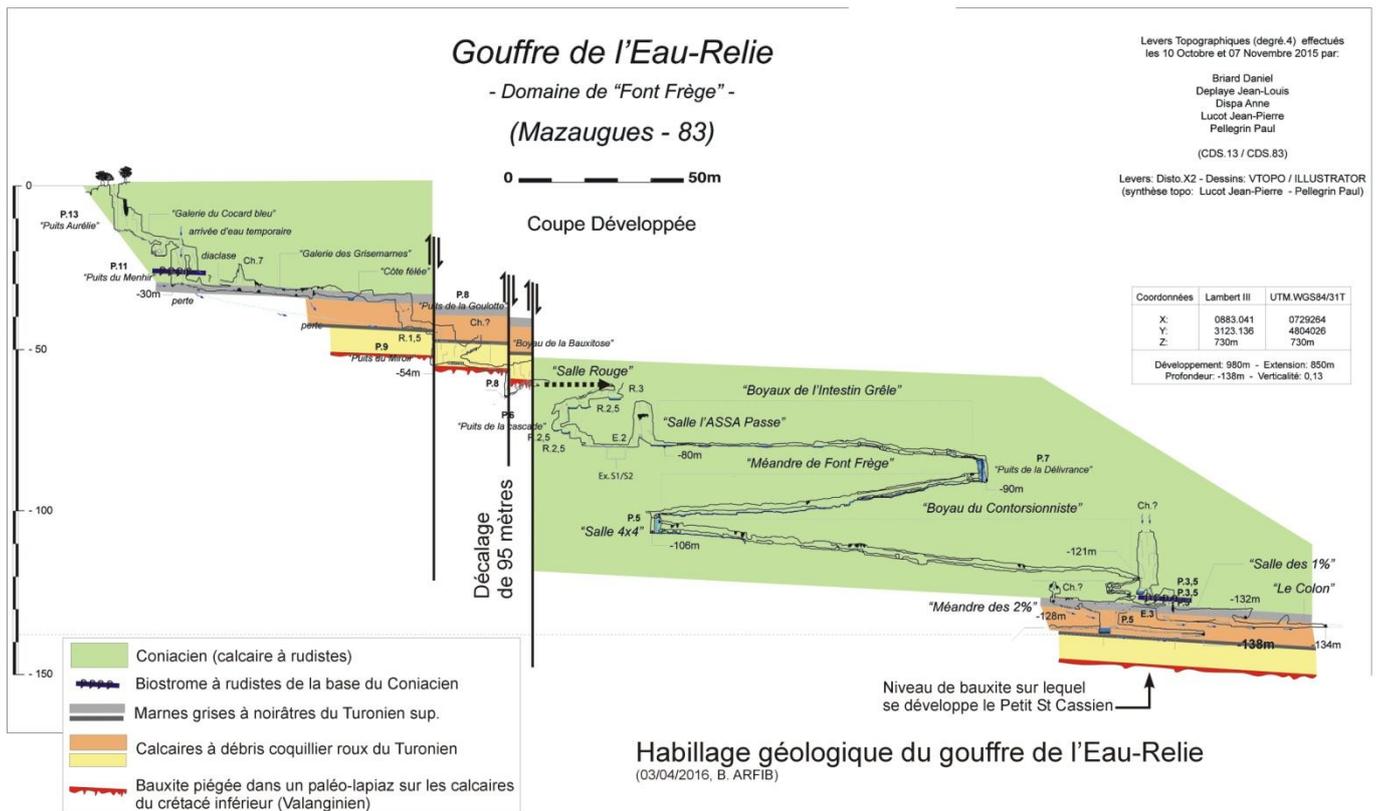


Figure 6 : Habillage géologique de la coupe du gouffre de l'Eau-Relie à l'aide des observations faites dans la cavité lors des explorations spéléologiques

