



HAL
open science

Formation du canyon de l'Ardèche en analogie avec l'endokarst de sa plateforme urgonienne périphérique durant le Néogène (Ardèche - France)

Joël Jolivet, Steve Peuble, Frédéric Paron, Frédéric Gallice, Erik van den Broeck, Didier Graillot

► To cite this version:

Joël Jolivet, Steve Peuble, Frédéric Paron, Frédéric Gallice, Erik van den Broeck, et al.. Formation du canyon de l'Ardèche en analogie avec l'endokarst de sa plateforme urgonienne périphérique durant le Néogène (Ardèche - France). 2023. emse-04357712

HAL Id: emse-04357712

<https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-04357712v1>

Preprint submitted on 21 Dec 2023

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.

Formation du canyon de l'Ardèche en analogie avec l'endokarst de sa plateforme urgonienne périphérique durant le Néogène (Ardèche - France)

Comparaison avec les vallées du Rhône et de la Cèze.

JOLIVET Joël ⁽¹⁾, PEUBLE Steve ⁽²⁾, PARAN Frédéric ⁽²⁾, GALLICE Frédéric ⁽²⁾, VAN DEN BROECK Erik ⁽¹⁾, GRAILLOT Didier ⁽²⁾

⁽¹⁾ Association Nature-Témoin - 30760 Issirac France

⁽²⁾ Mines Saint-Etienne, Univ. LYON, CNRS, Univ. Jean Monet, Univ. Lumière Lyon 2, Univ. Lyon 3 Jean Moulin, ENS Lyon, ENTPE, ENSA Lyon, UMR 5600 EVS, Centre Spin, F - 42023 Saint-Etienne France

Résumé:

Cet article fait suite aux publications intitulées "La paléogéographie du canyon de l'Ardèche du Crétacé inférieur à l'Oligocène" (Jolivet et al, 2022) et "Evolution karstique de l'anticlinal de Saint-Remèze durant le Paléogène (Ardèche - France)" (Jolivet et al, 2023).

Ce troisième et dernier article aborde la progression du creusement des gorges de l'Ardèche durant le Néogène au cours de l'évolution du bassin rhodano-provençal miocène (BRPM) et de la ria de la Bruguière appartenant au bassin de la Cèze.

A partir de la haute surface arasée fini éocène, un large réseau de drainage d'axe NO-SE s'organise pour fixer la paléo-Ardèche entre l'interfluve Cèze-Ardèche et le plateau de St Remèze. Son lit devait s'étaler dans de larges vallées creusées dans des formations gréseuses à sableuses datant du fini Crétacé supérieur à l'Eocène moyen.

Au début du Miocène, sous les contraintes de la tectonique extensive oligocène puis compressive alpine, la rivière Ardèche voit son cours incisé par paliers dans les calcaires barrémo-aptiens en relation avec les périodes eustatiques et climatiques du Néogène.

En parallèle, la spéléogénèse qui s'est développée dans les plateaux calcaires situés de part et d'autre de son canyon, a permis d'établir une sorte d'"analogie endokarstique" qui conserve des morphologies variées et évolutives élaborées durant le Néogène. Ce concept d'analogie est repris et réparti dans les différentes sections de l'article. Les observations in situ, les travaux d'exploration et de topographie menés en cavité par les spéléologues depuis de nombreuses années (Bulletins CDS 07, 1966 à 2023), ont permis de dresser un "synopsis" plus ou moins rigoureux permettant de retrouver l'altitude des principales cavités. Au travers de ce canevas, cette étude tente un calage chronologique par rapport aux évolutions du creusement des canyons du Rhône, de la Cèze et de l'Ardèche.

Les paléo couvertures déposées dès le Crétacé supérieur et le Paléogène ont généré des remplissages caractéristiques comme les grès néoformés et les argiles authigènes en particulier, présents dans l'ensemble des cavités échelonnées dans la masse carbonatée. (Jolivet et al, 2023).

Un protocole de caractérisation par analyse géochimique ICP-AES et diffractométrie aux rayons X sur des échantillons du Crétacé supérieur et Paléogène référencés sur la carte géologique de Bourg Saint Andéol-889 permet de comparer les signatures géochimiques d'échantillons inédits, gréseux et argileux, prélevés dans les cavités des plateaux karstiques ardéchois (Jolivet et al., 2020, 2022, 2023).

Mots clés: Canyon, Endokarst, Morphologie karstique, Miocène, Pliocène, Ardèche, Cèze, Rhône.

Abstract

This paper follows the publications entitled "Paleogeography of the Ardèche canyon from the Lower Cretaceous to the Oligocene" (Jolivet et al, 2022) and "Karstic evolution of the Saint-Remèze anticline during the Paleogene (Ardèche - France)" (Jolivet et al, 2023).

This third and final article discusses the incision progress of the Ardèche canyon during the Neogene all along the evolution of the Miocene Rhodano-Provençal basin (BRPM) and of the Bruguière ria belonging to the Cèze basin. A large drainage network with NW-SE axis has been installing from the finished Eocene high-levelled surface to settle the paleo-Ardèche between the Cèze-Ardèche interfluvium and the Saint-Remèze plateau. Its bed must have spread out in wide valleys dug into sandstone to sandy formations dating from past Upper Cretaceous to Middle Eocene times.

At the beginning of the Miocene, under constraints of extensive Oligocene followed by compressive Alpine tectonics, the Ardèche river sees its course incised in stages into the Barrémo-Aptian limestones in relation to the eustatic and climatic periods of the Neogene.

In parallel, the speleogenesis, which developed in the limestone plateaus located on either side of its canyon, has made it possible to create a kind of “endokarstic analogue” preserving varied and evolving morphologies developed during the Neogene. The concept of this analogue is taken up and distributed throughout the different sections of this article.

In situ observations, exploration and surveying work in caves carried out since many years by speleologists (Bulletins CDS 07, 1966 à 2023), made it possible to draw up a more or less rigorous synopsis where one can find the altitude of the main caves. Throughout this framework, this study attempts a chronological alignment in relation to the evolutions of the incision of the Rhône, Cèze and Ardèche canyons.

The paleocovers deposited from the Upper Cretaceous, the Paleogene generated characteristic fillings such as neoformed sandstones, and authigenic clays in particular, present in all the cavities distributed in the carbonate mass. (Jolivet *et al.*, 2023)

A characterisation protocol through geochemical ICP-AES and by X-ray diffraction of Upper Cretaceous and the Paleogene samples, referenced on the geological maps of Bourg Saint Andéol-889, makes it possible to compare the geochemical signatures of unpublished sandstone and clay samples, taken in the caves of the Ardèche karstic plateaus. (Jolivet *et al.*, 2020, 2022, 2023)

Keywords : Canyon, Endokarst, Karstic morphology, Miocene, Pliocene, Ardèche, Cèze, Rhône.

1 - Introduction:

Cette recherche porte principalement sur la zone centrale du plateau de St Remèze - Bidon, dénommée ici zone 2 (z2), et s'étend sur la zone 3 (z3) de St Martin d'Ardèche (fig. 1).

Les régions de St Restitut-Visan (Drôme), de la Bruguière et de la Cèze aval (Gard) situées de part et d'autre du couloir rhodanien ont été retenues pour l'étude de leur stratigraphie qui possède des stratotypes bien définis proches de la zone étudiée.

