

L'image témoin

des grottes et des paysages



L'image témoin

des grottes et des paysages



L'image témoin *noun, féminine*

Courier Std

Traduction sample image n

Alternative translation reference image, sample picture n

1990 - ANCIEN TITRE : L'IMAGE-TEMOIN asbl

1998 - DEVENT : association NATURE-TEMOIN

Filmstrip Ire couverture - Extraits d'œuvres photographiques et cinématographiques réalisées par B. Magos à Mont-sur-Meuse (Ardennes, Belgique) et à la grotte de la Cigalère (Ariège, France)

Premier Plan: BM et sa Caméflex 35 mm. Second plan, de gauche à droite: Étage supérieur de la Cigalère - Excentriques de gypse dans l'Apothéose des Cavemes - BM interroge l'abbé Breuil lors de l'authentification de la grotte de Rouffignac - BM et sa caméra Gévaert 16 mm - Autoportrait pendant l'exploration au Septième Ciel à la Cigalère

Collection clichés © Nature-Témoin pour Bernard Magos

Photo de couverture - B. Magos indique un dessin préhistorique parmi les graffiti pariétaux à la grotte de Saint-Marcel d'Ardèche (voir article p. 3) - cliché E. Van den Broeck

L'image témoin

des grottes et des paysages

Communication associative d'informations scientifiques sans périodicité régulière

Tous droits réservés

Copyright © 2022 NATURE-TEMOIN association loi 1901

Éditions NATURE-TEMOIN - 30760 Issirac

info@nature-témoin.fr

Directeur de la publication: Eric Van den Broeck

Rédacteur en chef: Eric Van den Broeck

Équipe rédactionnelle: Eric Van den Broeck, Joël Jolivet, Bernard Magos, Myriam Van der Meirsch

L'impression des opinions émises par les auteurs n'engage que leur propre responsabilité

ISBN: 9791034340590

Dépôt légal 2e semestre 2022

Imprimé en France ****



ÉDITORIAL

Une bonne trentaine d'années après que Bernard Magos a créé notre association, initialement appelée L'Image Témoin, il est temps de rendre honneur à ce noble spéléologue, à travers de cette publication. Après l'édition de ses films «audio-visuel à visage humain» en 16 et 32 mm, vidéos et DVD, notre honorable secrétaire a maintenant l'honneur de présenter l'article principal.

A l'occasion de deux événements, les adhérents de l'association Nature-Témoin ont le plaisir d'annoncer la publication de certaines de nos recherches et explorations, afin de contribuer à la connaissance et à la protection des grottes et des paysages karstiques. Suite à la pandémie du Covid-19, l'Année internationale des grottes et du karst (IVCK) 2021 est prolongée en 2022. L'événement majeur du IVCK est le Congrès international de spéléologie (ICS) de l'Union internationale de spéléologie (UIS), également reporté à 2022. Celui-ci aura lieu en France, cette fois-ci, du 24 au 31 Juillet, en présence de l'image témoin des grottes et des paysages, dont nous vous souhaitons une agréable lecture.

L'image témoin
l'audio-visuel à visage humain
présente

SOMMAIRE - CONTENTS

- 2** Observation d'art pariétal à la grotte de Saint-Marcel d'Ardèche (07)
Bernard Magos, Jean-Jacques Misérez, Sarah Wauters, Erik Van den Broeck
- 4** La Rivière souterraine de la Rainette à Grospiennes et Chandolas (07).
Synthèse par Erik Van den Broeck pour le Collectif Shadois de la Rainette
- 18** Découvertes paléolithiques et néolithiques au Konijnenberg à Hofstade, Aalst, province de Flandre-Orientale, Belgique
Romain De Moor, Johnny De Mel
- 22** Suivi 2017-2021 Climatologie et énergies à l'Aven-grotte de la Forestière d'Issirac (Ornac-L'Aven, 07)
Erik Van den Broeck
- 26** Rôle de l'Urgonien dans la morphologie des formes pariétales en milieu endo-karstique : les banquettes-limites
Joël Jolivet, Steve Peuble, Erik Van den Broeck, Frédéric Galice et Didier Graillet
- 36** Paléogéographie du canyon de l'Ardèche du Crétacé inférieur à l'Oligocène: approches par la tectonique, la géomorphologie et la géochimie
Joël Jolivet, Steve Peuble, Frédéric Paron, Frédéric Galice, Erik V.d. Broeck et Didier Graillet
- 48** Le cadre Naturel, source d'inspiration des Artistes de la Préhistoire
Myriam Van der Meirsch, Erik Van den Broeck

Rôle de l'Urgonien dans la morphologie des formes pariétales en milieu endo-karstique : les banquettes-limites

RÉSUMÉ

Les banquettes-limites sont des formes d'évolution pariétale présentes dans de nombreux conduits karstiques. De différentes largeurs et épaisseurs, elles indiquent une dynamique hydraulique au sein d'un maillage de fractures qui évolue vers l'édification de drains horizontaux ou verticaux dans la masse calcaire.

Jusqu'à présent, seuls les phénomènes hydrodynamiques intervenant dans leur élaboration ont été étudiés selon des contextes de spéléogénèse en milieu épinoyé à noyé suite à une élévation du niveau de base local ou régional, d'assèchement progressif dans le conduit, de l'altération incomplète par dissolution voire de corrosion sous remplissage des argiles déposées par aggradation sédimentaire. (Zupan-Hajna, 2003) ; (Nehme et al., 2009) ; (Jaillet et al., 2011.) ; (Dandurand et al., 2011).

Si le flux hydraulique est évoqué comme agent de façonnement, il n'en est pas de même du contenant, ici la roche encaissante, substrat au développement de ces morphologies particulières.

Les analyses géochimiques réalisées dans les parties concaves et convexes des parois induisant des banquettes-limites montrent une hétérogénéité dans les séries calcaires urgoniennes de leurs composants chimiques, de leurs textures, et de leurs ciments et cémentations de dépôt. Ces ensembles hétérotopiques des séquences du Barrémien-Aptien ont contribué de manière passive à la constitution des banquettes-limites.

Un protocole de caractérisation géochimique par spectroscopie ICP-AES a été mis en place pour mesurer la concentration en éléments majeurs, mineurs et traces sur des échantillons calcaires du Barrémien supérieur et Aptien inférieur prélevés au niveau des différents reliefs pariétaux en cavité.

Cette approche s'inspire de l'étude menée dans la même région sur les sédiments du Crétacé supérieur et de l'Éocène (Jolivet et al., 2020).

Des échantillons de roche ont été prélevés sur six sites et ont ensuite été polis afin de déterminer leur structure de dépôt d'après le tableau de classification de Dunham (1962).

Les sites de prélèvement se trouvent d'une part en Ardèche en rive gauche des gorges et d'autre part sur le plateau de Méjannes le Clap dans le Gard

MOTS-CLÉS

Cavité, Morphologie endokarstique, Banquette-limite, Urgonien, Barrémien supérieur, Aptien, secteurs Ardèche et Gard.

ABSTRACT

Bench-walls are evolutionary wall shapes found in many karstic ducts. Their different thickness and width indicate a hydraulic understanding in a network of fractures evolved towards the building of horizontal or vertical drains in the limestone mass.

Until now, only hydrodynamic phenomena involved in their development have been studied in their shaping depending on speleogenetic contexts in epiphreatic to phreatic environments due to rising of local or regional base level, progressive drying in the conduit, incomplete alteration through dissolution or corrosion under filling of clays deposited by sedimentary aggradation. (Zupan-Hajna, 2003); (Nehme et al., 2009) ; (Jaillet et al., 2011.) ; (Dandurand et al., 2011).

