



HAL
open science

Evolution des altérites du Crétacé supérieur à l'Eocène depuis la surface continentale vers l'endokarst. Régions des garrigues septentrionales du Gard et du sud Ardèche.

Joël Jolivet, Didier Graillet

► To cite this version:

Joël Jolivet, Didier Graillet. Evolution des altérites du Crétacé supérieur à l'Eocène depuis la surface continentale vers l'endokarst. Régions des garrigues septentrionales du Gard et du sud Ardèche.. 2019. hal-01969515

HAL Id: hal-01969515

<https://hal.science/hal-01969515>

Preprint submitted on 4 Jan 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evolution des altérites du Crétacé supérieur à l'Eocène depuis la surface continentale vers l'endokarst. Régions des garrigues septentrionales du Gard et du sud Ardèche.

JOLIVET Joël (1) et GRAILLOT Didier (2)

(1) UMR 7300 ESPACE, Université de Nice-Sophia-Antipolis et CNRS, Département de Géographie.

(2) Université de Lyon, UMR 5600 EVS Environnement Ville Société, Mines-Saint Etienne.

Introduction:

Le propos de cet article est de caractériser uniquement sur un plan géochimique (éléments majeurs, mineurs et traces), les processus d'altération et leurs conséquences sur les karsts des garrigues septentrionales du département du Gard et ceux du sud de l'Ardèche dont les cavités conservent des dépôts de sédiments du Crétacé supérieur et du Paléogène provenant de leur surface.

Le protocole consiste à comparer les éléments constitutifs des terrains référencés sur les cartes géologiques avec ceux retrouvés dans différentes dépressions et anfractuosités épikarstiques et hypogées de l'endokarst. Il permet d'évaluer les différentes signatures chimiques et permet de rattacher des critères géologiques connus à des échantillons jusque là inédits.

Ces prélèvements ont été faits de part et d'autre d'un axe NE-SO allant de la Dent de Rez au Mont Bouquet (fig.1). Certains ont été extraits au SO de Bagnols sur Cèze ou dans la région d'Euzet.

Ces prélèvements ont aussi pour but d'affiner et de nuancer certains résultats obtenus dans la publication précédente portant sur l'évolution paléogéographique du synclinal d'Issirac (Jolivet et al., 2017).

Abstract:

The purpose of this article is to characterize, only on a geochemical plan (major and minor elements and traces), the alteration processes and their consequences on the karsts of the northern scrublands of the Gard department and those of the southern Ardèche, where the caves have conserved sediment depositions of late Cretaceous and Paleogene times, coming from their surface.

The protocol involves comparing the constituent elements of the grounds referenced on the geological maps with those found in various depressions and epikarstic ravines and hypogaea of the endokarst. This allows to assess the different chemical signatures and to link known geological criteria to samples, so far unprecedented.

These samples have been taken on each side of a NE-SW axis between the Dent de Rez and the Mont Bouquet (fig.1). Some have been extracted SW of Bagnols sur Cèze or in the Euzet region.

These samples also aim to refine and to qualify certain results obtained in the previous publication about the paleogeographic evolution of the Issirac synclinal (Jolivet et al., 2017).

I - Contextes géologique, eustatique et climatique :

La zone étudiée a été soumise à la géodynamique du méso-cénozoïque du Languedoc. Les archives sédimentaires du Crétacé inférieur livrent plus de détails sur les sédimentologies de faciès et les systèmes de dépôts depuis les travaux récents sur les réservoirs pétroliers et les aquifères (Bastide, 2014) contrairement à celles du Crétacé supérieur.

Dès le début du Crétacé supérieur, les grès à ciment calcaire correspondent à des oscillations eustatiques du Cénomaniens supérieur, du Turonien supérieur et du Coniacien entrecoupées par les épisodes détritiques continentaux de l'Albien inférieur, Cénomaniens moyen-supérieur et du Santonien.

Les différentes phases de la convergence Ibérie-Eurasie provoquent les premières déformations pyrénéo-provençales à partir de la fin du Crétacé supérieur jusqu'à l'Eocène moyen (Leleu et al., 2009) et donne lieu à une première phase compressive d'axe 20 à 60 °N et cassante 110 à 130°N.

Le Cénozoïque est contemporain de nombreux événements géodynamiques, en particulier l'orogénèse pyrénéenne et alpine (Jolivet et al., 2017) qui ont perturbés les fluctuations eustatiques de l'Eocène.

Ces déformations incrémentent les structures du Crétacé et soulignent, entre autres, le synclinal d'Issirac et le sillon d'Alès. Elles fixent les remplissages sédimentaires du Paléogène qui correspond à une période de subsidence d'environ 200m.

Les événements climatiques semblent être contemporains aux baisses de niveaux eustatiques sauf pour la période de l'Eocène moyen qui montre une élévation du niveau marin (Cramer et al. 2011).

Sous climat tropical à subtropical, les périodes du Crétacé supérieur et du Paléogène sont entrecoupées par des événements anoxiques océaniques (EAO), diminution du % $\delta_{18}O$, qui ont pour conséquence des altérations chimiques intenses de la surface continentale liées aux évolutions des circulations océaniques (Donnadieu et al., 2016) et peut être aux activités volcaniques du Massif Central durant ces époques:

EAO 1 à l'Albien inférieur-moyen, EAO 2 au Cénomaniens moyen- supérieur, EAO 3 au Santonien.

Le PETM (*Paléocène-Eocène Thermal Maximum*) à la coupure Paléocène - Eocène (e3-e4), EECO (*Early Eocene Climatic Optimum*) à l'Eocène Inférieur (e4) et MECO (*Middle Eocene climatic Optimum*) au Bartonien inférieur (e6) (Cramer et al. 2009). (fig.2)