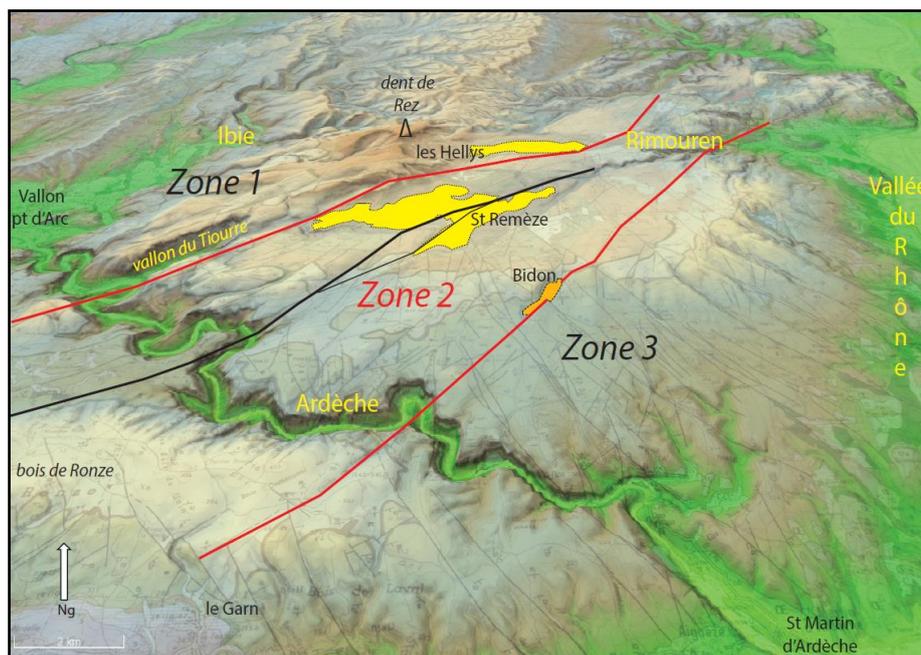


fig.1 - Situation de la zone 2 délimitée par les traits rouges.

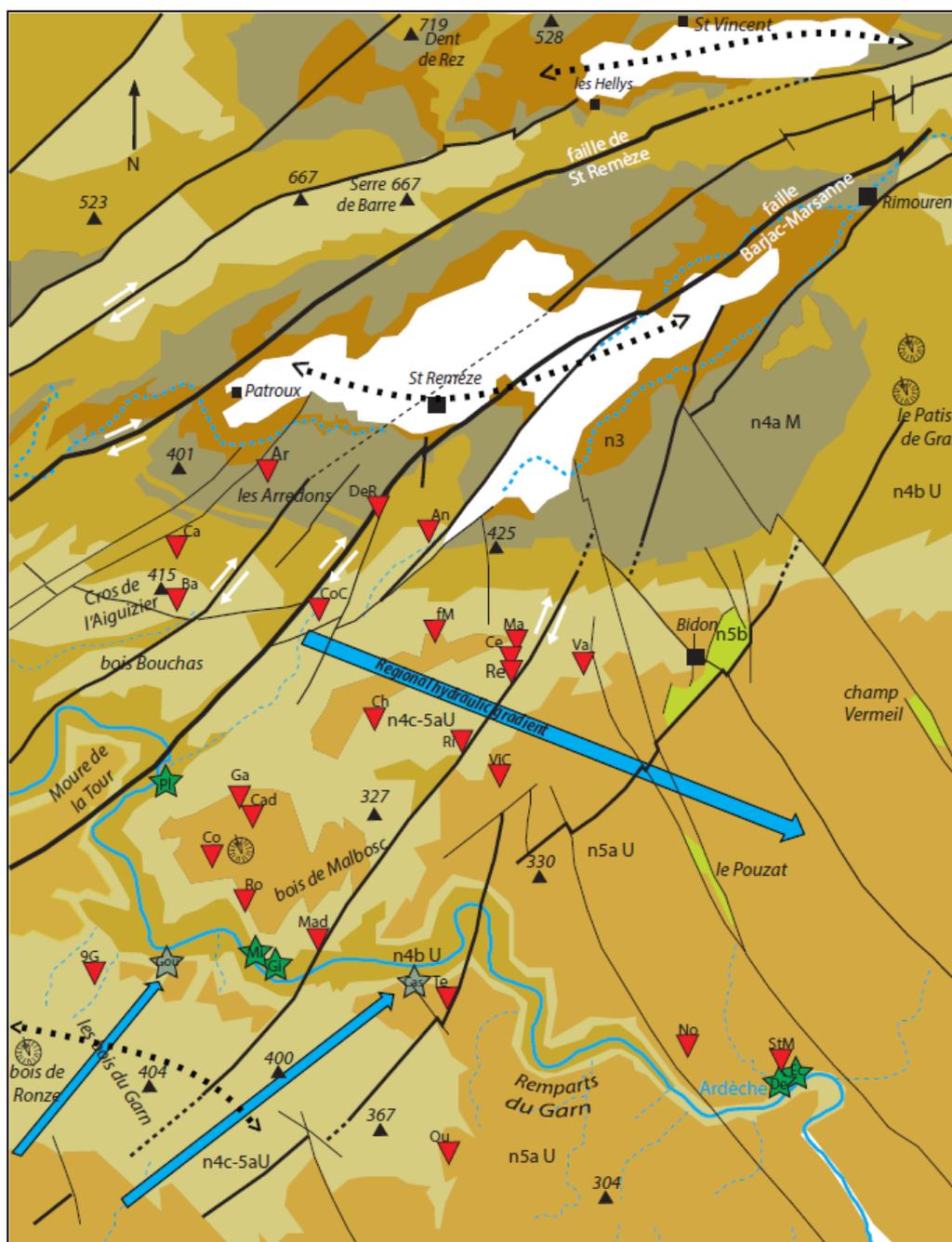
Les plages jaunes positionnent les anticlinaux arasés des régions de St Remèze, les Hellys et du bois de Ronze.

La plage orange marque le graben du village de Bidon.

Le creusement du canyon de l'Ardèche, tributaire de son niveau de base régional, le Rhône, lui-même influencé par l'architecture évolutive du bassin rhodano-provençal miocène (BRPM) établi dès le début du Néogène, a été à l'origine d'une évolution spéléogénétique différée dans le temps dans la masse calcaire des plateaux périphériques. Ce processus a été assujéti à un hydrodynamisme souterrain couplé à une géodynamique évolutive contraignant les aquifères karstiques au cours ou après formation distincte de l'évolution du cours aérien.

Durant le Miocène, la succession des phases d'aggradations et de régressions du cortège sédimentaire cévenol dans la vallée de l'Ardèche en cours d'élaboration en lien avec les événements géologiques régionaux, a déterminé à chaque étape d'évolution, des spécifications morphologiques. Celle-ci ont engendré diverses concentrations d'énergie

hydrodynamique responsables des creusements endokarstiques, ascendants ou descendants, et dont les aquifères fossiles ou non gardent la dernière forme perçue actuellement par les observateurs (fig.2).



Ar	Arrédons
Ca	Cade
Ba	Bartade
DeR	Dewés de Reynaud
CoC	Costes Chaudes
An	Anniversaire
fM	faux Marzal
Ma	Marzal
Ce	Cenrura
Re	Reynaud
Va	Varade
Ch	Chenivesse

cavité

Ri	Richard
VfC	Vigne-Close
Ga	Gauthier
Cad	Cadet
Co	Courtinen
Ro	Rochas
Mad	Madeleine
Te	Terrasse
9G	Neuf Gorges
Ou	Oursins
No	Noel
StM	St Marcel

source rive droite



source rive gauche



anticlinal

Gou	Gournier
Cas	Castor
Pl	Platane
Mi	Midroi
Gi	Guigonne
De	Deloly
Ec	Ecluse

fig.2 - Carte géologique simplifiée avec positionnement des cavités étudiées (d'après la carte géologique Bourg St Andéol 1/50 000)

2 - Contexte tectonique, eustatique et climatique de la fin du Paléogène au Néogène :

Le Priabonien est caractérisé par un refroidissement important et la formation de calottes glaciaires dans l'Antarctique suivi au Rupélien d'une baisse significative du niveau océanique résultant du prolongement de la période extensive qui va marquer l'ouverture du golfe du Lion. (Jolivet, 2000)

A l'Oligocène, la phase de distension ESE-ONO provoque la remobilisation des failles N-S à NNE-SSO.

La conséquence la plus visible est l'ouverture du fossé d'Alès qui fait basculer les séries de l'Urgonien de la z1 (fig.1). La faille transformante de St Remèze individualise le synclinal des Hellys-St Vincent suivi d'une érosion des reliefs pyrénéo-provençaux.