Where the hydraulic flux is named as shaping agent, the same would not apply to the container, the surrounding rock, substrate to the development of these particular morphologies.

Geochemical analysis carried out in the concave and convex wall portions inducing bench-walls show a heterogeneity in the Urgonian limestone series of their chemical constituents, of their textures, and of their filling cements and cementations.
These heterotopic assemblies of Barremo-Aptian sequences have passively contributed to the constitution of bench-walls.
A characterisation protocol through geochemical ICP-AES analysis of Upper Barremian and Lower Aptian limestone samples taken at different shape levels of cave walls permits to establish the major, trace and transition elements.
This approach is inspired by research carried out in the same region on Upper Cretaceous and Eocene sediments (Jolivet et al., 2020).
Rock samples were collected on six sites and refined in order to determine their filling structure following the classification table of Dunham (1962).
The sampled sites are evenly situated on the left bank of the Ardèche river and also on the plateau of Méjannes le Clap in the Gard department.

KEYWORDS

Cave, Endokarstic morphology, Bench-wall, Urgonian, Upper Barremian, Aptian, sectors Ardèche and Gard.

INTRODUCTION

Au Barrémien supérieur et à l'Aptien sous un climat chaud et humide, le Sud-Est de la France était submergé au Barrémien supérieur et à l'Aptien. Sur la bordure marine du bassin Vocontien, de grandes plateformes carbonatées correspondantes en particulier aux régions du Gard et de l'Ardèche, se développent à partir d'accumulations de sédiments appelés Urgonien.

Le terme Urgonien désigne l'ensemble des sédiments diagenésés qui constituent les plateformes et leurs bordures. Cette dénomination englobe les calcaires à faciès internes (miliolidés, faciès de tempête) représentant les zones infra et supra-littorales où se positionnent (i) les environnements de proches émergences, (ii) les lagons internes à oncolites et petits rudistes et externes avec de grands rudistes et des coraux, (iii) les bordures externes de plateformes avec des bioclastes, (iv) les talus récifaux à échinodermes et enfin l'environnement circalittoral dont dépend la zone sous photique avec des stromatopores et ammonites.

Carte 1 - Localisation des sites souterrains étudiés. (échelle 1/50 000)

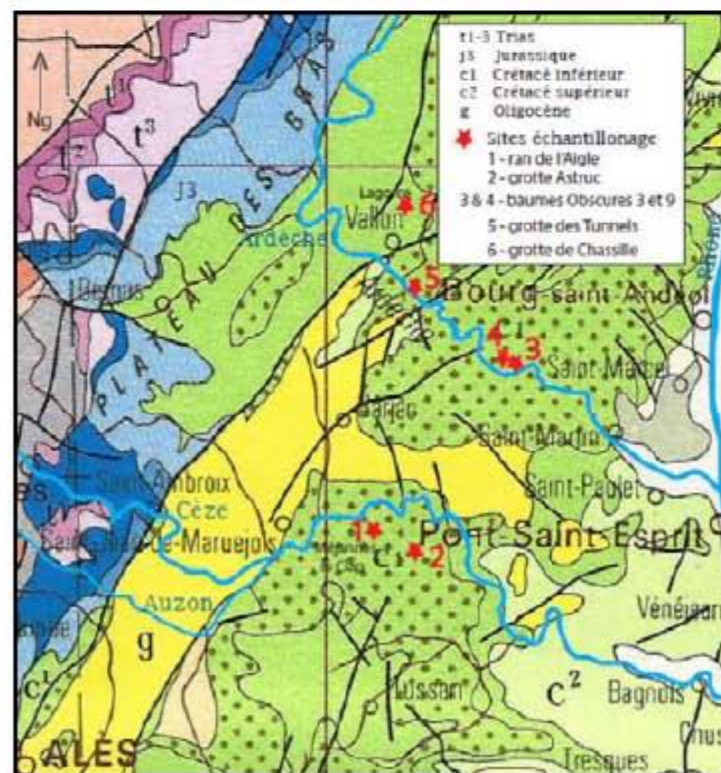


Photo 1 - Obscure n° 3 - Points et n° de prélèvements dans les formes pariétales des parois - @ indices de fossiles.

Points I et J: Barrémien supérieur (n4 bU) - Points A à H : Bédoulien basal (n4c-5aU)

Les lignes en pointillés rouges délimitent les termes de dépôt.

Pour l'Ardèche, sept séquences de dépôts du troisième ordre ont été définies, cinq dans le Barrémien et deux dans l'Aptien, et montrent des similitudes avec les régions du Vercors, du Dévoluy et de Provence (Cotillon et al., 1979). Ainsi 52 séries urgoniennes ont pu être subdivisées en séquences stratigraphiques afin de déterminer la géométrie et l'évolution paléogéographique de la plateforme urgonienne (Bastide, 2014).

La série urgonienne n'est ni homogène, ni uniforme en raison de subsidences différentielles (Arnaud-Vanneau, 1980); (Arnaud, 1981). Elle montre des variations importantes de dépôts et a été fortement impactée par la tectonique dès l'Aptien - Albien.

L'ensemble de la série sédimentaire est affecté par un canevas structural qui favorise le déplacement des compartiments carbonatés comme des ouvertures en cisaillement ou décrochement.

Les propriétés pétrophysiques changent en fonction du stade d'évolution au cœur de la faille (Caine et al., 1996) et des zones d'endommagement surviennent à la périphérie de la fracture enregistrant des digressions de glissements ou de déformations (Reyer et al., 2012).

Ces événements traduisent une hétérogénéité de structure dans laquelle vont se façonner les banquettes-limites au sein des conduits. Dans l'Ardèche, les baumes Obscures n° 3 et 9 se positionnent en rive gauche du canyon de l'Ardèche au niveau du belvédère de la Madeleine dans la transition des calcaires

Barrémien supérieur-Aptien basal, la grotte des Tunnels (ou de la Forge) s'ouvrant dans les calcaires de l'Aptien basal, dans la partie amont des gorges de l'Ardèche au niveau des tunnels de la route départementale 290. La grotte de Chassille se développe dans les calcaires du Bédoulien inférieur au sud du village de Lagorce. (carte géologique Bourg St Andéol - 889). Dans le Gard, les grottes Astruc et du Ran de l'Aigle se situent sur le plateau calcaire du Barrémien supérieur de Méjannes le Clap, (carte géologique Pont St Esprit - 913) (carte 1).

1. PROTOCOLE DE PRÉLÈVEMENTS ET MÉTHODOLOGIE D'ANALYSES DES ÉCHANTILLONS

Les prélèvements sont pratiqués par des petits forages au sein de la roche afin d'éviter toute corrosion superficielle dans les échantillons. Ils sont extraits dans les parois concaves et convexes bien distinctes. La spectrométrie d'émission à source atomique-plasma à couplage inductif (ICP-AES) est une technique d'analyse multi-élémentaire qui permet de mesurer la concentration en éléments chimiques (majeurs, mineurs et traces) avec une limite de détection de 0,01 ppm et une gamme spectrale étendue de 160 à 800 nm. Les analyses se font après dissolution des échantillons en voie acide.

2. DESCRIPTION DES SÉRIES DE DÉPÔTS SECTEUR ARDÈCHE

Les baumes Obscures n° 3 et n° 9 font partie d'un ensemble de cavités qui se répartissent le long d'une vire haute de la falaise qui surplombe la rivière Ardèche en rive gauche. (Platier, 1977). Elles se situent à l'ouest de l'entrée de la grotte touristique de la Madeleine.