Les explorations spéléologiques dans le gouffre de l'Eau-Relie donnent accès à l'observation des roches dans le sous-sol et leur localisation précise à l'aide de la topographie spéléologique. La Figure 6 est une illustration exemplaire des multiples compétences mises à profit au sein d'une équipe comme celle des explorateurs de l'Eau-Relie. Au sein de l'Eau-Relie, de la surface jusqu'au fond, vont se succéder les couches (ou strates) de terrains carbonatés : calcaires et marnes aux faciès multiples. Les différents faciès vont permettre d'identifier des niveaux caractéristiques, par exemple les assemblages de fossiles présents, ou la nature plus ou moins argileuse des strates, ou la couleur blanche, grise, ou rousse, ou encore la présence de clastes (débris) ou de boue carbonatée dans les calcaires. Tous ces éléments sont liés aux conditions de dépôt du sédiment et son évolution ultérieure. Les niveaux principaux sont représentés sur la Figure 6. On peut également observer les failles qui décalent les terrains dans le sous-sol. Trois failles principales sont traversées par la cavité, la première passant par le puits de la goulotte et le puits du miroir, la seconde et la troisième dans la salle rouge. Ces failles représentent une zone de failles d'environ 15 à 20 mètres de large, qui a été identifiée par les géologues et tracée sur la carte géologique par un trait de faille unique (la faille nord sur la Figure 5). Ces failles sont quasiment verticales. Le report de la topographie de la cavité sur la carte géologique montre que les failles identifiées sous terre coïncident bien avec la faille dessinée et observée en surface (Figure 5). A l'aide des niveaux repère, il est ainsi possible de calculer le décalage entre le bloc nord et le bloc effondré au sud de la zone de faille. Ce décalage atteint 95 mètres, les failles 1 et 2 décalent chacune de 4 mètres environ, et la faille 3 décale de près de 85 mètres environ. Cela signifie que dans la salle rouge, le spéléologue qui marche sur la bauxite va tout à coup se retrouver dans les terrains du crétacé supérieur (Coniacien), puis au cours de la descente vers le fond du gouffre

il va retrouver toutes les strates déjà traversées dans la première partie (Figure 6, Figure 7). Les couleurs sur la Figure 6 aident à visualiser la succession de strates de part et d'autre des failles.

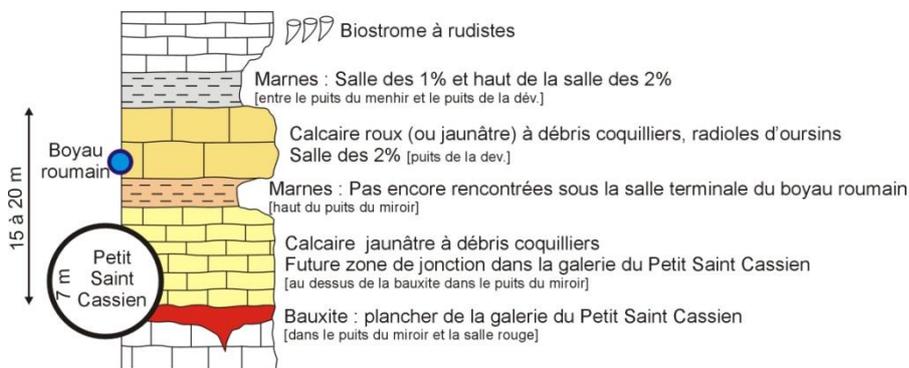


Figure 7 : Log géologique représentant les différentes strates observées dans la première partie de l'Eau-Relie et qui se retrouvent décalées 95 mètres plus bas dans le fond du gouffre (extrait de Arfib et Seurin, 2013).

Une des observations magnifiques de l'Eau-Relie se trouve dans le puits du miroir. Le spéléologue passe à travers la bauxite et traverse ainsi un superbe paléo-lapiaz, c'est-à-dire une surface karstique qui était à l'affleurement il y a environ 100 millions d'années. Le puits développé sur la faille a mis à nu une coupe parfaite des terrains. On peut observer la bauxite qui s'est infiltrée au fond des diaclases du lapiaz à cette époque. Imaginez un climat tropical, chaud et humide. Puis on peut imaginer ensuite la mer qui revient, c'est la transgression du turonien (environ 90 millions d'années), qui recouvre toute les terres qui étaient émergées et dépose des calcaires roux (ou jaunâtres) à débris coquilliers. Dans la salle des 2%, on retrouve même des restes de radioles d'oursins.