Cette extension va aussi avoir des répercussions sur les failles ENE-OSO provoquant entre autres un basculement du plateau de la z3 vers le SE en direction du sillon rhodanien (fig.1).

Elle a également provoqué l'affaissement partiel du plateau de St Remèze dans sa partie centrale et du graben de Bidon, ce dernier conservant encore des placages de marnes gréseuses du Bédoulien supérieur(n5). (Jolivet et al, 2022).

Le découpage du plateau en plusieurs blocs et lanières se finalise sous l'impulsion de la première phase de compression alpine ESE-ONO à la fin du Miocène inférieur (Besson, 2005) influencée par le soulèvement et le volcanisme du Massif central et l'ouverture du golfe du Lion ainsi que la rotation du bloc corso-sarde.

Cette déformation se poursuit pendant le Miocène moyen (Gattacceca, 2002) entraînant les débuts de torsion et de la rotation partielle des axes anticlinaux du bois de Ronze, de St Remèze et du synclinal de Labastide de Virac.

La tectonique locale se manifeste également par la réactivation des failles sub-verticales NNE-SSO et ONO-ESE qui a pu favoriser la finalisation des petits grabens déjà amorcée à la fin du Paléogène, de champ Vermeil et du Pouzat ainsi qu'une remobilisation des failles ESE-ONO périphériques du canyon de l'Ardèche.

La bordure Ouest du bassin rhodanien subit alors une surrection que précède la transgression serravallienne. (Rubino et al., 1990)

Au Miocène supérieur, une seconde phase compressive alpine se produit au Tortonien par un jeu de compression NE-SO qui renforce la réactivation des structures de cisaillement NNE-SSO de St Remèze, de la dent de Rez et celles orientées ENE-OSO en accentuant leur rafraîchissement morphologique. (Molliex, 2009).

Cette phase du plissement alpin provoque des déformations mais aussi un soulèvement plus important à l'Est qu'à l'Ouest du sillon rhodanien. (Mandier, 1988)

Le Messinien est associé à une baisse d'intensité de l'activité tectonique. (Clauzon, 1984).

Aucun changement majeur dans la cinématique des plaques de l'aire méditerranéenne n'est signalé à cette période. (Jolivet et al.,2006).

La phase d'érosion du Rhône suite à la chute du niveau d'eau de la Méditerranée, provoque des déformations verticales dues à un déséquilibre isostatique. (Gargani, 2004)

Durant le Pliocène, suite au soulèvement des Alpes, la vallée du Rhône subit un réajustement différentiel dans un axe méridien accompagné d'un rebond isostatique en réponse au ré-ennoyage du BRPM. (Ryan, 2007). Le Massif Central continue son rehaussement avec le développement de l'activité volcanique. (Dèzes et al., 2004)

Au Plio-Quaternaire, la tectonique engendre un état de contrainte alpine caractérisée par un régime compressif faisant à nouveau jouer les failles NE-SO au niveau du couloir rhodanien ainsi que sur la bordure cévenole (Lafarge, 1978).

Soumises aux diverses compressions alpines, quatre incisions durant le Miocène ont pu être enregistrées dans le BMRP (fig.3), (i) la première liée à la régression datée de l'Aquitano-Burdigalien. (ii) les deux suivantes situées aux coupures Burdigalien/Langhien et Serravallien/Tortonien et (iii) la dernière au Messinien mais sous contrôle unique de l'eustatisme. (Besson, 2005)

Ces incisions sont à mettre en relation avec les séquences de transgressions et de cycles sédimentaires du BMRP générés par les phases eustatiques.

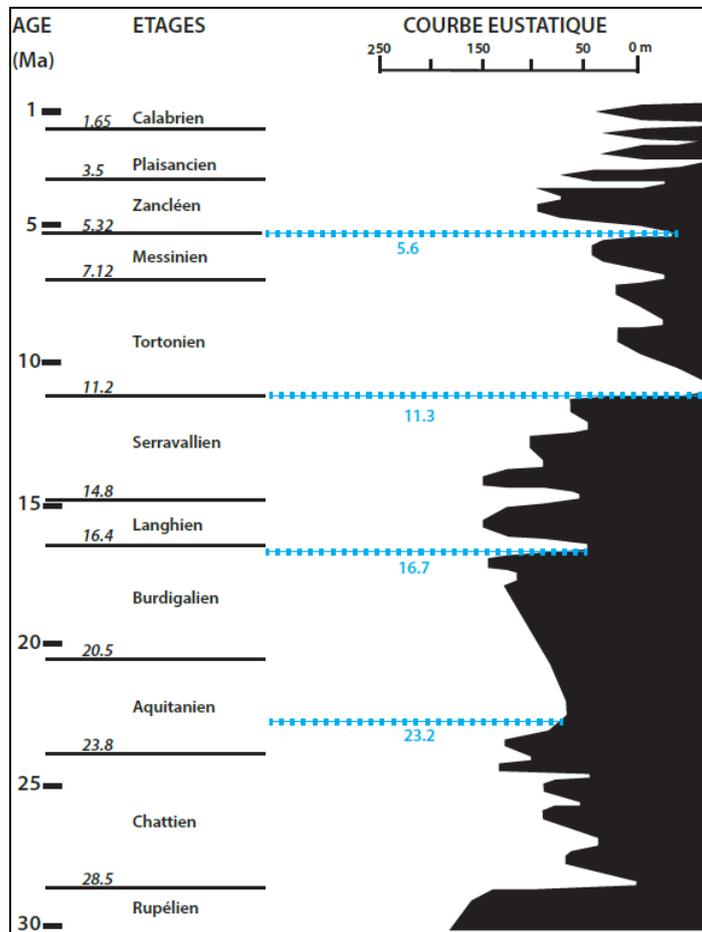


fig.3 - Courbe eustatique simplifiée durant le Miocène. En bleu, les régressions marines majeures (d'après la courbe eustatique de Haq et al., 1987).

Les études paléontologiques et paléobotaniques complètent les restitutions environnementales (Suc et al., 2019) et permettent une approche climatique du Néogène.

Un refroidissement global survient à la coupure Chattien-Aquitaniens suivi par un réchauffement appelé "Optimum Climatique du Miocène moyen" à l'interface du Burdigalien-Langhien. (Briard, 2020)

Une nouvelle baisse des températures établissant la calotte Antarctique survient au cours de la "Transition Climatique du Miocène moyen" situé à la coupure Langhien-Serravallien. (Lear et al., 2015)

La période fini néogène se déroule sous des conditions subtropicales humides à subdésertiques et se termine au Messinien par une période glaciaire caractérisée par l'extension de l'Antarctique.

Le Pliocène enregistre un optimum climatique au Zancléen avant la première glaciation de l'hémisphère nord à la coupure Plaisancien-Gélasien.

Ces contextes tectoniques, eustatiques et climatiques expliquent le rôle de la sédimentation tant fluviale que karstique en lien avec les énergies de transport.

3 - Morphologie et hydrographie:

La combinaison des événements eustatiques, tectoniques et climatiques à l'interface fini paléogène - début miocène va influencer la physiographie et plus particulièrement l'agencement hydrographique du drain principal que représente l'Ardèche.

A partir d'une vallée simple, l'organisation d'une vallée incisée s'ordonne sous le contrôle d'un régime fluvial qui réagit aux effets combinés de ces événements. (Blum et al., 1994) et à d'autres mécanismes comme les variations des débits et les charges sédimentaires. Le réajustement permanent du profil d'équilibre est assujéti à l'ampleur de l'érosion régressive mais également aux conditions lithologiques. (Schumm et al., 1994)

Les fluctuations successives du niveau océanique durant le Miocène vont avoir des répercussions sur le régime fluvial du BMRP qui infère à son tour sur le niveau de base local, d'où une latence temporelle dans les phases d'incision du canyon de l'Ardèche. Ce dernier ajuste son profil d'équilibre passant graduellement d'un substrat gréseux-sableux à celui plus résistant des calcaires du Barrémien supérieur-Aptien, d'où son aspect méandrique.