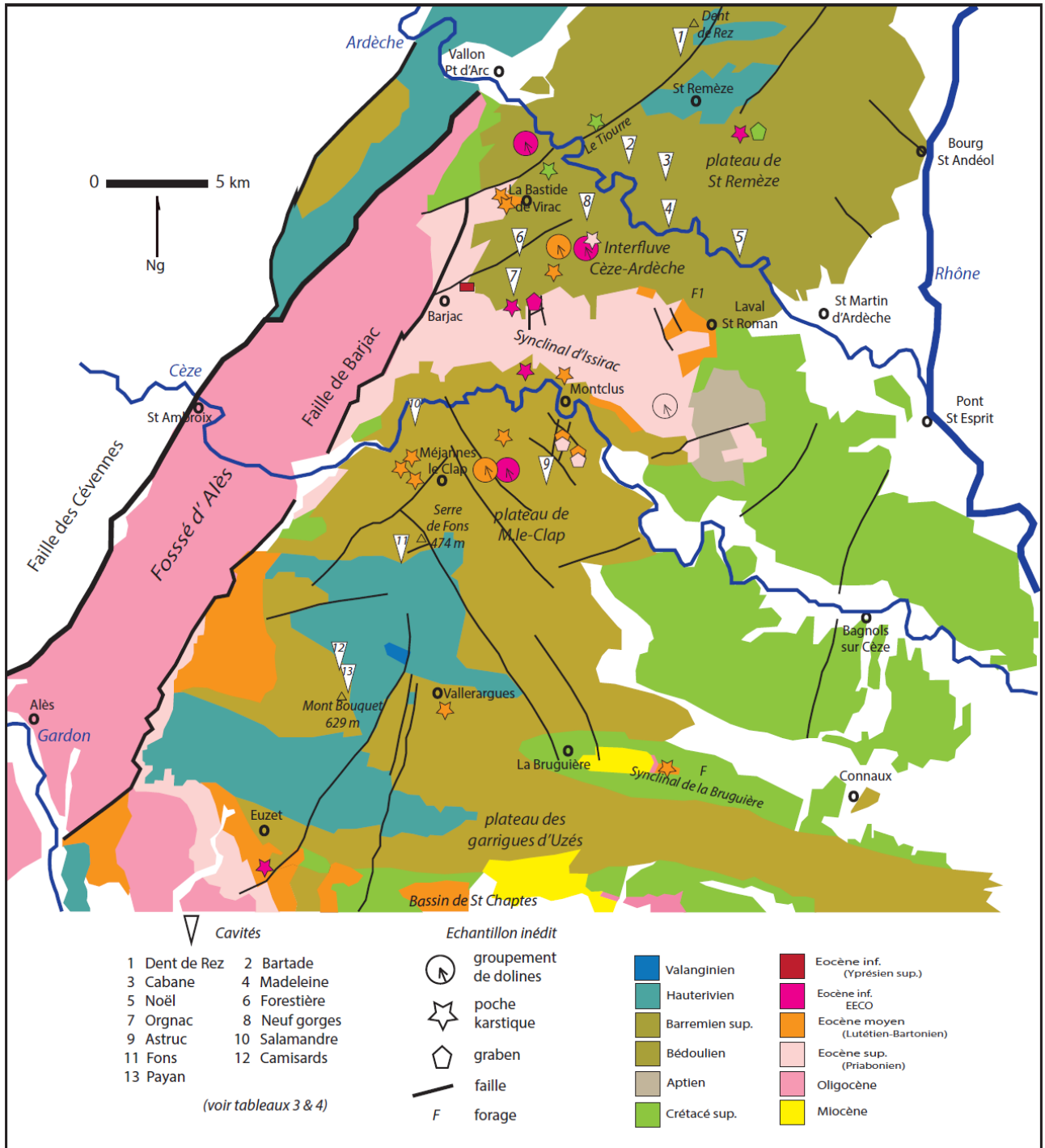


Fig.1 - Carte géologique simplifiée avec les sites karstiques et cavités étudiés.

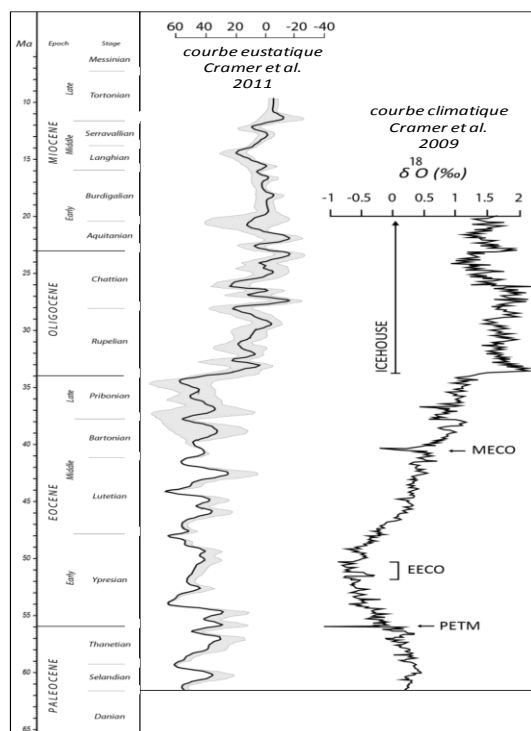


Fig.2 -Chartes eustatique (Cramer et al.,2011) et climatique (Cramer et al.,2009) du Cénozoïque.

II - Contexte d'altération :

Le contexte d'altération dépend des conditions chimiques des eaux météoriques, influencées par leur environnement, qui participent à l'humification provoquant l'altération des silicates par consommation d'eau, de CO₂ dissout et d'acides humiques. Cette hydrolyse produit sur la surface carbonatée des ions calcium et bicarbonates ainsi que des argiles comme la kaolinite.

La désorganisation tectonosédimentaire (brèches, failles) facilite ces mutations et permet une altération superficielle des calcaires.

Dans l'endokarst, l'équilibre calco carbonique s'opère en quelques mètres de traversée dans l'encaissant passant ainsi d'un pH < 6.0 à un pH > 7.5 et une hausse des matières totales dissoutes (MTD) rendant alcalins les remplissages en cours d'infiltration.

Le degré de l'altération chimique est mesuré ici d'après l'index d'altération chimique (CIA) de Nesbitt et Young (1982):

$$CIA = (Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)) \times 100$$

Il correspond à la somme des processus d'altération supergène et diagénétique. En général le baryum, le strontium ou l'alumine augmentent quand l'altération s'intensifie.

Les éléments de transition (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Y, Nb), en solution aqueuse, sont attaqués par les acides donnant lieu à une chimie de coordination qui favorise les équilibres d'oxydoréduction et de précipitation. Les roches altérées contiennent beaucoup plus d'eau de constitution que les roches saines.

La kaolinite domine dans les calcaires gréseux du Crétacé supérieur et marnes sableuses de l'Eocène moyen.

Présente dans les roches silto-argileuses et dans les calcaires, la muscovite est accompagnée de kaolinite et montmorillonite. Elle résulte d'une désorganisation de la structure de minéraux tels que les grès micacés et reste longtemps inaltérée. Ces éléments sont présents dans de nombreux échantillons.

L'alumine de la roche saine progressivement lessivée conduit à une augmentation de son pourcentage dans les altérites et à une accumulation plus élevée de minéraux argileux alumineux. Elle est souvent considérée comme un élément inerte dans le système de l'altération (Potdevin, 1987).

Produit de l'altération des roches cristallines et en particulier des feldspaths potassiques, le baryum a été lessivé et ses concentrations sont liées aux dépôts grésocalcaires.