Baume Obscure n° 3 se présente sous la forme d'une petite galerie de direction NE-SO dont les parois conservent quelques traces originelles de creusement. (photo 1)

Le bas de l'entrée de la grotte souligne l'interface Barrémien supérieur - Aptien basal qui se traduit par la vire intra urgonienne v3. (carte géologique Bourg St Andéol - 889).

Les termes calcaires des parois se sont formés dans un environnement infralittoral positionnant la plate-forme interne au sein d'un vaste lagon.

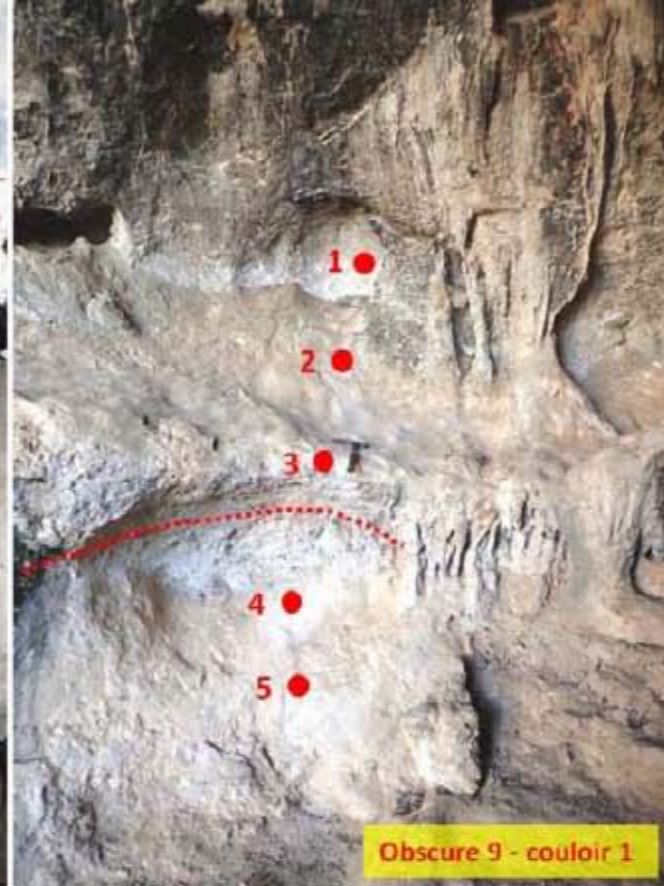
En bas (points I-J), le dépôt est de texture grainstone à ciment micritisé, montrant un litage ondulé très riches en pellets et miliolidés.

Cet espace délimite la coupure du Barrémien supérieur avec le Bédoulien basal (fig. 1).

La partie intermédiaire (points H à F) de texture packstone/grainstone contient quelques fragments de petits rudistes et foraminifères. Les zones hautes (E-D) et (C à A) font parties du même faciès avec cependant une concentration plus forte en petits rudistes au toit de ce terme sédimentaire.



Obscure 9 - couloir 2



Obscure 9 - couloir 1

La spéléogénèse de baume Obscure n° 9 s'est réalisée le long d'une faille 110°N qui sépare les couloirs 1 et 2, ce dernier ayant conservé des formes syngénétiques (photo 2).

Le recul de versant, initié notamment par le creusement du canyon de l'Ardèche, a éventré le couloir 1 lui conférant l'aspect d'une baume.

Le couloir 1 présente les caractéristiques de dépôts du Barrémien supérieur de baume Obscure n°3 qui sont soulignées par la vire V3, mais peu visible ici.

Dans le couloir 2, l'aspect du calcaire à l'affleurement est biocritique avec de rares rudistes témoignant d'un faciès de lagon relativement confiné. Il s'apparente à l'Aptien basal au regard des données géochimiques.

Le couloir 2 présente les caractéristiques de dépôts du Barrémien supérieur de baume Obscure n°3 qui sont soulignées par la vire V3, mais peu visible ici.

Photo 2 - Obscure n° 9- Points et n° des prélèvements dans les formes pariétales des parois - @ indices de fossiles.

Pariol du couloir 2 : Bédoulien basal (n4c-5aU) - Pariol du couloir 1 : Barrémien supérieur (n4 bU).

Les lignes en pointillés rouges délimitent les termes sédimentaires.

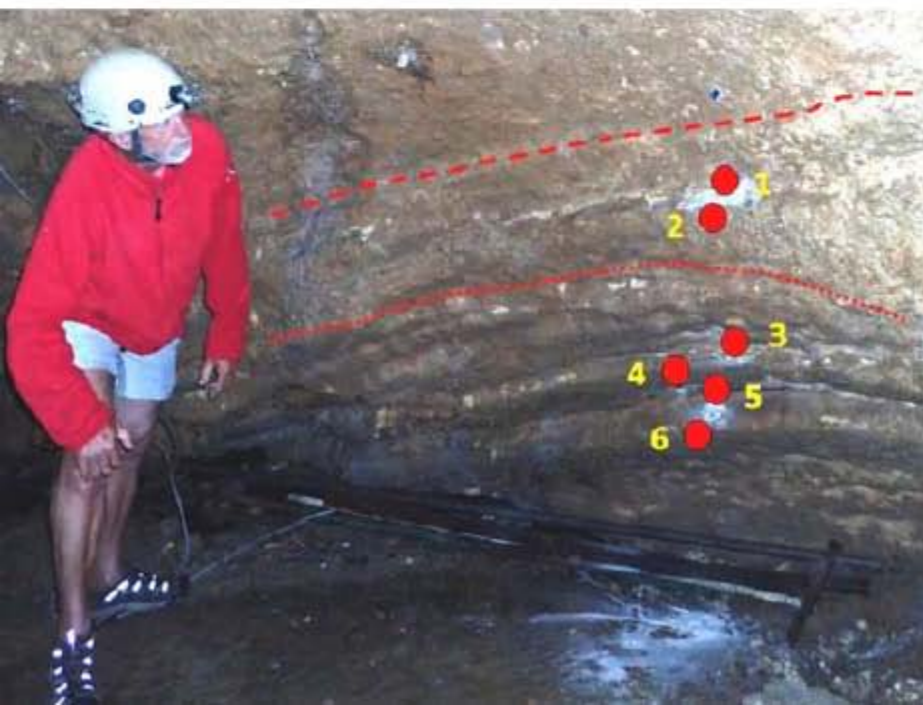
La grotte des Tunnels (photo 3) se développe dans le Bédoulien basal (n4c-5aU) et sur un linéament de fractures 70°N qui garde une morphologie para à syngénétique. En haut de la faille principale, la série calcaire est plissée et litée en bancs décimétriques, de texture grainstone, comprenant de rares miliolidés et débris micritisés (photo 3).

Un peu plus bas, au niveau d'une morphologie en trou de serrure, le terme calcaire est plus massif mais toujours de même texture, incluant de nombreux miliolidés et quelques oncolites.

En bas de la cavité, la série calcaire beige et litée, de texture grainstone contient des foraminifères et débris coquilliers pouvant correspondre à un faciès de plage.

L'ensemble de ces ordonnancements sédimentaires caractérisent des faciès de plate-forme interne.

Photo 3 - grotte des Tunnels - Points et n° des prélèvements dans les formes pariétales des parois - @ indices de fossiles. Les lignes en tirets et pointillés rouges délimitent les termes de dépôt.