La formation et l'évolution du BMRP couplées aux ajustements tectoniques de la bordure cévenole et asthénosphériques du Massif Central vont être les moteurs principaux de cette structuration.

4 - Période du Miocène inférieur - moyen:

Avant d'être soumise à des épisodes intenses d'érosion et d'altération, la première phase de creusement aquitano-burdigalienne du BMRP est d'abord de faible ampleur: elle affouille la couverture de grès et sables déposée sur les plateaux ardéchois depuis le Crétacé supérieur jusqu'à l'Eocène moyen. (Jolivet et al., 2023)

Au niveau tectonique, le début de la poussée compressive alpine ESE-ONO dans le Sud-Est de la France (Dèzes, 2004) entraîne le rejeu des structures tectoniques locales et la chute du niveau marin favorisent l'incision des vallées qui se sont formées dans le BMRP à cette époque (Parize et al., 2003).

Cette coupure a été estimée à plus de 100 mètres dans la vallée de la Cèze déblayant les dépôts éocènes-priaboniens (Besson, 2005) alors que celle du Rhône a été évaluée à plus de 130 mètres, en fonction des irrégularités des topographies antérieures, avec un axe de développement NE-SW à St Restitut. (Rubino et al., 1990)

Seuls de modestes dépôts aquitaniens (Z 190 m) sont observables au nord de St Marcel d'Ardèche ainsi qu'au NE de St Montan (Z entre 250 et 340 m.).

L'enfoncement du niveau de base de l'Ardèche par érosion régressive se rattache à ces événements et se calque sur les structures ESE-ONO comparables à celles de la Cèze moyenne et aval favorisant et ancrant définitivement la résultante directionnelle de la circulation des eaux vers le niveau de base régional.

Alors que s'amorce une lente et partielle déconnexion des écoulements du plateau de St Remèze, dans l'endokarst de la z2, cette césure entraîne la formation des puits inclinés de l'aven de l'Anniversaire et en surface, une réactivation des failles NE-SO qui vont morceler et isoler définitivement l'ensemble des hypogées décapitées ou non. A noter la grotte des Oursins (Z 355m) en rive droite de l'Ardèche qui peut concorder avec cette phase de transition.

Le couloir tronqué de la Barthe qui collectait probablement les drains de Marzal 1 et 5 (Jolivet et al., 2023), se perd au contact d'une faille NO-SE à partir de la cote altitudinale de 325 mètres.

Ces observations correspondent à une baisse du gradient hydraulique liée mais de façon différée à celle de la rivière. La première phase de creusement de l'Ardèche peut être estimée à ± 40 mètres en tenant compte des critères formulés ci-dessus et calerait ainsi une surface d'abandon à la fin de l'Eocène dans laquelle s'inscrivent les dolines du Patis des Gras (z2) et celles du Bois de Ronze (z1).

D'un point de vue paléogéographique, le mégacycle miocène débute au Burdigalien. Seuls les dépôts du Pliocène sont visibles à la sortie des gorges au niveau de St Martin d'Ardèche, les autres termes du Miocène n'ayant pas été observés sur les plateaux et dans le canyon.

La submersion de la vallée du Rhône au Burdigalien est tributaire des variations eustatiques de l'océan dit universel (Sissingh, 2001). La charte eustatique (Haq et al., 1987) situe le cycle de haut niveau marin burdigalien à environ + 160m NGF alors que les enregistrements sédimentaires repérés sur la bordure Est du Rhône (St Restitut), dans la ria de la Bruguière et à l'aval des gorges de la Cèze se localisent respectivement à 285, 255 et 100 mètres d'altitude témoignant des soulèvements postérieurs qui s'évaluent à plus d'une centaine de mètres.

La remontée du niveau marin favorise le ralentissement des régimes d'écoulement par l'aggradation des seuls dépôts fluviatiles cévenols et locaux qui diminue la pente de fond et comblent progressivement la première vallée incisée de l'Ardèche. Ces remplissages transgressifs contrôlent les systèmes phréatiques karstiques et génèrent la récession de l'hydrodynamisme du niveau de base local et régional engendrant inéluctablement celle des gradients hydrauliques karstiques.

Les placages limono-silteux attribués à l'Eocène inférieur (Jolivet et al., 2022) et moyen ont été remaniés mais sont encore visibles de part et d'autres du canyon de l'Ardèche.

Ils montrent des variations d'altitudes dues à des ajustements tectoniques. Ils sont visibles au niveau des méplats de la plaine de Maya (Z 310 m.NGF), du bois de Malbosc (310 m.NGF) et du serre du Mourre de la Tour (250 m.NGF) ainsi qu'au niveau du replat de la Terrasse face au cirque de la Madeleine (280m.NGF).

Site	Sable	% SiO2	% Al2O3	% CaO	% Fe2O3	% K2O	% MgO	% MnO	% Na2O	% P2O5	% TiO2	% Altération	% Lixiviation	ppm Transition	rapport Si/Al	ppm Ba
Mourre de la Tour	éocène inf.	67,1	13,6	0,6	4,6	3,1	0,77	0,05	1,3	0,08	0,83	73	0,20	314	5	504

Tab.1 - Résultats de géochimie (ICP-AES Horiba Scientific Activa, Mines St-Etienne) des dépôts limoneux-silteux du méplat du Mourre de la Tour.

█	20 Terrasse
█	PDF 00-046-1045 SiO ₂ Quartz, syn
█	PDF 01-089-6424 Na(AlSi ₃ O ₈) Albite
█	PDF 01-071-0957 K ₄ Al ₄ Si ₁₂ O ₃₂ Orthoclase
█	PDF 01-073-9858 K _{0.92} Na _{0.08} Al _{1.78} Fe _{0.22} (Al _{0.82} Si _{3.18} O ₁₀)(OH) _{1.85} O _{0.08} F _{0.07} Muscovite-2M1, Fe+3-bearing
█	PDF 00-052-1044 (Mg,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈ Chlorite-serpentine (NR)
█	PDF 00-023-0603 (Na,Ca) ₂ (Mg,Mn,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂ Richterite, Mn+2-bearing
█	21 Maya
█	PDF 00-046-1045 SiO ₂ Quartz, syn
█	PDF 01-089-6424 Na(AlSi ₃ O ₈) Albite
█	PDF 01-071-0957 K ₄ Al ₄ Si ₁₂ O ₃₂ Orthoclase
█	PDF 01-073-9858 K _{0.92} Na _{0.08} Al _{1.78} Fe _{0.22} (Al _{0.82} Si _{3.18} O ₁₀)(OH) _{1.85} O _{0.08} F _{0.07} Muscovite-2M1, Fe+3-bearing
█	PDF 00-052-1044 (Mg,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈ Chlorite-serpentine (NR)
█	PDF 00-023-0603 (Na,Ca) ₂ (Mg,Mn,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂ Richterite, Mn+2-bearing

Tab.2 - Résultats de DRX (Bruker D8 Advance, Mines St-Etienne) des échantillons des placages limono-silteux des sites de la Terrasse et de Maya montrent une association de minéraux tels que la chlorite-serpentine et la richtérite due à une altération hydrothermale de roches volcaniques ophiolitiques.

Ces produits ultimes remobilisés par les courants fluviaux correspondent à des barres de méandre couplées à une accrétion latérale: ils reposent sur des méplats et replats structuraux et indiquent les différentes phases d'évolution de la rivière à cette période.

L'ensemble de ces zones, malgré l'absence de galets et graviers, montre des étapes de dépôts puis de creusements au sein même du canyon en cours d'évolution. Ces matériaux détritiques se retrouvent dans certaines cavités proximales ou au droit des falaises.

La conséquence de ces abandons peut être raccordée à l'établissement des petites surfaces d'aplanissement avec des dépressions présentes en amont des gorges de l'Ardèche au Devès de Virac et à Labastide de Virac en z1 ou bien au SO de la plaine de Malbosc en z2.

L'amplification de la compression alpine au Burdigalien occasionne une surrection générale suivie d'une importante activité volcanique du Massif Central. Les conséquences sont la reprise des failles sub-verticales NNE-SSO et ONO-ESE du plateau calcaire ardéchois pouvant avoir une incidence de réajustement de l'axe N120 de la vallée de l'Ardèche.