Le strontium est présent dans différents minéraux comme les carbonates et les sulfates dont les composés solubles se retrouvent dans l'eau de mer. Il migre dans les roches altérées.

Les colonnes sédimentaires peuvent être marquées par d'importantes fluctuations des teneurs en éléments majeurs et de transition en relation avec l'alternance lithologique de niveaux plus argileux et silteux.

L'étude de ces constituants souligne la présence de drains préférentiels qui ont remobilisés les éléments les plus solubles. Ainsi les minéraux primaires altérés, comme la silice et secondaires néoformés, sont évacués depuis les bassins versants vers l'endokarst.

III - Prélèvements:

Les échantillons de surface ont été collectés en fonction de la localisation des étages spécifiés sur les cartes géologiques de Bourg St Andéol, (889) Pont St Esprit (913), d'Alès (912) et d'Uzès (939).

Les prélèvements exokarstiques ont été prélevés dans un grand nombre de dolines, grabens ou couloirs karstiques.

De même, les échantillons endokarstiques ont été relevés dans les cavités présentant des morphologies variées comme les grottes de la Dent de Rez (photo 1), de Fons, de Payan ou des Camisards recoupées par recul de versant, des diaclases transversales mises à jour par des tunnels d'aménagement tel qu'aux avens d'Ornac et de la Salamandre ou bien par des galeries et des haut de cheminées à dynamique syngénétique ou paragénétique en partie affranchies de leur comblement (Noël, Bartade, Madeleine, Cabane, Forestière et Astruc).

Les résultats analytiques exposés ne comprennent que les éléments dont la variabilité chimique présente des contrastes significatifs. (Tab.3 & 4). Cependant, une partie des analyses obtenues dans d'autres lieux ne fournissent pas des signatures géochimiques probantes.



photo 1 - grotte de la Dent de Rez (07) recoupée par recul de versant. (cliché: Erik Van Den Broeck)

IV - Crétacé inférieur:

Le crétacé inférieur est représenté par une partie du Néocomien (Valanginien et Haurerivien) et du Barrémien-Aptien (Bédoulien) sur l'ensemble des hautes garrigues du plateau de St Remèze, de l'interfluve Cèze-Ardèche et du plateau de Méjannes-le-Clap relié à celui, plus méridional, des garrigues d'Uzès.

La stratigraphie séquentielle du Barrémien inférieur à l'Aptien inférieur (Bédoulien) regroupe sept séquences de dépôts correspondant à des milieux marins spécifiques (Bastide, 2014). Leurs textures, boues et cimentations de dépôts ont, à travers leurs compositions et leurs porosités primaires et secondaires, des aptitudes à la karstification pouvant impliquer les processus d'altération.

Certains intervalles de séquences de dépôts correspondent à des transgressions marines dont les démarcations coïncident à d'importantes surfaces d'émergence et de karstification comme celle au sommet du cortège transgressif (*HST*) de la troisième séquence de dépôt du Barrémien supérieur. Elle est attribuable à une surface recoupant des paléofractures partiellement colmatées par des argiles rouges ou des sables calcaires ou siliceux dont plusieurs sont datés, d'après les analyses géochimiques, du Cuisien /Lutétien inférieur ou Lutétien /Bartonien inférieur.

Ces interfaces entre séquences ont contribué au développement de cavités karstiques comme pour les grottes de Payan, Camisards, Fons ou de la Dent de Rez.

La porosité totale des calcaires du Barrémien inférieur est variable en fonction des formations sédimentaires. Elle peut varier de 1 à 3% pour les faciès marneux et micritiques et de 6 à 7% pour les biosparites.

Pour le Barrémien supérieur, les faciès crayeux et micritiques ont une porosité qui peut atteindre 10% et qui peut induire une altération de la roche, tandis que celle des calcaires compacts est inférieure à 1%. (Masse, 1989)

Les porosités varient ainsi dans la plate-forme urgonienne dont la puissance est supérieure à 400m. (forage du Garn -F1).

La faible représentativité des échantillons ne permet ici qu'une vision analytique restreinte sur l'ensemble de ces faciès. (Tab.1&2).

V - Crétacé supérieur :

Les dépôts du Crétacé supérieur sont bien représentés dans la partie est du fossé d'Alès et à l'ouest de la vallée du Rhône encadrant ainsi les calcaires barrémio-aptien des zones sus-citées. Certains éléments se retrouvent en bordure du bassin de St Chaptes ou le synclinal de la Bruguière.

Leur épaisseur peut dépasser les 130 mètres comme sur le forage de Pugnadoresses - Les Puechs (FR_2016 BSS002PSZX (F)) et voire 500 mètres sur la bordure rhodanienne.

Sur les plateaux, le Turonien s'aligne en pointement le long des failles transformantes comme dans la vallée du Tiourre ou au nord ouest de la Bastide de Virac (carte géologique Bourg St Andéol (889)).

Des observations récentes ont permis de trouver au sud est de ce village, une lanière grés sableuse riche en oxyde de fer, très altérée, toujours au niveau d'une faille de même structure, apparentée à du Cénomaniens inférieur.

A l'est de St Remèze, des grés quartzitiques peu altérés du Cénomaniens inférieur tapissent les parois d'un petit graben situé à 380 NGF (photo 2).

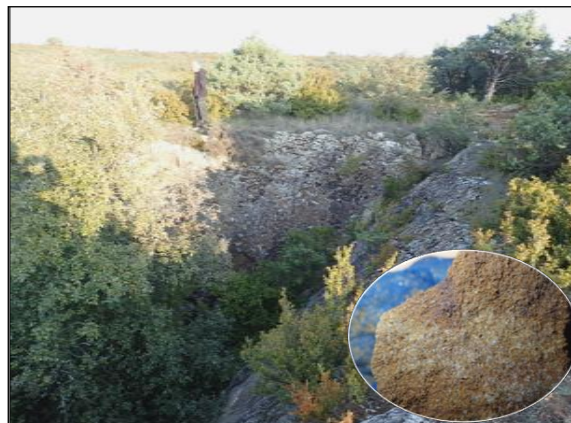


photo 2 - Petit graben à l'est de St Remèze (07) avec dépôt de grés quartzitique. (cliché: Joël Jolivet)