La grotte de Chassille (photo 4) présente les vestiges d'un conduit unique N-S d'environ 30 mètres de long traversant une lanière calcaire du Bédoulien inférieur (n5 aU) exhumée par l'érosion et encadrée par des dépôts du Turonien moyen.

Un fragment d'encroûtement prélevé au niveau d'une paroi, contient des grains de sable datant de cette époque.

photo 4 - grotte de Chassille - Bédoulien inférieur (n5 aU) Points et n° des prélèvements dans les formes pariétales des parois.



Chassille

3. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS GÉOCHIMIQUES DES SÉRIES DE L'ARDÈCHE

Les résultats analytiques mettent en évidence:

-La quantité de silice (SiO₂) est 2,5 fois plus élevée dans les calcaires du haut de la galerie (n4c-5aU) que ceux du bas du conduit (n4-bU) de baume Escure n° 3 (fig. 1).

Cette corrélation est identique avec les parois des couloirs 1 et 2 de baume Obscure n° 9.

- Le pourcentage plus élevé de silice au niveau des banquettes-limites dans les deux entités étudiées (fig. 1 et 3).

-La concentration en oxyde de sodium (Na₂O) est plus grande dans le calcaire n4c-5aU de baume Obscure n° 9 que dans celui d'Obscure n° 3.

- Un taux d'altération supérieur dans la première série n4c-5aU d'Obscure n° 3 que l'on ne retrouve pas dans Obscure n° 9 (fig. 2 et 4). Il est en général plus haut dans les séries analysées du Barrémien supérieur.

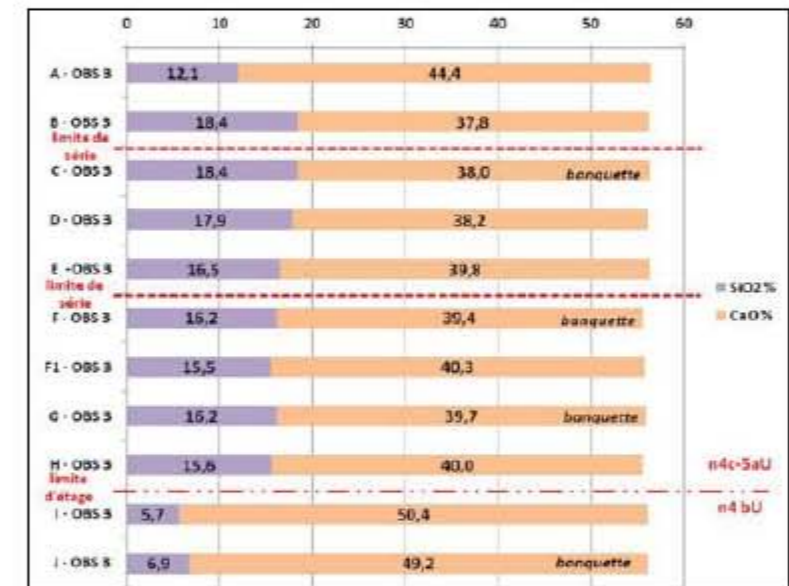
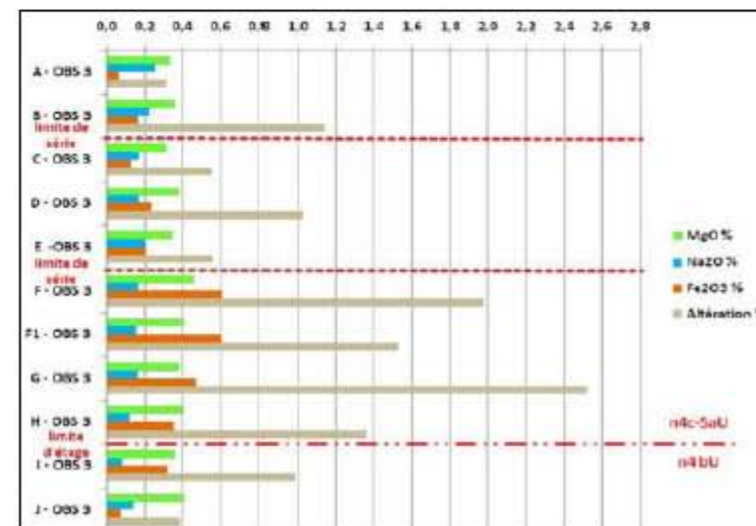


Fig. 1 - Obscure n° 3 - Variations des concentrations en silicium et calcium dans les échantillons prélevés.

La concentration en silice est moins élevée dans la série basse du dépôt (n4-bU) qu'au sein du reste de la paroi (n4-5aU)



Le degré de l'altération chimique est mesuré ici d'après l'index d'altération chimique (CIA) de Nesbitt et Young (1982): CIA = (Al₂O₃ / (Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O) x 100)

L'espace séparant les couloirs 1 et 2 d'Obscure n° 9 se rattache à une tectonique en extension d'orientation 110°N permettant à la faille normale de faire coulisser la masse calcaire du Barrémien supérieur à la hauteur du bloc bédoulien, expliquant les faibles pourcentages d'altération et de sodium dans Obscure n° 3.

Fig. 2 - Obscure n° 3 - Variations du taux d'altération et des concentrations en magnésium, sodium et fer.

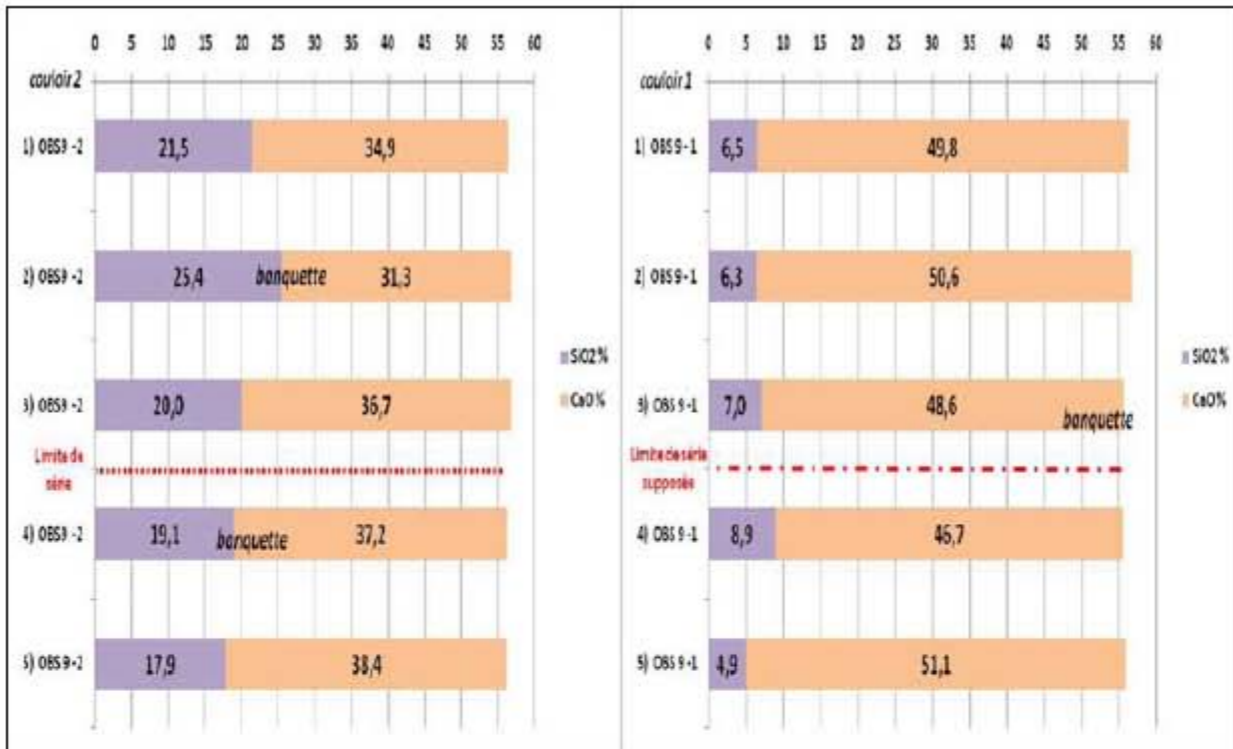


Fig. 3 - Obscure n° 9 - Variations des concentrations en silicium et calcium dans les échantillons prélevés.