Ces déformations régionales et la chute du niveau marin à l'interface Burdigalien/Langhien déclenchent la seconde incision du canyon de l'Ardèche.

Suite à ces événements, l'emboîtement de ce second réseau rhodanien qui est estimé à plus de 300 mètres (Besson et al, 2002) dans le secteur de Pujaut déblaie par contre coup, les molasses burdigaliennes au niveau de la ria de la Bruguière, à l'aval de la Cèze et de la région de St Restitut.

La reprise prorogée du creusement de l'Ardèche évacue en premier lieu des dépôts alluviaux déposés dans le premier canyon pendant l'épisode transgressif burdigalien puis va s'emboîter au droit de ce dernier dans les calcaires urgoniens.

Pour la z2 endokarstique, ces repères correspondent à la mise en place des conduits souterrains verticaux en rive gauche de l'Ardèche dans les cavités de l'Anniversaire, Marzal, Faux Marzal, Centura, Reynaud, Richard ou Varade et en rive droite dans les avens des Neuf Gorges et de la Terrasse, avec des entrées se situées entre les cotes altitudinales 350 -330m.NGF.

A l'altitude moyenne de 310m.NGF, les avens de Chenivresse, Costes Chaudes, Gauthier, Cadet et Courtinen (fig.5) présentent des morphologies assez similaires mais de moindre importance.

L'écart entre ces deux hauteurs laisse supposer la poursuite de l'affaissement amorcé à l'Oligocène du panneau délimité par les failles de Barjac-Marsanne et celles de la plaine de Malbosc suite à des réajustements structuraux post burdigaliens.

Les premières phases de battement phréatique et d'enfoncement s'illustrent par les coupoles de dissolution et chenaux de voute bien visibles dans l'aven Marzal à partir de 330 m.NGF. Pour les autres cavités citées, ces décalages morphologiques, plus ou moins visibles, varient de ± 20 mètres.

Cette première enfonçure est d'environ 100 mètres (330-230 m.NGF) et peut être définie en deux étapes:

1 - une forte baisse du gradient hydraulique d'environ 50 mètres, liée mais de façon différée à celle de la rivière, générant des puits de gros diamètre.

2 - une seconde phase de 50 mètres de dénivelé conduisant à la formation de drains inclinés et de puits parallèles entrecoupés par des paliers ou des portions de galerie.

Le premier stade d'enfoncement de l'Ardèche la calerait à la cote actuelle de 280 m; ce qui peut correspondre au replat de l'aven de la Terrasse, à la grande dépression à l'ouest de Malbosc (z2) et aux dolines du Devès de Virac (z1) situées à l'amont du canyon.

Le stade suivant indique une décélération des flux hydrauliques vraisemblablement due au réchauffement climatique amorcé au Miocène moyen suivi des premiers termes transgressifs du Langhien visibles dans le sillon rhodanien et la ria de la Bruguière tandis que l'Ardèche voit le début d'une accumulation de matériaux issus de l'amont de son bassin versant.

Cette récession du creusement suivi d'une reprise de la sédimentation correspond à une gradation régressive mais lente telle que celle mise en évidence au regard de la série des Baumes Obscures qui se développent aux cotes altimétriques comprises entre 250 et 220 m., à la limite des calcaires du Barrémien supérieur/Aptien basal.(Jolivet et *al.*,2021).

En tenant compte des critères formulés précédents, la surface d'abandon burdigalienne se calerait autour des lignes isohypses actuelles de 250 m.

5 - Miocène moyen - supérieur:

Deux cycles de haut niveau marin se suivent au Langhien puis Serravallien et sont calibrés à + 150 mètres suivant la charte eustatique (Haq et *al.*,1987).

Ces nouvelles transgressions marines ennoient la vallée du Rhône, d'abord de moindre intensité au Langhien. Leurs termes sédimentaires sont visibles à l'Ouest de St Restitut (Z 280 m.) et comparables aux molasses de Grignan dans la Drôme. Pour la région de la Cèze, le Langhien inférieur et le Langhien moyen (inédit) sont présents dans la ria de la Bruguière respectivement aux cotes altitudinale de 210 et 285 mètres donnant ainsi un âge relatif à la surface d'aplanissement des Garrigues septentrionales du Gard. Ils n'ont pas été observés dans la vallée de la Cèze.

Les dépôts langhiens indiquent un niveau maximum d'inondation qui devait être 35 mètres plus élevé par rapport au Burdigalien (Clauzon, 1990) soumis à une forte influence tectonique.

Le rehaussement du niveau de base de l'Ardèche, dont l'embouchure devait alors se situer bien plus à l'Est dans la région de Cairanne, entraîne un changement morphologique des conduits souterrains en formes obliques, crantées ou horizontales plus ou moins colmatées et avec parfois des modelés de creusement *per-ascensum*. Ces observations sont visibles aux cotes altimétriques comprises entre 280 et 220 m.NGF en tenant compte de la réactivation tectonique des structures au Miocène supérieur.

Ces systèmes karstiques révèlent une genèse polyphasée. La morphologie des drains tant verticaux qu'horizontaux dépend aussi d'une évolution *per-descensum*. Ces étapes cycliques d'évolution sont fortement inféodées aux caractéristiques géologiques régionales dont dépendent les positions des niveaux de base entraînant des interactions entre l'eau de la rivière et celle du karst.

Cependant, beaucoup de formes pariétales ont été effacées par la dissolution de leur surface ou par le rééquilibrage des conduits sous l'effet des contraintes exercées sur les masses carbonatées.

Ces configurations illustrent ce changement dans les puits inclinés des avens de Faux Marzal, les puits parallèles de Vigne-Close, les galeries et premiers puits crantés de l'aven de Rochas et enfin des cavités de la Terrasse et des Neuf Gorges en rive droite où il y a un ralentissement de la spéléogénèse.

Les dépôts serravalliens plus conséquents atteignent une épaisseur supérieure à 500 m. au NE de Grignan mais sont absents à l'Ouest de la vallée du Rhône comme dans la ria de la Bruguière et la vallée de la Cèze.

Cette déficience sédimentaire n'est pas attribuable à l'eustatisme mais à la tectonique (Clauzon, 1990). Il y a donc eu surrection de la bordure Ouest du bassin rhodanien antérieure à la transgression serravallienne (Rubino et *al.*, 1990) indiquant la continuité de la compression du BRMP sur le massif ardéchois et contribuant à ses déformations ainsi qu'à la poursuite des compartimentages par mouvements verticaux.

Une seconde phase compressive au Serravallien supérieur va accentuer une réactivation des failles NE-SO au sein du bassin de Valréas.

L'interface serravallo-tortonienne indique une forte régression marine d'après la charte eustatique (Haq et *al.*,1987; Ronov ,1994) situant son niveau à ± 60 mètres. La compression alpine NE-SO qui va atteindre son paroxysme durant le Miocène terminal, affecte le couloir rhodanien. Ces périodes sont absentes dans la ria de la Bruguières et la vallée de la Cèze.

Dans la région de Nyons, les conglomérats éponymes (Mandier, 1988) montrent une violente arrivée fluviale d'origine alpine que l'on retrouve aussi en bordure de la vallée de l'Eygues au niveau de Villedieu (forage DVL1). Cette incision évaluée à 60 mètres (Debelmas et *al.*, 2004) participe à une réorganisation de nouvelles vallées et à la création de bassins versants influencés par la tectonique.

A ces mêmes époques, une surrection du socle des Cévennes et des Garrigues induite par une réactivation tectonique provoque un soulèvement des surfaces (Séranne et *al.*, 2002) dont celles des masses carbonatées du Bas Vivarais favorisant une reprise de l'incision du réseau hydrographique en amont de la z2.

Ces déformations réactivent les failles sub-verticales NNE et ENE avec pour effet la poursuite de l'affaissement du panneau de St Remèze ainsi que de la z3, occasionnée par le réajustement du graben rhodanien et pouvant avoir une nouvelle fois une incidence de réajustement sur l'axe N120 de la vallée de l'Ardèche.