L'observation de la géologie, outre l'intérêt que cela représente pour la connaissance de la géologie régionale, permet également de prévoir où l'on se trouve en profondeur dans le massif calcaire. En particulier, la géologie permet de répondre à la question : Où va-t-on rejoindre le réseau du Petit Saint Cassien ?

En effet, grâce à la coupe de la Figure 6, on voit que les explorations actuelles au fond de l'Eau-Relie s'arrêtent sous les salles des 1% et 2%. A ce niveau-là nous sommes dans les calcaires roux à débris coquilliers équivalents à ceux du sommet du puits du miroir. Par analogie entre la première partie de l'Eau-Relie et le fond (du fait du décalage de la faille), nous savons qu'au fond nous allons bientôt traverser un niveau marneux de quelques dizaines de centimètres (équivalent au départ du puits du miroir) puis traverser le dernier niveau calcaire roux de 6 à 8 mètres de hauteur (équivalent aux calcaires du puits du miroir) avant d'arriver sur la bauxite. Et justement, la bauxite est un élément extrêmement important dans le réseau amont du Petit Saint Cassien, car la galerie du Petit Saint Cassien que l'Eau-Relie permettra d'atteindre se développe au contact avec la bauxite (Observations d'Alex Zappelli le 12/01/2013). Dans le secteur de cette future jonction spéléologique (au 20/05/2016 la jonction n'est pas encore faite), la galerie du Petit Saint Cassien mesure jusqu'à 7 mètres de haut, ce qui signifie que si les deux réseaux spéléologiques sont superposés l'un sur l'autre, il ne reste plus que 1 à 3 mètres en vertical à traverser pour « tomber » dans le Saint Cassien.

Pour finir cette description géologique de l'Eau-Relie, 10 fiches sont proposées dans les pages suivantes, présentant des points d'observation remarquables.

Bibliographie

Cartes géologiques : www.infoterre.fr

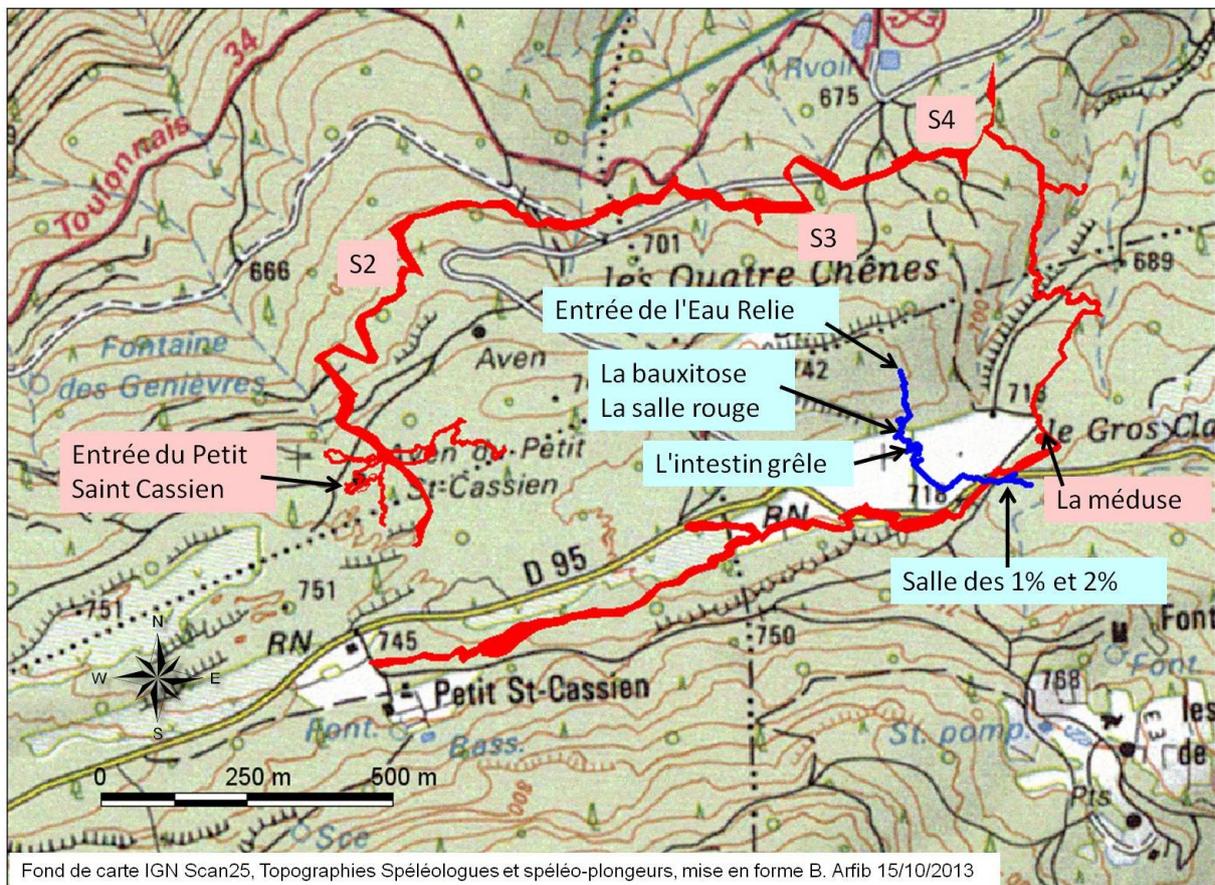
Gouvernet, Guieu, Rousset (1979) Guides géologiques régionaux « Provence ». Masson ed.