La teneur en silice est plus élevée dans la paroi du couloir 2 (n4-5aU) que dans celle du couloir 1 (n4-bU)

Fig. 4 - Obscure n° 9 - Variations du taux d'altération et des concentrations en magnésium, sodium et fer.

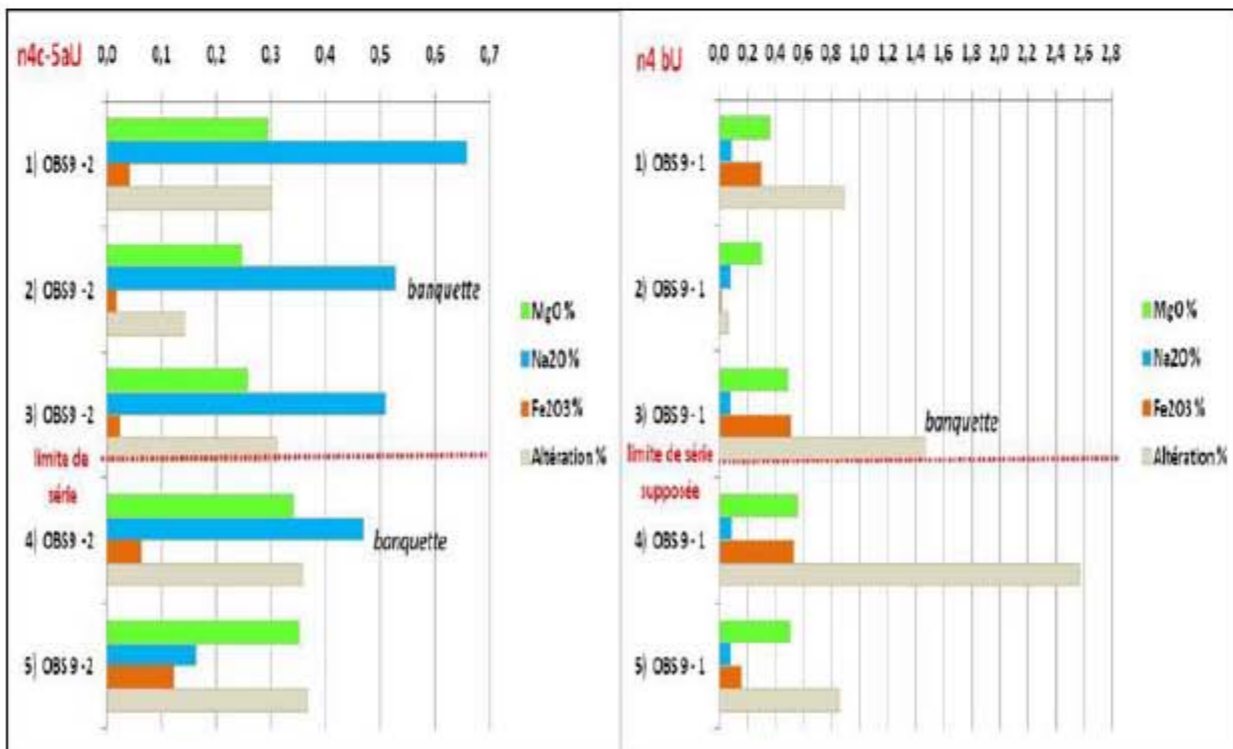


Fig. 5 - Tunnels - Variations des concentrations en silicium et calcium dans les échantillons prélevés.

Dans la grotte des Tunnels, seul le profil ondulé des termes du haut de la faille a été étudié.

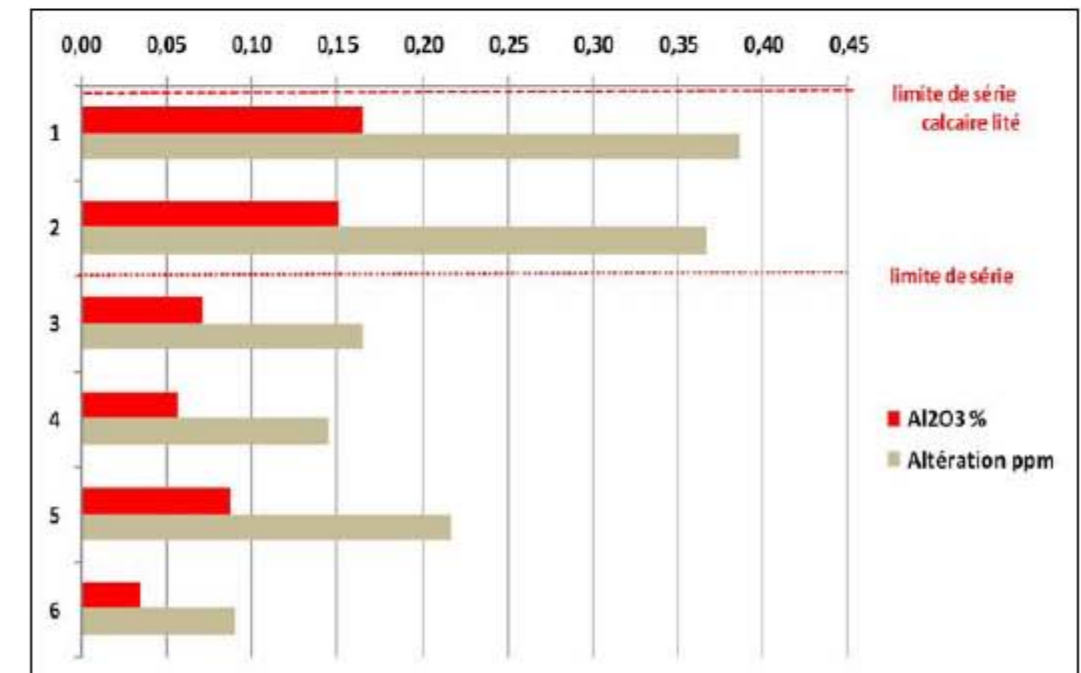
Les crêtes des ondolements montrent une concentration en silice plus élevée qui permettrait de les assimiler à de micro banquettes (figure 5).