Ces évènements se répercutent sur le système fluvial de l'Ardèche au sein de la z2 entre les cotes de niveau actuelles 200-140 mètres ajustant ainsi son profil d'équilibre avec une karstification profonde qui peut correspondre à l'enfoncement de la seconde série des puits de Faux Marzal, de Rochas, de la Madeleine ou de Vigne-Close et de Noël pour la z3.

6 - Miocène supérieur:

Au Miocène supérieur, un système fluvio-lacustre se met en place (Demarcq, 1970). Toujours sous le contrôle de l'instabilité alpine et régionale, une importante structuration permet l'accumulation des sédiments continentaux sur une centaine de mètres d'épaisseur qui va perdurer jusqu'au Messinien.

Cette aggradation générale peut avoir pour corollaire une reprise de creusement *per-ascensum* dans les verticalités développées au Serravallien-Tortonien dans l'endokarst des z2 et 3. Elle se concrétise (i) par des agencements et/ou évidages de galeries comme à Madeleine, (ii) par des puits inclinés comme à Faux Marzal, la seconde série de puits parallèles à Vigne-Close et Rochas, (iii) ou bien un "réalésage" comme sur le second puits de l'aven de Noël (fig.4). Ainsi, sous conditions tropicales à subtropicales humides, l'énergie hydrodynamique de cette période voit l'émergence d'une spéléogénèse spécifique avec le développement de grandes galeries étagées dans certaines cavités comme Madeleine et Rochas qui se poursuivra jusqu'à la première phase d'enfoncement messinienne.

La crise de salinité messinienne (CSM) provoquée par la chute d'eau du niveau de la Méditerranée se déroule en deux étapes. D'après la courbe eustatique (Haq et *al.*, 1987) le niveau marin se situait à +50m.

La première baisse de niveau est modeste, aux alentours de 150 mètres, et a duré environ 400 ka. (Suc et *al.*, 2019) alors que le second épisode beaucoup plus court et intense d'une période comprise entre 50 et 100 ka., avec un abaissement total du plan d'eau de 1500 m (Beaudoin et *al.*, 1997).

Ainsi, le profil du canyon messinien du Rhône montre deux phases d'érosions régressives (Gargani, 2004), la dernière phase atteignant 236mètres au droit de Pierrelatte (Beaudoin et *al.*, 1997).

Le couloir rhodanien se déplace alors sur l'axe Pierrelatte-Mondragon se décalant de celui du secteur de Cairannes incisé lors de l'épisode Serravallien-Tortonien.

L'impact géographique du premier stade de creusement semble limité: il est peu identifié dans la vallée du Rhône sauf dans la vallée de la Durance (Hyppolyte, 2020).

L'axe hydrographique du Rhône proche du plateau calcaire ardéchois suppose une reprise du creusement de la rivière Ardèche avec un gradient hydrodynamique soumis à des conditions subtropicales humides. Cependant il est insuffisant au niveau du phréatique karstique qui amorce une spéléogénèse spécifique de drains horizontaux représentés par les galeries fossiles à semi-noyées inférieures du système de Rochas - Midroï - Guigonne ou celui de St Marcel-Noël en z3 étagées et reliées par des puits de liaison (fig.4).

Par rapport à l'embouchure du Rhône, l'érosion régressive est d'environ 8 km pour l'Ardèche tandis qu'elle atteint 25 km pour la Cèze.

Ainsi une incision modérée d'environ 100 mètres de l'Ardèche peut être perçue en comparaison du réseau de drains souterrains de St Marcel, aux cotes altitudinales comprises entre 160 et 60 m.NGF.

Plus en amont, les galeries noyées à semi noyées des sources du Platane, de Guigonne ou de Deloly (fig.4) ou pour la Cèze, celle de Marnade peuvent se rattacher à l'interface des deux stades d'évolution de l'événement messinien.

La deuxième phase d'incision correspond au maximum du dessèchement de la Méditerranée lié entre autre au climat glaciaire du Messinien avec un déficit en eau des niveaux de base locaux et régionaux.

Cet évènement va provoquer des déformations verticales dues à un déséquilibre isostatique (Gargani, 2004), le Massif Central continuant son rehaussement sous l'effet de l'activité volcanique (Dèzes et *al.*, 2004).

Une karstification profonde s'installe au détriment de l'érosion de surface (Ambert et *al.*, 1998) et développe des karst noyés à drains verticaux à proximité de la vallée du Rhône comme les gouls de Tourne (-135 m.NGF) et de la Tannerie (-190 m.NGF) à Bourg St Andéol (hors carte) ou pour l'Ardèche aval au terminus actuel de la galerie de la source de l'Ecluse (-60 m.NGF). Pour la Cèze, la référence est la source de Marnade (hors carte) dont le point bas actuel se situe à la sortie du canyon, la cote altitudinale étant de -60m. NGF.

Toutefois, malgré la chute drastique du niveau marin, la présence de galeries ou portions d'horizontalité noyées aux altitudes de -60m.NGF à Marnade, de -10m.NGF à l'Ecluse, de - 60m. et -190 m.NGF au goul de la Tannerie montre des enfoncements par paliers liés à la seconde phase d'incision ou bien un fort ralentissement de circulation des flux lors de l'épisode pliocène.

7 - Pliocène:

Le retour brutal de la mer Méditerranée à son niveau haut voit ses cortèges sédimentaires remblayer le canyon rhodanien ainsi que ces affluents créant des rias marines. La charte eustatique situe le niveau du pliocène marin à + 80m. (Haq et al.,1987).

La pénétration de la mer avec ses corps sédimentaires remonte théoriquement en amont de chaque canyon d'une hauteur d'environ 150 mètres.

Les soubresauts des contraintes alpines doivent être mis en relation avec un exhaussement différentiel du prisme sédimentaire du Pliocène marin (Pm) dont les dépôts sont présents à la sortie des gorges de l'Ardèche au niveau de St Martin d'Ardèche, le mur de ces dépôts se calant à 50m.NGF. Au nord du village, sur le socle calcaire du Bédoulien inférieur, le Pm se retrouve à partir de 145 m.NGF et son toit à 160 m.NGF.

Il est couronné par les dépôts du Pliocène continental (Pc) à 170m.NGF, composés de galets siliceux emballés dans des argiles pliocènes qui peuvent être assimilés à des topset bed.

Cette surface déformée et soulevée se positionne entre deux fractures NO-SE: cela conforte l'image de l'instabilité tectonique qui peut correspondre à l'ajustement isostatique dont le soulèvement serait ici de l'ordre de 90 mètres ou/et à des agencements de structures en distension NE-SO, surtout en bordure ouest de la vallée du Rhône.

Les sondages (données Banque de données du Sous-Sol (BSS)) révèlent que le toit sédimentaire du Pm est plus haut en rive gauche (de 110 à 78 m.NGF) qu'en rive droite (de 42 à 39 m.NGF) de l'Ardèche aval.

Pour la Cèze à St André de Roquepertuis, le Pm se positionne à 100 m.NGF et le Pc à 150 m.NGF avec des galets calcaires mêlés à des graviers quartzeux alors que pour St Restitut, le Pm se trouve à l'altitude de 100 m.NGF, le mur du Pc se situant à 280m.NGF avec principalement des quartzites alpins.

Les différences altimétriques de ces dépôts montrent une instabilité due aux soubresauts de la contrainte alpine post-pliocène.

L'ensemble de ces contraintes entraîne une aggradation des dépôts alluviaux dans le canyon provoquant des remontées successives du niveau de base régional et local.

Les eaux karstiques envahissent les galeries fossiles déjà formées durant l'incision de la première phase messinienne comme c'est le cas dans les réseaux bas de Rochas -Midroï - Guigonne en z2 ou de St Marcel et du bas de l'aven Noël en z3.

Une désorganisation spatiale du phréatique karstique s'instaure aussi bien dans les orientations d'écoulement que dans le rehaussement global modifiant la morphologie des drains ce qui interroge sur le fonctionnement hydrologique du système. En effet, les formes de parois telles que les coupoles de dissolution, les cupules d'érosion ou les cannelures de ressuie ne pouvant expliquer les divers sens de circulation durant ces périodes.