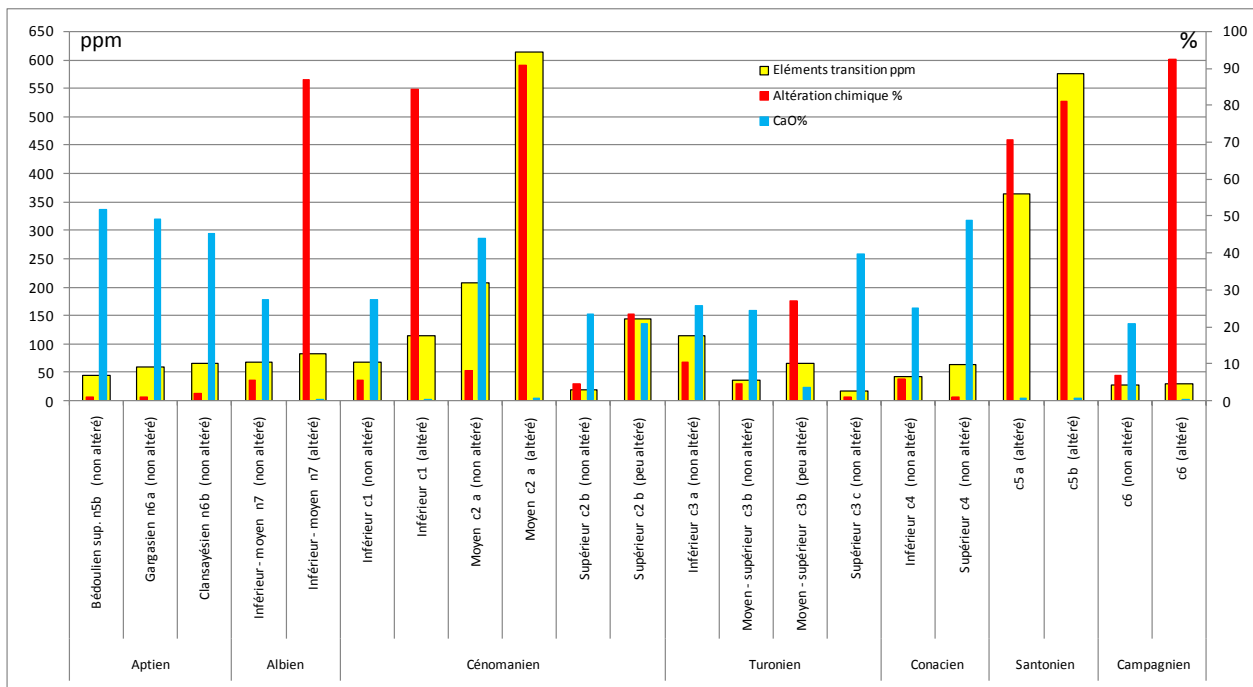
Quelques éléments très épars arrachés aux bordures du fossé d'Alès parsèment le plateau de Méjannes-le-Clap et résultent des transports paléo fluviaux parcourant le plateau au Miocène.

La quasi absence de ces couvertures sur le reste de la surface étudiée, tant au niveau des phénomènes exo et endo karstiques, suppose (i) une ablation totale par l'érosion aréolaire et linéaire (ii) un remaniement des formations détritiques et la continuité de l'action chimique au profit des formations du Paléogène.

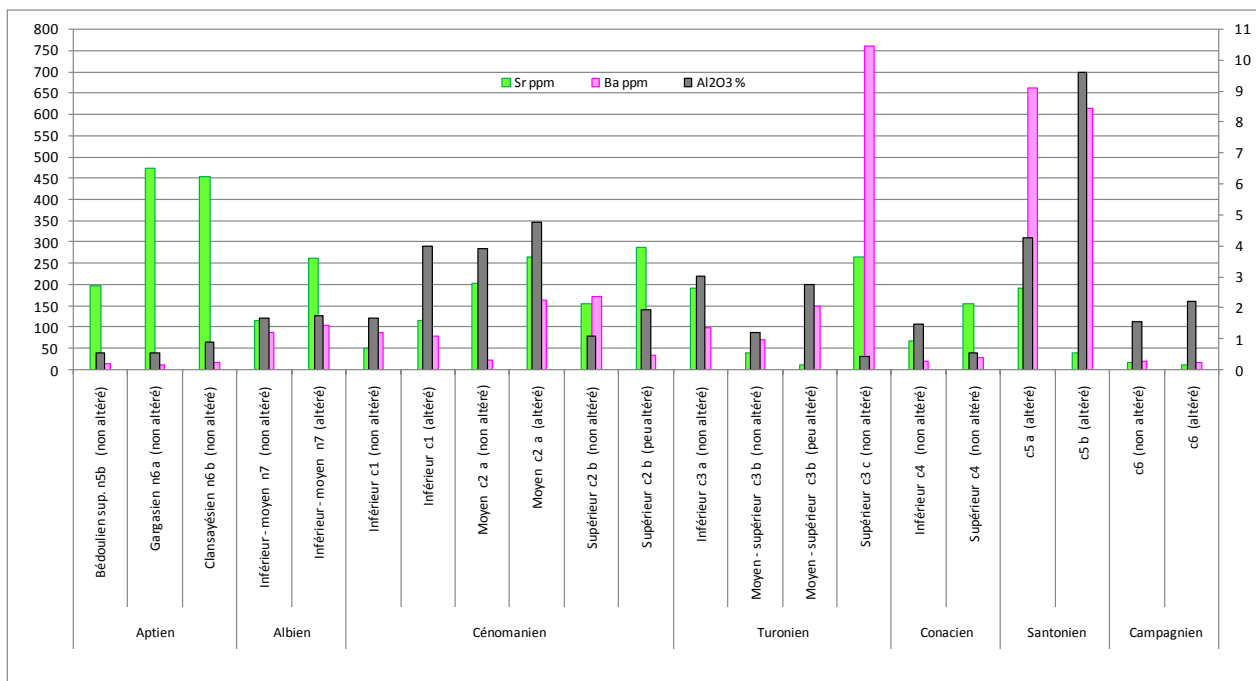
Les EAO(s) marquent l'augmentation du % de l'altération chimique et la fraction massique des éléments de transition ainsi que celle de la silice tandis que celui de la chaux diminue fortement. (Tab.1)

Le baryum se retrouve en forte concentration dans les formations détritiques du Turonien supérieur et du Santonien alors que celui du strontium marque les phases de dépôts des transgressions marines du Crétacé supérieur. (Tabl.2)

L'intense altération qui découle de l'ensemble de ces phénomènes à la fin de cette époque peut être comparée à une latérisation qui va perdurer jusqu'à l'Eocène moyen.



Tab. 1



Tab. 2

Tab. 1 & 2 - Analyses géochimiques des quelques éléments majeurs, de transition et traces des couvertures du Crétacé supérieur encadrant les calcaires Barrémo-Aptien de la zone étudiée.

VI - L'Eocène inférieur:

Divisé en deux sous-étages, l'Yprésien correspond d'abord à une sédimentation argilo-ligniteuse (Sparnacien) puis à une sédimentation silicoclastique représentant des environnements marins (Cuisien).