Guieu, Ricour, Rouire (2008) Découverte géologique de Marseille et son environnement montagneux. Jeanne Lafitte ed.

Arfib B. et Seurin J.P. (2013) Exploration dans l'Eau Relie – Var, Sainte-Baume. Spelunca, n°132, pp.5-7

En savoir plus sur l'hydrogéologie des formations carbonatées karstiques : www.karsteau.fr

Information importante : le gouffre de l'Eau-Relie s'ouvre sur une propriété privé à accès règlementé. Avant toute visite, il est nécessaire de se rapprocher du CDS13 ou CDS83.



Annexe 1 : Report de la topographie du Gouffre du Petit Saint Cassien (en rouge) et du Gouffre de l'Eau-Relie (en bleu) sur fond de carte scan 25 IGN 1/25 000

Page suivante : Localisation des 10 points d'observations géologiques remarquables sur la coupe géologique du gouffre de l'Eau-Relie.

Gouffre de l'Eau-Relie

- Domaine de "Font Frège" -
(Mazaugues - 83)

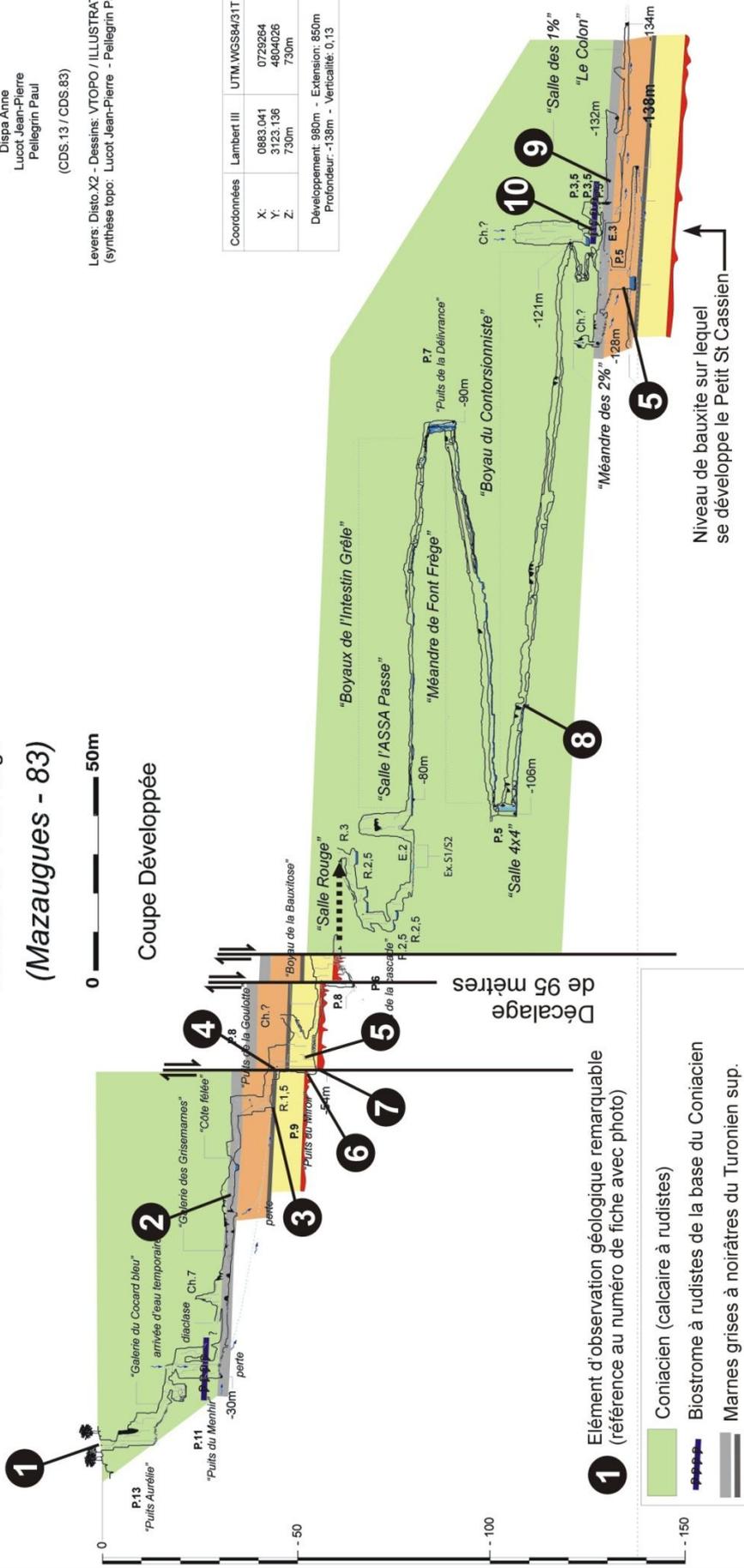
Levers Topographiques (degré.4) effectués les 10 Octobre et 07 Novembre 2015 par:

Briard Daniel
Deplaye, Jean-Louis
Dispa Anne
Lucot Jean-Pierre
Pellegrin Paul
(CDS.13 / CDS.83)

Levers: Disto.X2 - Dessins: VTOPO / ILLUSTRATOR
(synthèse topo: Lucot Jean-Pierre - Pellegrin Paul)

0 50m

Coupe Développée



Niveau de bauxite sur lequel se développe le Petit St Cassien

Habillage géologique du gouffre de l'Eau-Relie