La composition des marnes et argiles sableuses (Pm) et des alluvions fluviales (Pc) ne permettent pas au cours de leur dépôt, une isolation totale entre l'eau de la rivière et celle du karst. Ces échanges continuent d'exister tout en tamponnant les flux entre ces deux entités ce qui contribue à la complexité du fonctionnement des drains.

Seules les formes diverses des coups de gouges pourraient apporter, après de plus amples études, des précisions sur certains niveaux piézométriques ou sens et vitesses de courant à cette époque.

Durant le Quaternaire, un soulèvement de l'ordre de 120 mètres apparaît de part et d'autre de la vallée du Rhône suite à la tectonique post néogène qui affecte la bordure cévenole accélérant les phases successives de creusement dans les terrains pliocènes, le bed-rock Barrémo-Aptien du lit de l'Ardèche ainsi que le processus de recharge sédimentaire des rivières Ardèche et Cèze.

Un rehaussement s'est généralisé pour atteindre les altitudes actuelles (Mandier, 1988) et aboutir progressivement la géographie actuelle de la région.

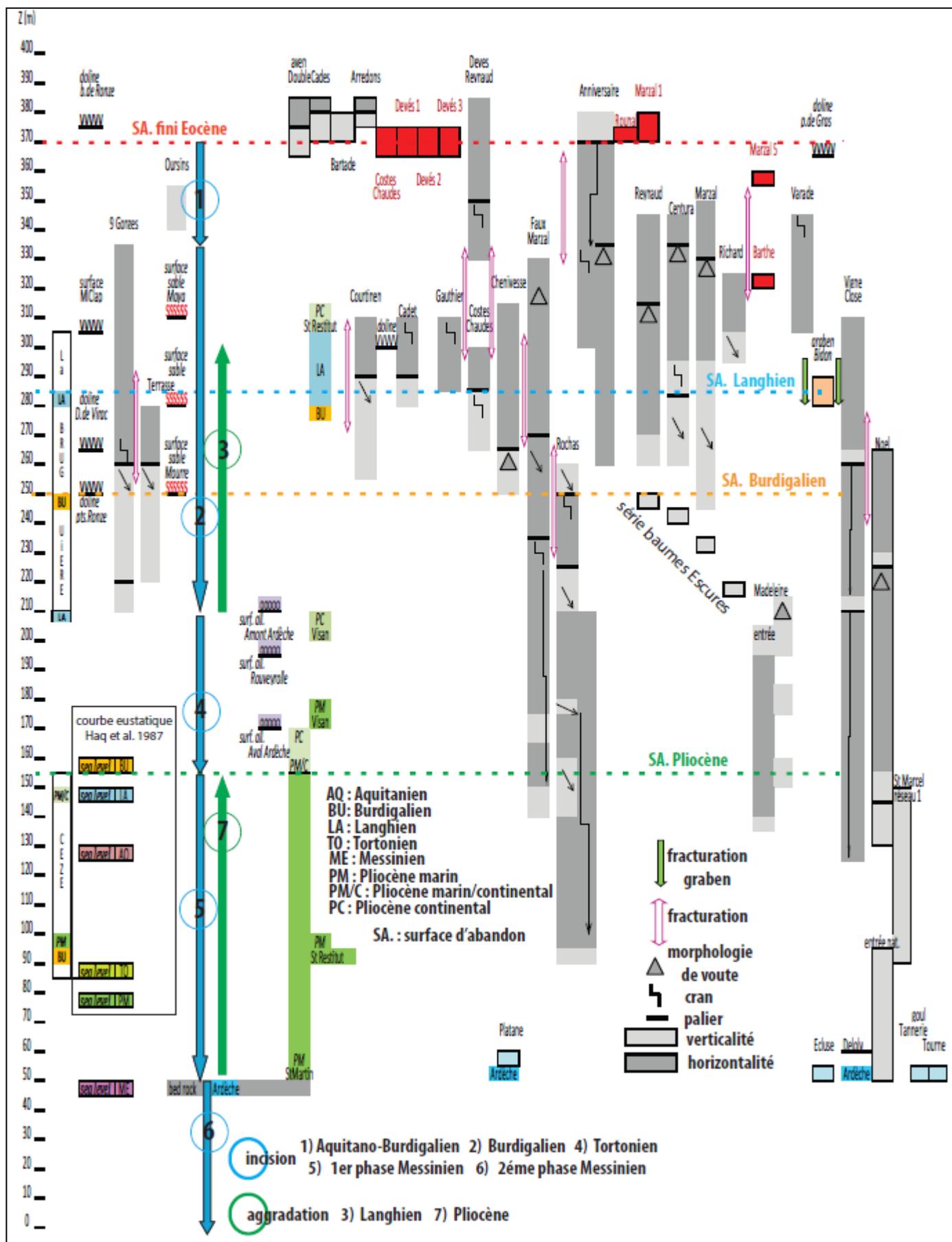


fig. 4 - Récapitulatif du positionnement des cavités majeures des zones 2 et 3 par rapport aux différentes phases d'enfoncement de la rivière Ardèche au cours du Miocène.

8 - Les remplissages:

Seuls les sédiments pliocènes sont présents à l'entrée des gorges de l'Ardèche, les autres termes du Miocène n'ont pas été observés sur les plateaux et dans le canyon.

Dans l'endokarst, la mobilisation des stocks tant argileux que gréseux, contenant des traces de volcanisme, de faunes et de microfaunes ou de radionucléides cosmogéniques n'autorise pas la datation des terrains et des cavités. (Jolivet et al, 2023).

Un important diachronisme existe bien entre l'âge d'enfouissement des sédiments dans les vides karstiques et leur temps de résidence sur la plate-forme carbonatée.

Les datations cosmogéniques réalisées aux différentes altimétries dans les cavités du plateau de St Remèze (Mocochain, 2007, Tassy et al., 2013, Macles et al., 2022) sont révélatrice d'un processus stochastique des dépôts comme le confirment les analyses géochimiques et de diffractométrie réalisées pour cette étude (tab.3 à 6). Ces résultats font apparaître sur de longues périodes, des homogénéisations de dépôts au sein du milieu souterrain. Les sédiments éocènes n'ont pas été totalement évacués et sont encore présent aujourd'hui.

Ce bilan infirme ainsi une gradation d'âge concernant le fonctionnement et la formation des cavernes.

Site	Argile	SiO2 %	Al2O3 %	CaO %	Fe2O3 %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	TiO2 %	Altération %	Lixiviation %	Transition ppm	Si/Al %	Ba ppm
gr. Bartade	370 NGF	60,4	17,2	1,3	9,1	0,8	0,8	0,2	0,1	0,2	1,4	88	0,1	616	4	152
aven Marzal	275 NGF	77,9	12,5	1,0	4,5	1,7	0,9	0,0	0,2	0,0	0,9	81	2,1	505	6	250
gr.de la Madeleine	190 NGF	66,7	14,1	0,9	6,0	2,2	0,8	0,1	0,2	0,2	0,8	81	2,1	404	5	350
aven Noël	170 NGF	62,9	15,4	1,5	6,9	1,6	0,8	0,2	0,1	0,1	1,1	82	2,5	476	4	265
gr.de St Marcel	150 NGF	72,8	15,6	1,1	6,1	2,1	0,9	0,1	0,2	0,0	1,0	82	2,4	459	5	366

Tab.3 - Résultats géochimiques des échantillons de placages argileux appartenant à l'Eocène inférieur et prélevés à différentes altimétries dans les cavités rive gauche de l'Ardèche.