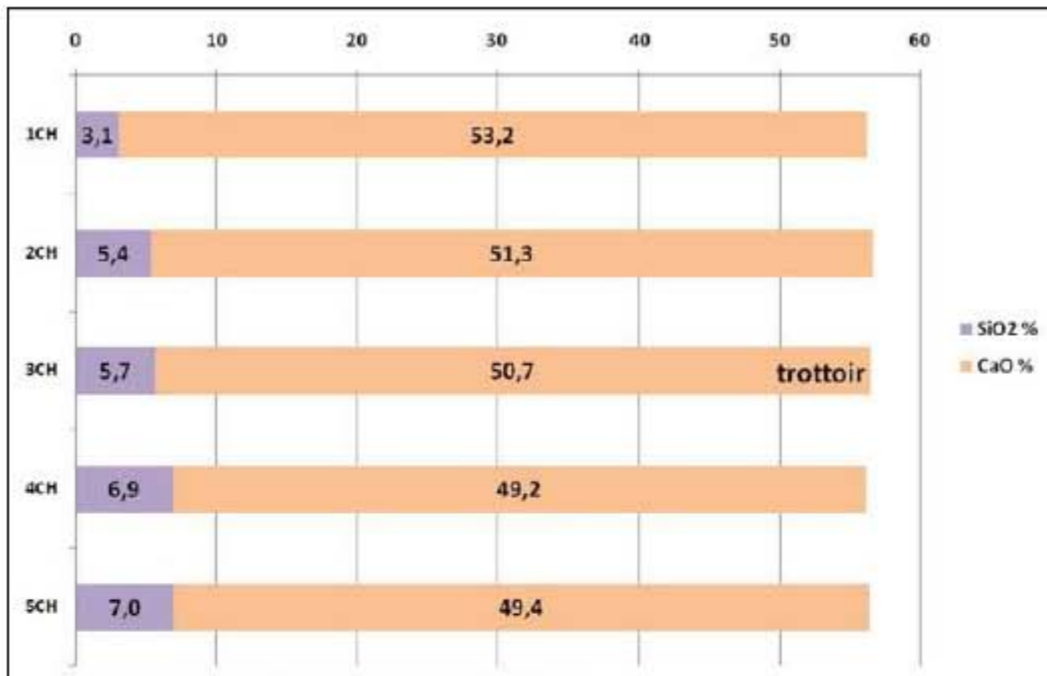
La hausse du pourcentage d'altération liée à l'augmentation de la teneur en aluminium laisse apercevoir la délimitation au niveau de la coupure des points 2 et 3 (figure 6).

Ces ondulations résultent des fluctuations du phréatique karstique commandées par les variations du niveau de base local proche représenté par l'Ardèche qui envahit la cavité lors de fortes crues.

La géochimie de cette série calcaire correspond à celle générale du Bédoulien basal (n4c-5aU)

Fig. 6 - Tunnels - Variations du taux d'altération (en ppm) et des concentrations en aluminium.





Pour la grotte de Chassille (n5 aU), le rapport SiO₂/CaO redevient semblable à celui du Barrémien supérieur.

La silice croît proportionnellement du point 1CH au point 6CH. Le point 3CH ne peut pas être considéré comme une banquette-limite mais plutôt un trottoir ou un rebord initié par un décrochement à rejet horizontal post creusement (figure 7).

Fig. 7 - Chassille - Variations des concentrations en silicium et calcium dans les échantillons prélevés.

La teneur en silice diminue dans le Bédoulien inférieur (n5 aU).

4. DESCRIPTION DES SÉRIES DE DÉPÔTS SECTEUR GARD

Les grottes du Ran de l'Aigle n° 3 et Astruc appartiennent à l'entité calcaire du Barrémien supérieur (n4-5U2) du plateau de Méjannes le Clap.

La grotte du Ran de l'Aigle n° 3 (photo 5) fait partie d'un ensemble de cavités qui se développent au niveau d'un promontoire rocheux délimité par une faille NE-SO.

Les séries calcaires qui composent les parois de la grotte se sont déposées dans un environnement de plate-forme interne constitué de dépôts de lagon.

Le haut du couloir (point 1) représente un terme calcaire de texture grainstone à ciment micritique contenant des miliolides et de petits rudistes.

L'interface entre les points 1 et 2 délimite des départs de petites galeries ou de poches karstiques.

De même texture, la série intermédiaire (points 2 et 3) présente quelques milioles et débris micritisés.

Le terme inférieur (point 4) montre des calcaires lités en banc décimétriques de texture packstone/grainstone incluant des traces d'algues et de rares foraminifères alors que la dernière série (point 5) est constituée d'un calcaire roux, lité et ondulé de texture wackestone à packstone à liserés rougeâtres avec quelques rares débris de rudistes.

Ce terme correspond à un dépôt de plage définissant un environnement supra-littoral: il peut être assimilé à une discontinuité d'horizon entre deux séquences du Barrémien supérieur.

Photo 5 - Ran de l'Aigle n° 3 - Points et n° de prélèvements dans les formes pariétales des parois - @ indices de fossiles.

Les lignes en pointillés rouges délimitent les termes sédimentaires.

La grotte Astruc s'inscrit dans un linéament de grandes fractures E-O qui délimite le vallon sec situé au sud de la cavité.

De même orientation, son couloir unique se déploie dans les assises calcaires du Barrémien supérieur (n4-5U2) et présente surtout en son fond, une morphologie syngénétique remarquable avec des vagues d'érosion très estompées (photo 6).

Le haut de la voûte (points 1 et 2) de la galerie est de texture packstone/grainstone avec un ciment micritique renfermant des pellets et foraminifères.

A partir de la banquette-limite (point 3) de même texture, la série voit apparaître un nombre important de miliolides et débris micritisés ainsi que quelques oncolites.



Photo 6 - grotte Astruc - Points et n° de prélèvements dans les formes pariétales des parois - @ indices de fossiles. Les lignes en pointillés rouges délimitent les termes sédimentaires. En médaillon, série à rudistes.

Cette répartition se retrouve également dans la partie convexe de la paroi (points 4 à 6).

L'ensemble décrit un environnement de plate-forme restreinte proche du domaine margino-littoral.

Le dernier terme montre une texture grainstone avec des petits rudistes et rares milioles (points 7 et 8) puis des gros rudistes avec quelques oncolites et un nombre croissant de foraminifères (point 9).

Cet ordonnancement est propre à un faciès de plate-forme interne avec dépôts de lagon.

5. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS GÉOCHIMIQUES DES SÉRIES DU GARD

Les pourcentages de silice dans les séries du Gard sont comparables à ceux des calcaires n4-bU de la région ardéchoise.

Pour le Ran de l'Aigle n° 3, le nombre de termes identifiés rend ici la lecture analytique plus délicate à interpréter.

Il apparaît cependant que le rapport SiO₂/CaO marque la banquette-limite dans la série intermédiaire. (point AIG-3)

Le rebord (point AIG-5) pourrait être considéré lui aussi comme une banquette, mais sa morphologie verticale sous-jacente n'a pas permis de prélever un échantillon. (fig.8 & 9)

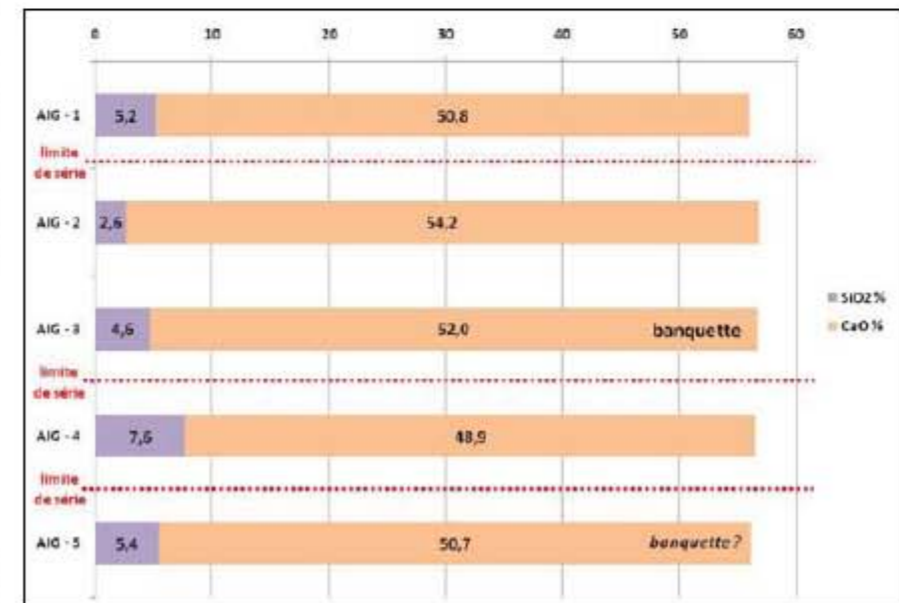


Fig. 8 - Ran de l'Aigle n° 3 - Variations des concentrations en silicium et calcium dans les échantillons prélevés.