(03/04/2016, B. ARFIB)

1 Elément d'observation géologique remarquable (référence au numéro de fiche avec photo)

- Coniacien (calcaire à rudistes)
- Biostrome à rudistes de la base du Coniacien
- Marnes grises à noirâtres du Turonien sup.
- Calcaires à débris coquillier roux du Turonien
- Bauxite piégée dans un paléo-lapiaz sur les calcaires du crétacé inférieur (Valanginien)

❶ Les rudistes du coniacien (crétacé supérieur, 86-89 Ma) à l'entrée du gouffre de l'Eau-Relie



Les amarrages du puits d'entrée dans le gouffre sont plantés au sein d'un amas de fossiles de rudistes du Coniacien. Certains sont en coupe longitudinale, d'autres en coupe transversale, ou en débris.



Nombreux rudistes dans les calcaires du Lapiaz autour de l'entrée du gouffre de l'Eau-Relie (la pièce de 50 centimes donne l'échelle).

② Les marnes dans la galerie des Grisesmarnes



Le Turonien est caractérisé par une alternance de niveaux marneux (calcaire contenant de l'argile) et de niveaux calcaires. Les marnes sont plus tendres que le calcaire et se trouvent érodées. La photo montre le niveau marneux supérieur où se développe la galerie des Grisesmarnes, entre le puits du ménhir et le puits de la goulotte (ou puits de la déviation). C'est ce même niveau marneux que l'on retrouve au fond de la cavité et qui forme les salles des 1% et des 2%.