- Echantillons de surface:

Traduit par le sigle e1-4 ou e-c en fonction des cartes géologiques, le Paléocène et Eocène inférieur ne sont pas différenciés.

Les observations et analyses effectuées sur les divers prélèvements n'ont permis de distinguer que le Cuisien. (Tab.3)

Ils se caractérisent au nord de Barjac par des sables siliceux rouge à jaune surmontés par endroit d'une carapace ferrugineuse (photo 3) ou, dans la plupart des cas, de marnes sableuses rouges à brunes qui se situent sur la bordure nord du synclinal d'Issirac, à l'est du fossé d'Alès ou à l'est du village d'Euzet. Ces sédiments héritent des décharges détritiques du Santonien.



photo 3 - Yprésien supérieur au nord de Barjac (30).

(cliché: Joël Jolivet)

Les résultats des analyses géochimiques dégagent deux périodes d'altération, nommées ici post PETM et EECO (Tab.3) et positionnées par rapport à la courbe de Cramer (2009)(fig.1). Elles montrent un accroissement des éléments chimiques en fonction du % d'altération à l'inverse de celui du CaO tributaire de l'acidification des eaux durant l'Optimum Climatique de l'Eocène inférieur (EECO)

Le rapport SiO₂/Al₂O₃ traduit ici l'accumulation progressive d'Al₂O₃ lors de la formation des minéraux argileux.

- Echantillons des formes exokarstiques:

Ils se retrouvent à l'état de traces. Cette oblitération sédimentaire a contribué au processus de crypto-altération pour certains de ces phénomènes.

- Echantillons endokarstiques:

Dans la plupart des échantillons, le rapport SiO₂ /Al₂O₃ tend vers un processus de monosiallisation dû au lessivage partiel de la silice, du baryum et strontium.

Le % de l'altération croît légèrement ainsi que celui des éléments de transition tandis que la fraction massique du baryum et du strontium diminue.

<i>Eocène inférieur</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Ba ppm	Sr ppm	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ mol	Echantillons de surface	Zone
e4 - post PETM	343	41	16	12	44	52	162	3,2	Euzet	Int. Cèze-Ardèche et
e4 - EECO	378	77	1,4	17	63	339	105	3,1		
Cuisien (sable marin) lacune sédimentaire	84	62	0,03	3	93	281	39	30		
<i>Eocène inférieur</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Ba ppm	Sr ppm	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ mol	Formes	Zone
e4 - post PETM ?	507	64	7,1	14	54	135	80	3,3	graben	Pl. St Remèze
e4 - EECO	347	77	0,6	14	66	452	78	4,1	doline	Int. Cèze-Ardèche
e4 - EECO	404	80	0,8	16	63	470	80	3,4	doline	Int. Cèze-Ardèche
e4 - EECO	351	70	4,0	13	64	258	44	4,1	poche karst.	Int. Cèze-Ardèche
e4 - EECO	455	81	0,9	17	61	436	81	3,0	doline	pl.Méjannes le Clap
<i>Eocène inférieur</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Ba ppm	Sr ppm	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ mol	Cavités	Zone
e4 - EECO	737	80	5,0	21	49	166	56	2,1	Bartade	Pl. St Remèze
e4 - EECO	476	82	1,5	15	63	265	71	3,5	Noël	Pl. St Remèze
e4 - EECO	449	81	1,2	17	62	394	81	3,3	Madeleine	Pl. St Remèze
e4 - EECO	414	84	1,3	14	67	248	62	4,1	Cabane	Pl. St Remèze
e4 - EECO	1029	94	1,2	28	40	105	36	1,2	Forestière	Int. Cèze-Ardèche
e4 - EECO	576	82	3,2	18	59	360	65	2,9	Orgnac	Int. Cèze-Ardèche
e4 - EECO	929	80	5,6	26	37	152	59	1,2	9 Gorges	Int. Cèze-Ardèche
e4 - EECO	671	72	1,2	19	40	106	42	1,8	Astruc	pl.Méjannes le Clap
e4 - EECO	365	69	4,0	17	60	578	75	3,0	Salamandre	pl.Méjannes le Clap
Cuisien (sable marin)	113	66	0,4	8	82	542	71	8,3	Salamandre	pl.Méjannes le Clap
e4 - EECO	601	73	1,9	22	37	101	80	1,4	Camisards	Mt Bouquet
e4 - EECO	446	83	1,3	22	47	119	66	1,8	Payan	Mt Bouquet

Tab. 3 - Principaux éléments géochimiques des échantillons de l'Eocène inférieur

VII - Eocène moyen:

Au niveau du synclinal d'Issirac, sa puissance moyenne est d'environ 25 mètres, jusqu'à 40 mètres au NE du village de Montclus et 300 mètres pour le fossé d'Alès (forages Mar-01 et 04 - SNPLM*).

A - Lutétien:

La sédimentation du Lutétien est caractérisée par des dépôts marins carbonatés entre deux périodes purement détritiques terrigènes de l'Yprésien supérieur et Bartonien inférieur.

Elle se retrouve dans la plupart des cas aux périphéries immédiates des terrains de l'Eocène inférieur ou Priabonien comme à la Bastide de Virac. Des traces subsistent sur un site à l'ouest de l'aven d'Ornac.

L'altération chimique durant cette époque est négligeable libérant peu d'éléments de transition.

Les échantillons des formes exokarstiques conservent leur taux de strontium alors que ce dernier est lessivé dans l'endokarst. (Tab.4)

B - Bartonien:

La période du Bartonien voit une sédimentation silicoclastique, puis carbonatée. Il est composé ici par les phases sédimentaires silicoclastiques du Lutétien supérieur/Bartonien basal et du Bartonien inférieur (Auversien) et caractérisé par l'absence sédimentaire carbonatée du Marinésien.

Comme pour les étages précédents, les terrains bartoniens se situent dans les mêmes zones mais sur de plus vastes étendues.

Le Bartonien inférieur (e6) se caractérise par rapport au Bartonien basal (e5/e6) par l'augmentation massive des éléments de transition liés à celle du pourcentage de l'altération chimique et à la chute de celui du CaO indicateur de l'événement anoxique océanique MECO spécifique au Bartonien inférieur bien marqué par les calcaires à Cérithes. (Tab. 4). Cette transition se retrouve tant au niveau des formes exokarstiques que de l'endokarst.