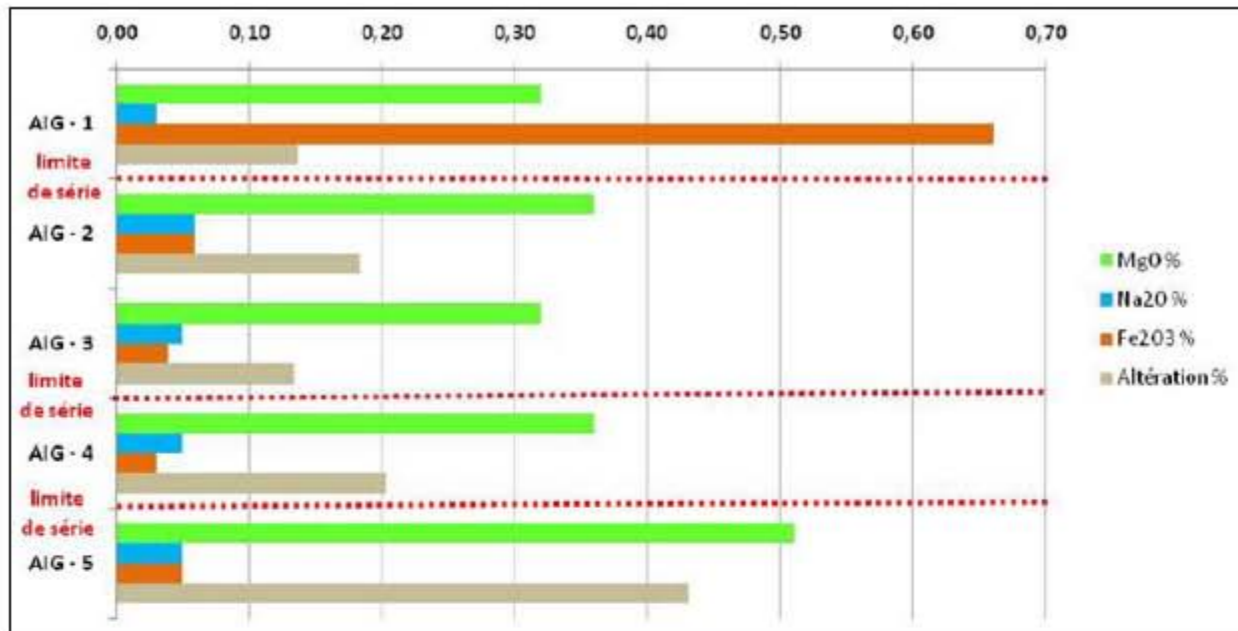


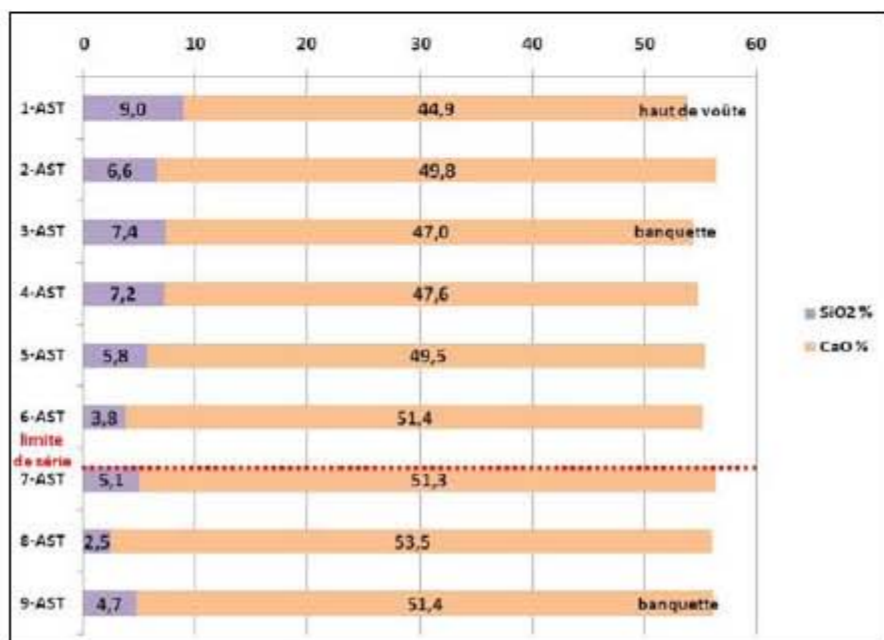
Fig. 9 - Ran de l'Aigle n°3 - Variations du taux d'altération (en %) et des concentrations en magnésium, sodium et fer.

Le terminus de la grotte Astruc a pour encaissant deux séries calcaires distinctes qui, pour le premier terme, montre une diminution progressive de la quantité de silice en fonction de la convexité morphologique de la paroi, le plus fort pourcentage de SiO₂ se retrouvant au contact du haut de la voûte et de la banquette-limite (points 1 AST et 3 AST).

Le second terme à rudistes commence par un léger rebord suivi d'un partie en creux et se terminant par une autre banquette-limite (points 7 à 9 AST). (fig. 10)

Il s'accompagne ici de l'augmentation du pourcentage de MgO, Fe₂O₃ ainsi que du taux d'altération (fig. 11).

Fig. 10 - grotte Astruc - Variations des concentrations en silicium et calcium dans les échantillons prélevés.