③ Les marnes intercalées dans les calcaires roux



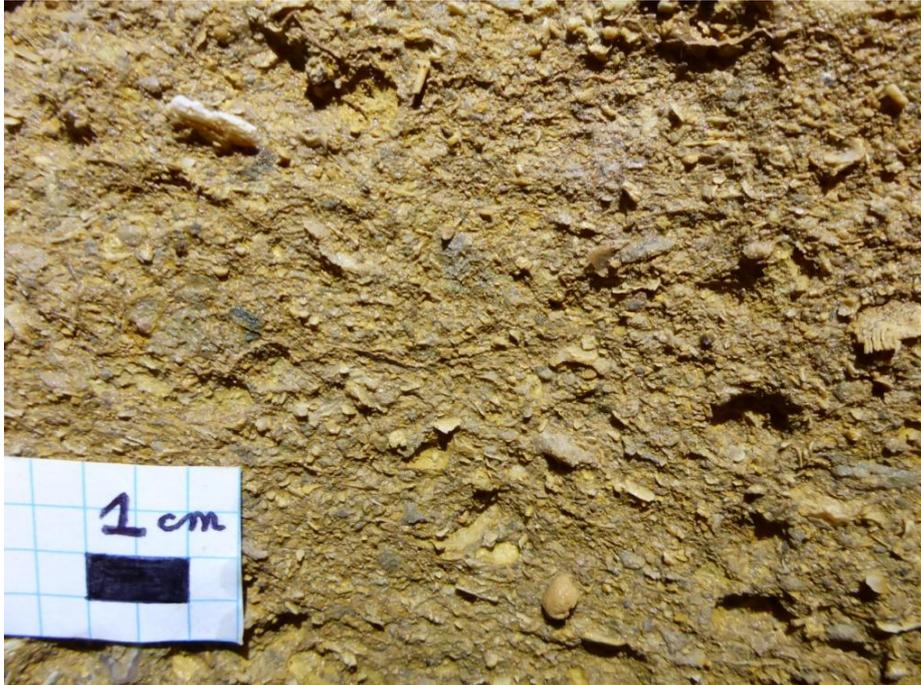
Les calcaires du Turonien sont ici principalement de faciès roux et contenant des bioclastes (débris d'organismes coquilliers). A la base du puits de la goulotte, on peut observer un niveau marneux d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur qui sépare la série turonienne calcaire. Ce niveau marneux constitue un repère dans la série sédimentaire. L'exploration du fond de l'Eau-Relie s'arrête aujourd'hui (20/05/2016) juste au-dessus de ce niveau.

④ Le miroir de faille du puits du miroir



Le sommet du puits du miroir permet d'observer un superbe miroir de faille (à droite sur la photo). Le miroir de faille est une zone lustrée par le frottement de deux compartiments qui coulissent l'un contre l'autre. En coulissant, les roches laissent des stries, ici verticales, qui permettent au géologue de retrouver le sens et la direction de glissement. Sur la photo, et dans le sens de la descente vers le fond de la cavité, c'est le bloc de gauche qui s'est effondré (donc le bloc sud à l'échelle du massif). Dans le puits du miroir, comme dans le puits de la goulotte, on peut repérer des niveaux caractéristiques décalés verticalement d'environ 4 mètres, ce qui permet de quantifier le déplacement.