* Société Nationale de Pétrole de Languedoc-Méditerranée)

<i>Lutétien</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al2O3 %	SiO2 %	Ba ppm	Sr ppm	SiO2/Al2O3 mol		Zone
e5 indifférentié	16	0,7	55	0,4	1,8	9	109	4,9	Echantillons de surface	Int. Cèze-Ardèche
e5 supérieur	73	3,4	49	1,2	9,7	48	260	5,9		Int. Cèze-Ardèche
<i>Lutétien</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al2O3 %	SiO2 %	Ba ppm	Sr ppm	SiO2/Al2O3 mol		Zone
e5 indifférentié	21	0,1	52	0,05	0,5	11	319	9,1	Formes graben poche karst. doline laminite	pl.Méjannes le Clap
e5 indifférentié	27	0,8	55	0,4	2	7	117	3,9		pl.Méjannes le Clap
e5 indifférentié	57	1,2	48	0,6	9	16	270	13,4		Int. Cèze-Ardèche
e5 supérieur										pl.Méjannes le Clap
<i>Lutétien</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al2O3 %	SiO2 %	Ba ppm	Sr ppm	SiO2/Al2O3 mol		Zone
e5 indifférentié	48	1,5	52	0,8	4	7	48	4,1	Cavités Forestière Dent de Rez Fons	Int. Cèze-Ardèche
e5 supérieur	61	2,9	51	1,5	4	12	80	2,5		Pl. St Remèze
e5 supérieur	63	3,5	50	1,8	7	18	113	5,3		pl.Méjannes le Clap
<i>Bartonien</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al2O3 %	SiO2 %	Ba ppm	Sr ppm	SiO2/Al2O3 mol		Zone
e5 / e6 basal	69	3,5	40	1,5	21	34	375	12,5	Echantillons de surface	Int. Cèze-Ardèche
e5 / e6 basal	77	5,6	43	2,6	16	38	62	5,4		Int. Cèze-Ardèche
e6 inférieur	106	27	9	3,5	76	60	39	18,7		Int. Cèze-Ardèche
e6 inférieur	162	26	13	4,6	65	120	78	12,0		Int. Cèze-Ardèche
e6 inférieur	210	41	9	6,4	68	85	60	9,0		Int. Cèze-Ardèche
e6 inférieur- MECO	249	66	3	7,0	76	105	32	9,3		Int. Cèze-Ardèche
e6 inférieur- MECO	258	84	0,5	7,3	79	128	63	9,3		Int. Cèze-Ardèche
e6 (sable marin)	55	54	0,3	0,3	98	44	6	> 50		Int. Cèze-Ardèche
e6-7 moyen ?	132	26	18	7,0	52	188	179	6,3		Int. Cèze-Ardèche
<i>lacune sédimentaire</i>										
<i>Bartonien</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al2O3 %	SiO2 %	Ba ppm	Sr ppm	SiO2/Al2O3 mol		Zone
e5 / e6 basal	49	4,9	45	2,3	15	21	112	5,6	Formes poche karst. doline poche karst. contact faille	Int. Cèze-Ardèche
e5 / e6 basal	81	4,2	48	2,2	8	75	319	3,2		pl.Méjannes le Clap
e5 / e6 basal	84	4,1	46	2,0	10	17	40	4,1		pl.Méjannes le Clap
e6 inférieur- MECO	190	65	2,6	6,2	82	170	27	11,2		pl.Méjannes le Clap
e6 inférieur- MECO	235	70	2,6	6,9	81	50	26	10,0		pl.Méjannes le Clap
e6 inférieur- MECO	174	78	0,9	5,6	84	95	41	12,6		Int. Cèze-Ardèche
<i>Bartonien</i>	Eléments transition ppm	Altération chimique %	CaO%	Al2O3 %	SiO2 %	Ba ppm	Sr ppm	SiO2/Al2O3 mol		Zone
e5 / e6 basal	143	6,9	47	3,5	7	35	54	1,7	Cavités Dent de Rez Salamandre Fons Camisards Camisards Noël	Pl. St Remèze
e5 / e6 basal	98	6,0	45	2,9	11	46	56	3,3		pl.Méjannes le Clap
e5 / e6 basal	95	5,7	45	2,7	13	23	20	4,2		pl.Méjannes le Clap
e5 / e6 basal	100	4,7	41	2,0	16	16	54	6,7		Mt Bouquet
e6 inférieur- MECO	404	69	3,5	8,6	72	41	64	7,2		Mt Bouquet
e6 inférieur- MECO	329	72	1,9	9,1	78	241	50	7,3		Pl. St Remèze

Tab.4 - Principaux éléments géochimiques des échantillons de l'Eocène moyen

	Elément transition ppm	Altération %	CaO %	Al2O3 %	SiO2 %	Ba ppm	Sr ppm
<i>Eocène inférieur e4-EECO</i>							
Exokarst	++	+	+	-	=	++	--
Endokarst	+++	++	+	+	--	--	--
<i>Lutétien indifférentié e5</i>							
Exokarst	+	=	-	=	+	+	+++
Endokarst	++	=	-	=	+	-	--
<i>Lutétien supérieur e5</i>							
Exokarst	+	=	+	=	--	--	---
Endokarst	-	=	+	=	-	--	---
<i>Bartonien e5/e6</i>							
Exokarst	-	=	+	=	-	=	--
Endokarst	++	=	+	=	-	-	---
<i>Bartonien e6-MECO</i>							
Exokarst	--	-	=	=	+	-	-
Endokarst	++	-	=	+	-	+	+
Hausse / Baisse	+ / - faible		++ / -- moyenne		+++ / --- forte		= Stable

Tab.5 - Synthèse qualitative des moyennes des variations des éléments majeurs, de transition et traces par rapport aux éléments de surface.

VIII - Eocène supérieur

A - Priabonien:

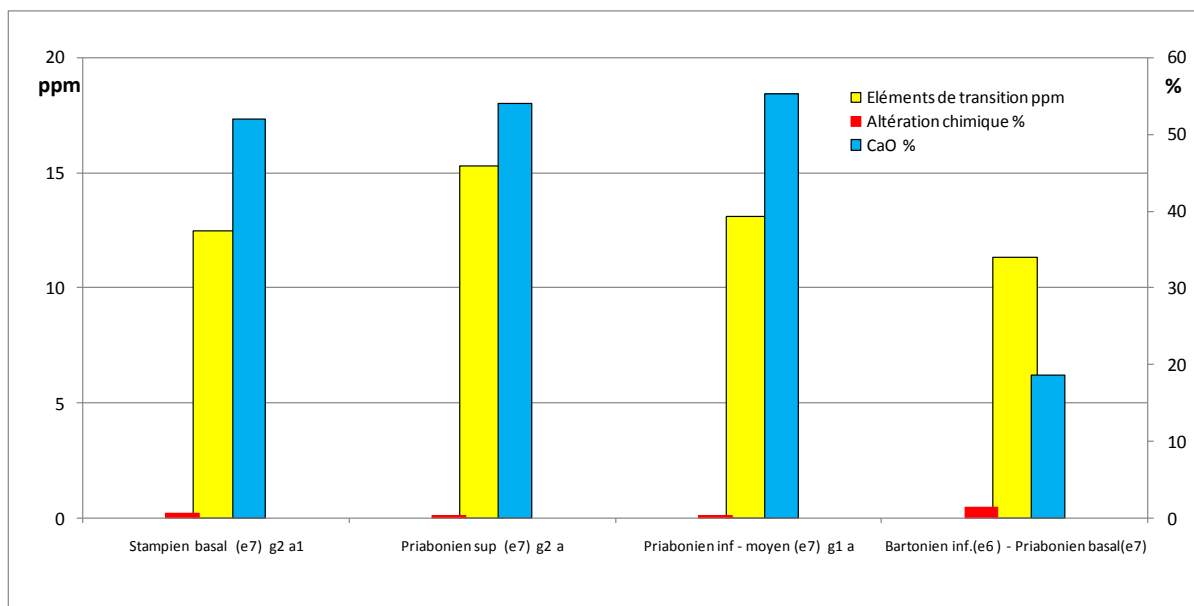
Il est représenté par des marnes et des carbonates laguno-lacustres mais qui peuvent se substituer à des dépôts évaporitiques.