6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

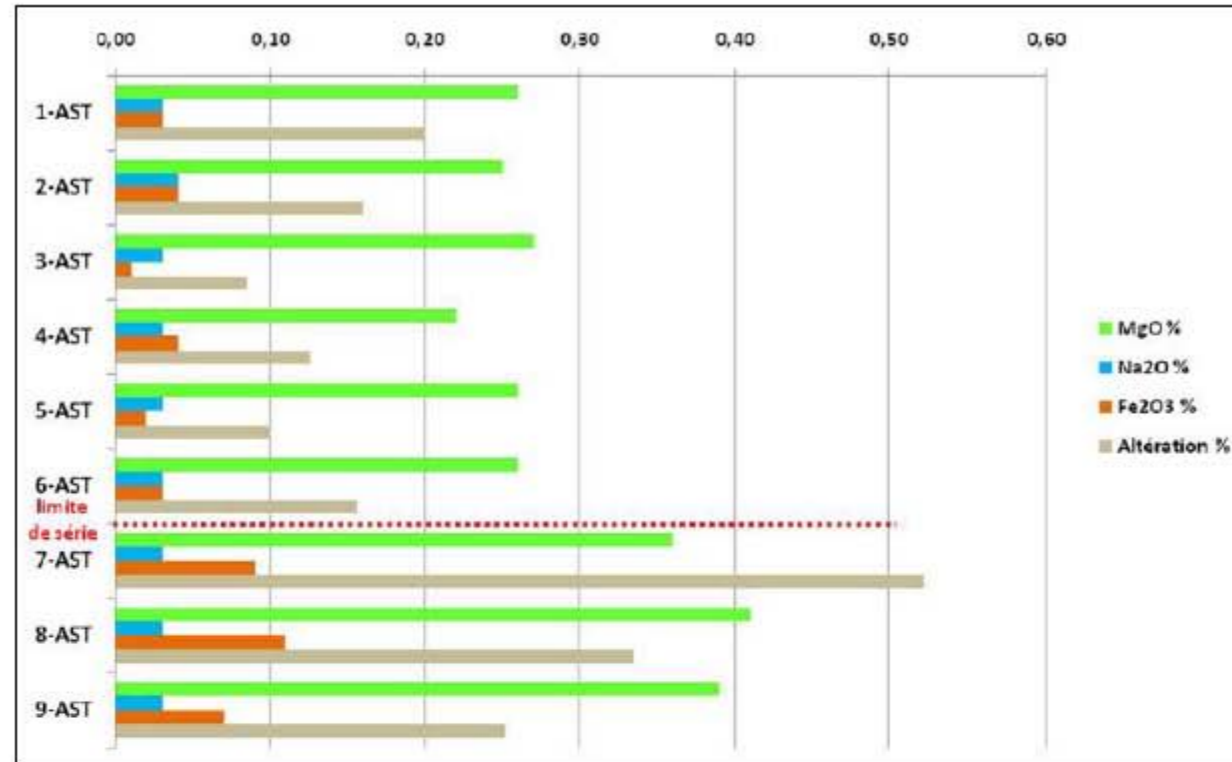
La variation du rapport SiO₂/CaO au sein de l'encaissant calcaire est un des vecteurs préférentiels à la formation des banquettes-limites dans les karst urgonien de l'Ardèche et du Gard.

La silice présente une plus grande dureté (7 sur l'échelle de Mohs) et par conséquent une plus grande résistance mécanique que le carbonate de calcium (3 sur l'échelle de Mohs).

Ainsi la pression hydrostatique et l'hydrodynamisme de la nappe phréatique karstique combinés aux vitesses de remplissage et aux fluctuations de son aquifère dues aux eaux météoriques ou à des échanges entre l'eau du karst et de la rivière, engendrent des cycles d'érosion - corrosion entraînant une dissolution accrue du calcium (entre 2¹⁰⁻² et 3.5¹⁰⁻² g/L) selon la pression partielle de CO₂, de la température et de la perméabilité du réseau de fissures par rapport à la dissolution du silicium (entre 8¹⁰⁻⁶ et 14¹⁰⁻⁶ g/L) dans l'eau à température ambiante.

Les autres éléments chimiques (MgO, NaO, Fe₂O₃) peuvent aussi légèrement varier au sein d'une même série.

L'ensemble de ces facteurs conjugués à la disparité de la fracturation révélée dans les séries calcaires participent également à la formation des formes pariétales convexes et concaves à



l'origine des banquettes-limites dans le milieu karstique.

Le protocole de caractérisation par analyse géochimique ICP-AES abordé ici pourrait s'étendre à d'autres étages géologiques refermant des roches sédimentaires carbonatées propices à une spéléogénèse.

Il est en mesure de compléter la pétrographie des séries calcaires et

peut aider à distinguer un rebord initié par un décrochement à rejet horizontal ou vertical post-creusement d'une banquette-limite stricto sensu.

REMERCIEMENTS

Gilbert Platier, Frédéric Gueroux (gérant de la grotte des Tunnels), Olivier Peyronel, Aurélie Papineau, Guido De Keyzer, Anita Baugniet.

BIBLIOGRAPHIE

- Arnaud H. (1981) - De la plate-forme urgonienne au bassin vocontien: le Barrémo-Bédoulien des Alpes occidentales entre Isère et le Buech (Vercors méridional, Diois oriental et Dévoluy). - Thèse, Grenoble ; Géologie Alpine, Grenoble, Mém. H.S., n° 12, 3 vol., 804 p.
- Arnaud-Vanneau A. (1980) - Micropaléontologie, paléocécologie et sédimentologie d'une plate-forme carbonatée de la marge passive de la Téthys: l'Urgonien du Vercors septentrional et de la Chartreuse (Alpes occidentales). - Thèse, Grenoble ; Géologie Alpine, Grenoble, Mém. H.S., n° 11, 874 p.
- Bastide F. (2014) - Synthèse de l'évolution de la plateforme Urganienne (Barrémien tardif à Aptien précoce) du Sud-Est de la France: Faciès, micropaléontologie, géométries, paléotectonique et géomodélisation - Thèse de doctorat, 299p., + annexes
- Caine J.S., Evans J.P., Foster C.B. (1996) - Fault Zone Architecture and Permeability Structure - Geology n°18
- Collin P., Busnardo R., Lafarge D., Renaud B. (1979) - Synthèse stratigraphique et paléogéographique sur les faciès urgoniens du Sud de l'Ardèche et du nord du Gard (France S-E) - Geobios, Vol.12, Sup.1: P. 121 à 139.
- Dandurand G. et Maire R. (2011) - Essai de typologie des cavités du karst de la Rochefoucauld (Charente). Rôle de la «fantômisation» crétacée, du battement de la nappe et de l'effet de site. - Dynamiques Environnementales n°27, 2011., Laboratoire de Géographie Physique Appliquée.
- Dunham R.J., (1962) - Classification of carbonate rocks according to depositional texture - American Association of Petroleum Geologists, Mémoire 1, p. 108-121.
- Jaillet S., Sadier B., Hajri S., Ployon E., Delannoy J.J. (2011) - 3D analysis of underground karst : lasergrammetry applications in Orignac cave (Ardèche, France) - Géomorphologie, vol.17, n°4, 2011, p. 379-394.
- Jolivet J., Grallot D., Van den Broeck E. (2020) - Evolution des altérites du Crétacé supérieur à l'Eocène depuis la surface continentale vers l'endokarst - Garrigues septentrionales du Gard et sud Ardèche - Karstologia n° 75, p. 7 à 16.
- Nehme C., Jabbour-Géolon B., Gérard P.C., Sadier B., Delannoy J.J. (2009) - Reconstitution spéléogénique de la grotte de Kanaan (Armélias, Liban) - Karstologia n°54, 2009, p. 21-36.
- Nesbitt, H.W. and Young, G.M., (1982) - Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lufites. Nature, 199, 715-717
- Platier G. (1977) - Spéléologie de la commune de St Remèze - 07 - inventaire des cavités par Gilbert Platier - Section Spéolo MJC LA VOULTE - Bulletin CD5 07, Tubes n°12, p.21 à 24.
- Reyer D., Bauer J.F., Philipp S.L. (2012) - Fracture systems in normal fault zones crosscutting sedimentary rocks, Northwest German Basin - Journal of Structural Geology n°45, p. 38 à 51.
- Zupan-Hajna N. (2003) - Incomplete solution: weathering of cave walls and production, transport and deposition of carbonates fines - Carsologica, Karst Research Institut, Postona, ZRC SAZU, Ljubljana, 168 p.

Fig. 11 - grotte Astruc - Variations du taux d'altération (en %) et des concentrations en magnésium, sodium et fer.