⑤ Les calcaires roux bioclastiques du Turonien



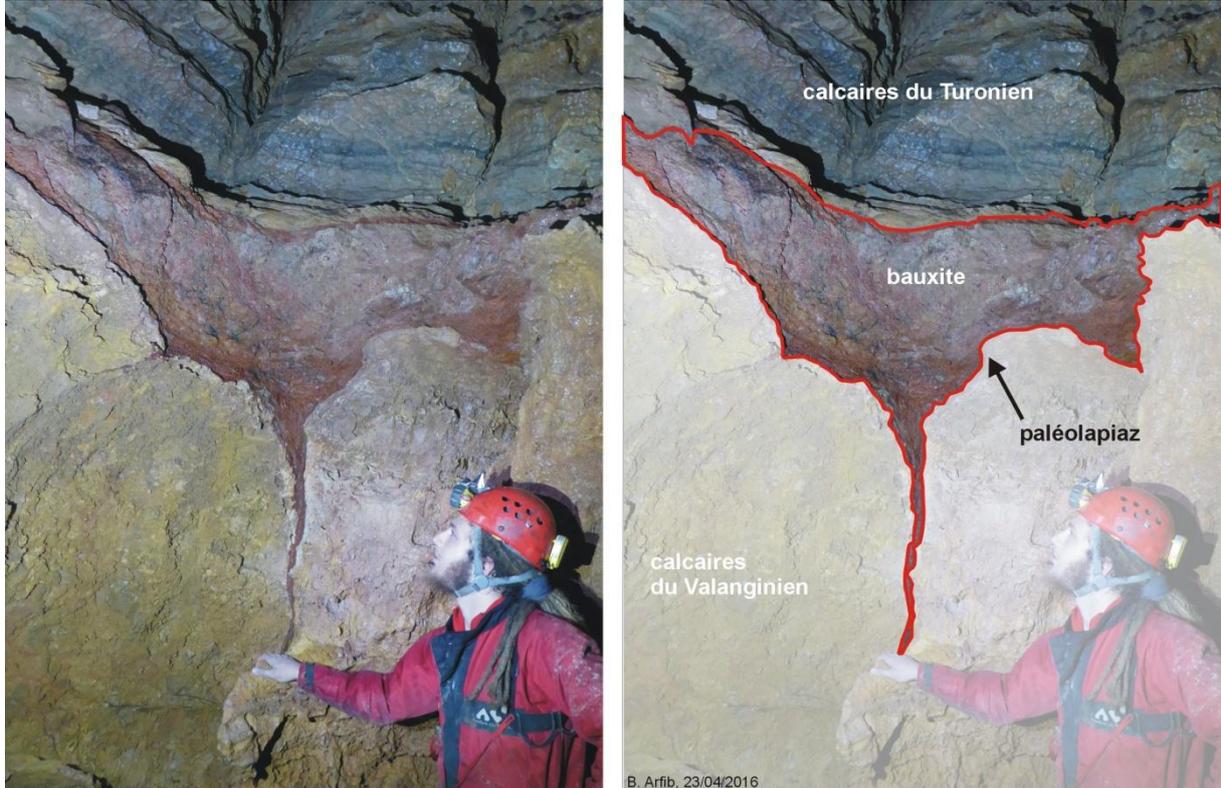
En descendant dans le puits de la goulotte et le puits du miroir, le spéléologue pourra remarquer que le calcaire présente un faciès particulier, avec une couleur rousse et de nombreux débris de tests calcaires (coquilles).

Au fond de la cavité, ces mêmes calcaires roux du Turonien s'observent dans la salle des 2%. A gauche de la cascade, deux mètres en hauteur, on peut même observer de beau radiole d'oursin fossile.