Cette dernière époque se découpe en quatre paraséquences comportant huit unités de dépôts. (Bouche, 2011), (Lettéron, 2017).

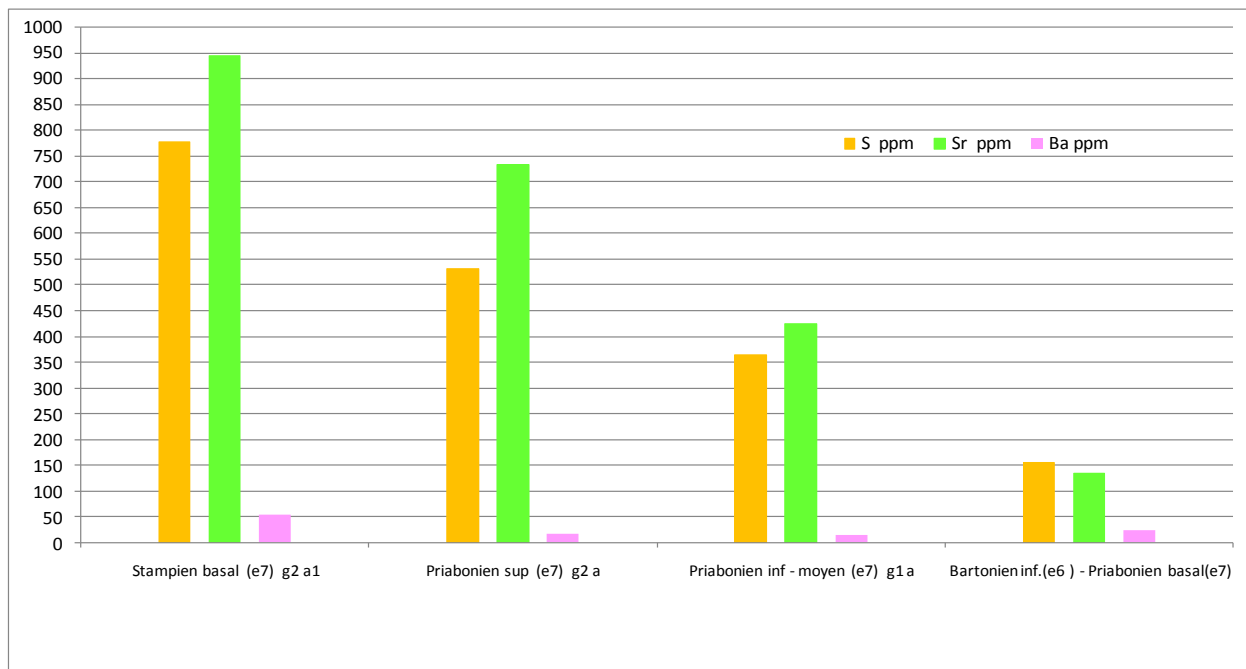
De loin la plus représentative, sa puissance est de 130 et 900mètres respectivement dans le synclinal d'Issirac et du fossé d'Alès.

L'intervalle Priabonien supérieur / Stampien basal marque une grande rupture climatique correspondante au passage Icehouse (fig.2) qui voit une augmentation des valeurs du $\delta^{18}O$. (Zachos et al. 2008)

Ces marnes sont conservées dans des grabens au sud du village de Montclus, dans quelques dépressions à l'ouest de l'aven d'Orgnac ainsi qu'au sud-ouest de la Bastide de Virac à 400m d'altitude. Peu dégradées, leur signature géochimique n'a pas été décelée dans l'endokarst.



Tab.6



Tab.7

Tab.6 & 7 - Principaux éléments géochimiques des échantillons de surface de l'Eocène supérieur

Résumé et conclusion :

La géodynamique du Paléogène a créé de nombreuses formations discontinues qui, associées au climat tropical à subtropical et aux conditions anoxiques du Crétacé supérieur et de l'Eocène inférieur et moyen, ont favorisé la mise en place de processus corrosifs donnant lieu à des couvertures altéritiques. Cette agression chimique n'a cependant joué que sur les premiers mètres de l'encaissant carbonaté, inhibée ensuite par la capacité des eaux d'infiltration à atteindre rapidement leur équilibre calco-carbonique. Ainsi, aucune altération des calcaires du Barrémien supérieur - Bédoulien n'a pu être constatée à l'interface colmatage - paroi des poches et couloirs de l'endokarst.

Suite au recul des couvertures, les altérites, devenues alcalines, ont pénétré la zone vadose soit par gravité avec entrainement par infiltration des eaux météoriques, soit par exhaussement et/ou abaissement des surfaces d'aplanissement donnant lieu à des érosions latérales de versant ou bien à des échanges d'eau de rivière avec celle du karst.

La mise en place de nappe phréatique à faible énergie a provoqué un classement granulométrique entre les colloïdes et les sables qui, entre deux séquences de calme hydraulique, a favorisé un processus de stratification interne des sédiments indicateur d'une origine diagénétique précoce (aven de la Salamandre - photo 4).



photo 4 - Sables siliceux non compactés entre 2 séquences de sables indurés dans un couloir karstique. A proximité, un autre couloir vidé de son remplissage. Aven de la Salamandre (30) (cliché: Joël Jolivet)

A l'inverse, une haute énergie disperse la matière argileuse en suspension dans l'ensemble de la nappe aquifère comme l'attestent les comblements actuels des galeries de la grotte de la Madeleine (photo 5).



photo 5 - Reliquat de colmatage avec rythmites bicolores (grotte de la Madeleine (07)) (cliché: Joël Jolivet)

Le produit de ces décantations se répartit spatialement de façon complexe et inégale dans les cavités qui ont pu être totalement comblées à certaines périodes. Les propriétés hygroscopiques des argiles, augmentent le volume des remplissages. La teneur en eau capillaire est d'environ 15% pour quelques dépôts analysés. La désorganisation de la surface géographique, comme l'enfoncement des vallées, engendre des gradients hydrauliques privilégiant des axes d'écoulements préférentiels qui évacuent graduellement mais de manière aléatoire les altérites surtout en période de hautes eaux. La turbidité enregistrée lors des crues montre aux exutoires, à débit similaire, des variations dans les mesures. L'effet régressif du soutirage n'est pas retenu ici vu l'hétérogénéité des fracturations et de la répartition des comblements dans ces paléokarsts. Ces dépôts détritiques dépendent ainsi des dynamiques hydrosédimentaires couplées aux variantes environnementales et climatiques de ces époques.

Cette approche par la géochimie ne peut se substituer à l'analyse macro et micropaléontologique ainsi qu'aux analyses granulométriques et minéralogiques des divers sédiments mais à la compléter. Cependant, elle permet d'avancer une datation, bien que précisable, des reliquats des paléo-couvertures conservés sur les surfaces d'aplanissement et dans leur encaissant. Sur la base des résultats obtenus, il apparaît que dès le Cénomaniens, la plate-forme barrémo-aptienne a été coiffée par des affleurements détritiques et littoraux peu épais et de faible extension n'ayant cependant pas laissé de traces dans les hypogées visitées. Seuls, les altérites de l'Eocène

inférieur et moyen laissent leurs empreintes sur et dans le karst, les marnes de l'Eocène supérieur ne se conservant que dans les formes exokarstiques. Si l'on s'en réfère à la hauteur de 300 mètres de l'Eocène moyen du fossé d'Alès, ce manteau couvrirait la totalité de l'aire étudiée avant de se soulever et de s'éroder sous les tensions de la phase paroxysmale compressive la fin du Bartonien et de l'Eocène supérieur. L'Oligocène engendre l'ouverture du fossé d'Alès faisant basculer définitivement les massifs de la dent de Rez (726m.), du Mont Bouquet (629m.) et de Fons sur Lussan (472m) entraînant de facto leurs aquifères qui conservent encore les traces de ces sédiments terrigènes.

Si le canevas structural cassant se met en place et se karstifie dès l'émergence de la plate-forme carbonatée barrémienne, la datation des différentes phases spéléogénétiques ne peut être définie par rapport à leur colmatage.

Ces formations altéritiques ont donc contribué à l'élaboration de réseaux hydrographiques dont certains vestiges sont encore visibles ainsi qu'à la formation et à l'agencement des aquifères karstiques de la plate-forme calcaire barrémo-bédoulienne dépendants des subsidences des bassins d'Alès, d'Issirac ou de St Chaptés et qui ont permis l'accumulation de ces altérites.

Remerciements:

A Garcia D. (Mines- St Etienne) pour les analyses géochimiques par ICP-AES, ses discussions fructueuses et remarques.

Aux spéléos du Groupement Associatif des Spéléologues d'Issirac, d'Orgnac et de La Bastide de Virac (G.A.S.O.I.L.) pour la récolte de nombreux échantillons aux cours de leurs pérégrinations en sous sol et en particulier à E. Van Den Broeck et E. Brunel pour certaines marches d'approche sous le soleil brûlant du Midi.

Enfin aux gestionnaires des grottes aménagées d'Orgnac, la Forestière, de la Madeleine et de la Salamandre pour leur accueil et l'intérêt qu'ils portent à ce travail.

Bibliographie:

BOUCHE A. (2011) - Contrôles paléoenvironnementaux, architecture sédimentaire et évolution diagénétique d'un système lacustre à salinité variable : le cas du Bassin d'Alès (Priabonien, Sud de la France)- Université PAUL CEZANNE - Université de PROVENCE- École Doctorale Sciences de l'environnement d'AIXMARSEILLE.58 p.

CRAMER, B. S., TOGGWEILER, J., WRIGHT, J., KATZ, M. and MILLER, K. (2009): Ocean overturning since the Late Cretaceous: Inferences from a new benthic foraminiferal isotope compilation, *Paleoceanography*, 24(4), 2009.

CRAMER, B. S., MILLER, K. G., BARRETT, P. J. and WRIGHT, J. D. (2011): Late Cretaceous-Neogene trends in deep ocean temperature and continental ice volume; reconciling records of benthic foraminiferal geochemistry (δ O18 and Mg/Ca) with sea level history, *Journal of Geophysical Research*, 116(C12), 2011.

DONNADIEU Yannick, PUCEAT Emmanuelle, MOIROUD Mathieu, GUILLOCHEAU François & DECONINCK Jean-François (2016). A better-ventilated ocean triggered by Late Cretaceous changes in continental configuration. *Nature Communications*, 7, Article number 10316. doi:10.1038/ncomms10316

JOLIVET Joël, CHAPUIS Hervé, RE-BAHUAUD Jordan, GRAILLOT Didier, GUY Bernard et VAN DEN BROECK Erik (2017): Évolution paléogéographique et karstogenèse du bassin d'Issirac (Gard, France) du Crétacé supérieur au Miocène inférieur. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01612184>

LELEU S., GHENNE J. F. and MANATSCHAL G. (2009): Alluvial fan development and morpho-tectonic evolution in response to contractional fault reactivation (Late Cretaceous–Palaeocene), Provence, France, *Basin Research*, 21, 157-187, 2009.

LETTERON Alexandre, FOURNIER François, HAMON Youri, VILLIER Loïc, MARGEREL Jean-Pierre, BOUCHE Alexandre, FEIST Monique, JOSEPH Philippe (2017): Multi-proxy paleoenvironmental reconstruction of saline lake carbonates: Paleoclimatic and paleogeographic implications (Priabonian-Rupelian, Issirac Basin, SE France) *Sedimentary Geology* 358 (2017) 97–120

MASSE J.P. (1989): Contribution à l'étude de l'Urgonien (Barrémien - Bédoulien) des Monts de Vaucluse et du Luberon, BRGM, 45p.

NESBITT, H. W. and YOUNG, G.M., (1982): Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lites. *Nature*, 199, 715-717

POTDEVIN J.L., MARQUER D. (1987) : Méthode de quantification des transferts de matière par les fluides dans les roches métamorphiques déformées - *Géodynamica Acta* (Paris) 1987,1,3, p.193 à 206

ZACHOS J. C., DICKENS G. R. and ZEEBE R. E. (2008): An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics, *Nature*, 451, 279-283, 2008.