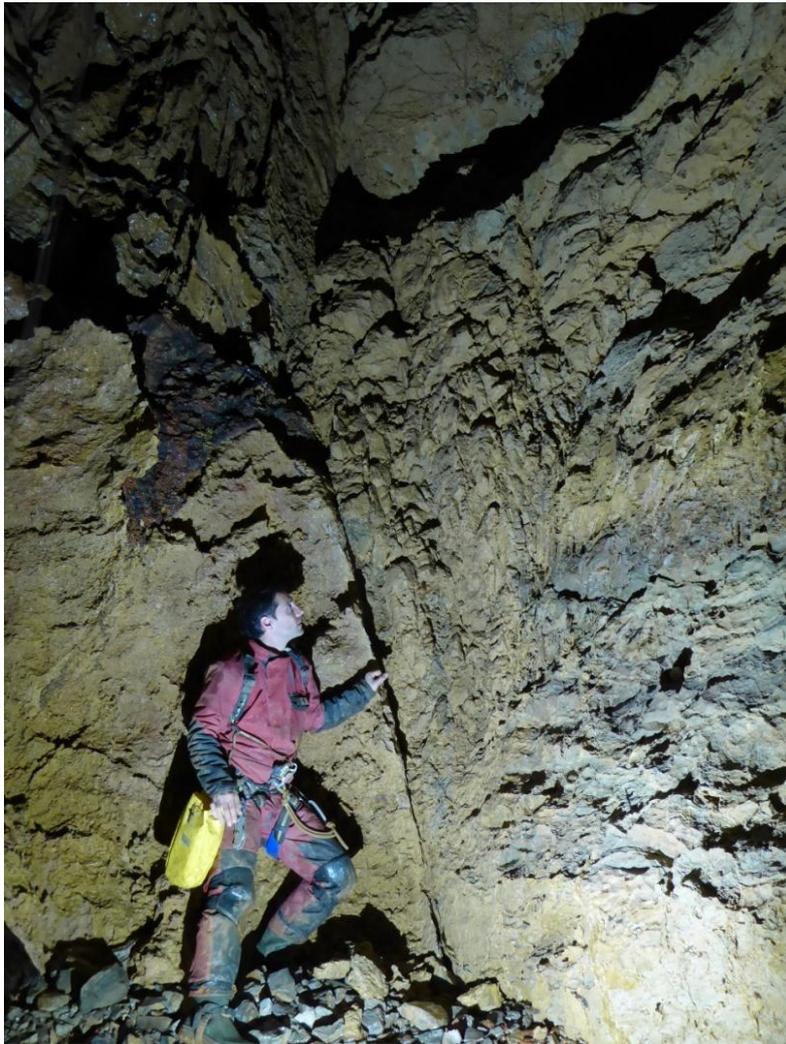
⑥ La bauxite

La bauxite s'est déposée dans de grandes dépressions et des paléo-lapiaz à la fin du crétacé inférieur, sous climat tropical, au cours d'une phase d'émergence appelée bombement durancien. Le paléo-lapiaz est très bien visible dans le puits du miroir (photo ci-dessous) : la bauxite s'est infiltrée dans les vides karstiques des calcaires du Valanginien. Au-dessus de la bauxite, la série calcaire du Turonien débute.



Le boyau de la bauxitose. Les premiers explorateurs ne s'y sont pas trompés, la bauxite donne une couleur rouge au boyau.

⑦ La faille du puits du miroir et du puits de la goulotte



La faille du puits du miroir décale de 4 mètres vers le bas les terrains du bloc sud. Le personnage est appuyé sur le bloc nord, la main sur la faille principale. Il regarde le bloc sud effondré et découpé par de nombreuses cassures verticales. Photo prise au bas du puits du miroir, on peut remarquer la bauxite formant une tache foncée au-dessus du personnage.

⑧ A l'entrée de la NASA, un rudiste géant atteste de l'âge crétacé supérieur des calcaires



Une fois la salle rouge traversée en direction du fond du gouffre, le spéléologue va se trouver dans le bloc sud effondré de 95 mètres, passant ainsi des terrains du Valanginien (crétacé inférieur) au Coniacien (crétacé supérieur) en l'espace d'un mètre. A partir de là, des rudistes apparaissent dans la masse calcaire. A l'entrée de la NASA, un superbe rudiste géant.

⑨ Les marnes du Turonien dans la salle des 1%



La salle des 1% (et également celle des 2%) s'est développée à la faveur du niveau marneux supérieur des terrains turoniens. Les marnes, plus tendres que les calcaires, se trouvent ainsi plus rapidement érodées par l'action mécanique de l'eau qui circule. Sur la photo, derrière les personnages, on peut voir l'épaisseur du niveau marneux d'environ 1 mètre, semblable à la galerie des Grisesmarnes.



Gastéropode extrait du niveau marneux Turonien de la salle des 1% (l'échelle est en centimètre)

10 Le biostrome à rudistes de la base du Coniacien



Les rudistes sont des mollusques, bi-valves, avec une forte asymétrie. Le biostrome à rudistes est une colonie de rudistes qui s'est trouvée piégée et se retrouve aujourd'hui dans la masse calcaire. Ce niveau caractéristique peut être observé dans le puits du menhir à environ 3 mètres au-dessus de la base du puits, et également juste avant de descendre le puits de la salle des 1% (photos). Dans ces biostromes, les rudistes sont des *Hippurites socialis*, qui avaient la caractéristique de vivre groupés, les uns contre les autres. Les rudistes sont présents durant le Crétacé.