PDF 00-046-1045	SiO2 Quartz, syn
PDF 00-058-2035	KAl2(Si,Al)4O10(OH)2 Muscovite-2M1
PDF 04-013-2154	Mg2.68Fe0.48Al1.44Si2.72O10(OH)2(H2O)4.32 Vermiculite
PDF 00-021-1276	TiO2 Rutile, syn
PDF 04-005-4630	Fe2O3 Hematite, syn
PDF 00-003-0195	MgFeSiO4 Olivine
PDF 04-013-2815	Al2Si2O5(OH)4 Kaolinite-1A
PDF 00-021-1272	TiO2 Anatase, syn

Tab.4 - Diffraction X réalisée sur un placage argileux à 275 m.NGF dans l'aven Marzal. La présence de vermiculite indique une hydratation de minéraux basaltiques. Présence d'olivine.

26 Mad	
PDF 00-046-1045	SiO2 Quartz, syn
PDF 01-071-0957	K4Al4Si12O32 Orthoclase
PDF 01-073-9858	K0.92Na0.08Al1.78Fe0.22(Al0.82Si3.18O10)(OH)1.85O0.08F0.07 Muscovite-2M1, Fe+3-bearing
PDF 00-055-0995	LiFeTiO4 Lithium Iron Titanium Oxide
PDF 00-021-1272	TiO2 Anatase, syn
PDF 04-013-2815	Al2Si2O5(OH)4 Kaolinite-1A
PDF 00-047-1743	CaCO3 Calcite
PDF 01-084-8280	FeOOH Goethite

Tab.5 - Diffraction X réalisée sur un placage argileux à 190 m.NGF dans la grotte de la Madeleine.

022 St Marc	
PDF 00-046-1045	SiO2 Quartz, syn
PDF 01-071-0957	K4Al4Si12O32 Orthoclase
PDF 01-073-9858	K0.92Na0.08Al1.78Fe0.22(Al0.82Si3.18O10)(OH)1.85O0.08F0.07 Muscovite-2M1, Fe+3-bearing
PDF 04-025-0051	K17.5Al17.5Si30.5O96 Potassium Aluminum Silicate
PDF 00-055-0995	LiFeTiO4 Lithium Iron Titanium Oxide
PDF 00-021-1272	TiO2 Anatase, syn

Tab.6 - Diffraction X réalisée sur un placage argileux à 160 m.NGF dans la grotte de Saint Marcel. La présence Li - Fe et d'Oxyde de Ti indiquerait une provenance de zones hydrothermales.

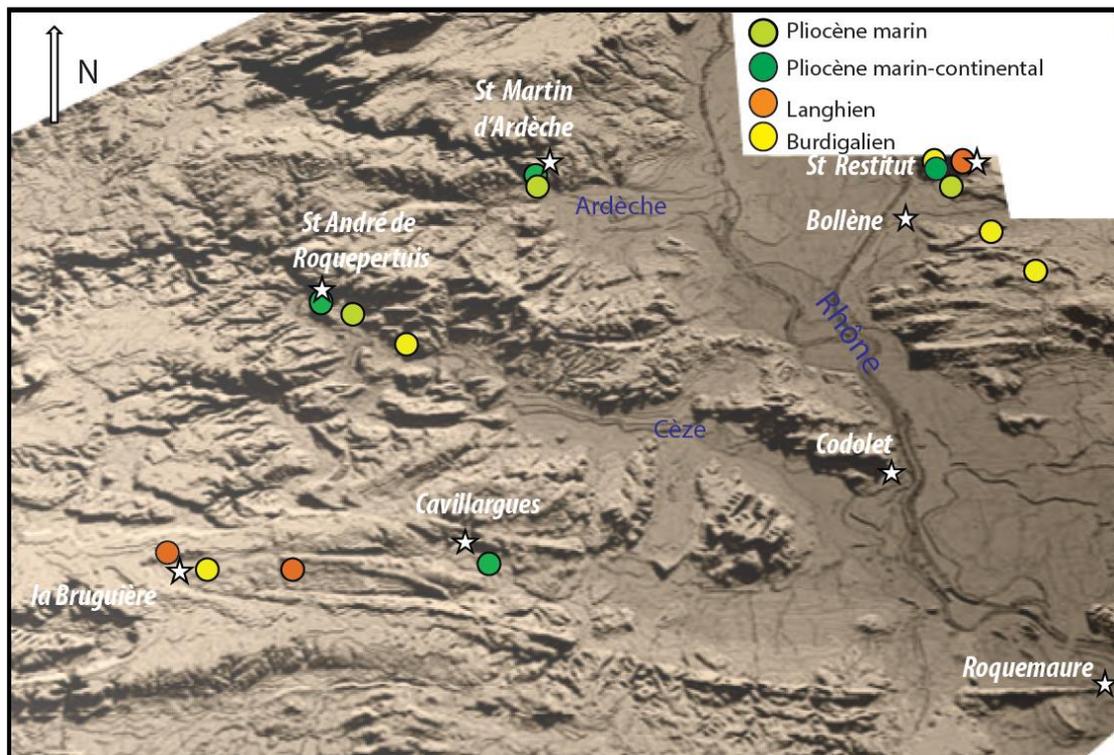


fig. 5 - Dépôts extérieurs régionaux du Néogène encadrant le site des gorges de l'Ardèche

9 - Conclusion:

Il est difficile d'estimer la surélévation des plateaux calcaires périphérique du canyon de l'Ardèche du fait des divers cycles d'érosion. Néanmoins, il est possible d'affirmer qu'il n'y a pas de corrélation entre les paléo-niveaux eustatiques et les dépôts actuels du Néogène.

Le soulèvement des sédiments langhiens et pliocène peuvent apporter une estimation incomplète de l'ordre de 200 mètres à minima dans cette partie ouest de la vallée du Rhône.

L'organisation spatiale des divers drains karstiques et leur relation avec l'enfoncement du canyon de l'Ardèche ne peut être envisagée qu'à condition de tenir compte de la géodynamique subie par la masse carbonatée au cours du Néogène complétée par les événements eustatiques et paléoclimatiques.

Cette évolution karstogénétique, qui peut se concevoir sous forme "d'analogue" ne peut être abordée qu'à travers une approche chronologique de l'évolution géologique depuis la fin du Crétacé inférieur jusqu'au Pliocène.

Cependant la mise en place la plus visible et la plus lisible de cette karstogénèse ardéchoise a lieu pendant le Néogène et non pendant l'intervalle messino-pliocène; même si ce dernier revêt un aspect important pendant la Crise Messinienne qui fait l'objet depuis de nombreuses années, de débats passionnés et houleux encore loin d'atteindre leur épilogue. (Suc, 2015)

Le canevas structural développe des failles majeures de directions préférentielles NNE-SSO à ENE-OSO et NO-SE. En rive gauche de l'Ardèche, la grande majorité des cavités retenues pour cette étude s'établit sur des discontinuités verticales d'orientation générale NO-SE contrairement à celles NE-SO situées en rive droite.

Pour le plateau de St Remèze-Bidon et sa partie orientale (z2 et z3), l'orientation et le paléo-gradient d'écoulement depuis la zone de recharge ont eu pour résultante de la restitution des eaux, un vecteur préférentiel vers la vallée du Rhône pendant son édification a contrario de ceux NE-SO du plateau du bois de Ronze-le Garn orientés vers la rivière Ardèche (flèches bleues de la figure 2).

Les récessions et les relèvements des niveaux phréatiques souterrains correspondent à des gradations ascendantes ou descendantes contraintes dans leurs aquifères. Elles ont toutefois différé dans le temps et l'espace de celles des niveaux de base aériens.

Le fonctionnement actuel du réseau hydrologique du réseau de St Marcel en z3 montre que les courbes de tarissement diffèrent entre le réseau de fracturations NO-SE mettant en évidence des circulations provenant des eaux de l'Ardèche et celui NE-SO principalement marquées par les eaux karstiques du plateau calcaire sus jacent (Cailhol, 2016).

Cette organisation a peu varié depuis la fin du Paléogène.

10 - Conclusion générale:

Le premier article "La paléogéographie du canyon de l'Ardèche du Crétacé inférieur à l'Oligocène" (Jolivet et al, 2022) portait sur les tectoniques de compression et de distension depuis le Trias avec leurs dynamiques et leurs cinématiques responsables des déformations structurales du socle barrémien-aptien qui ont favorisées des agencements géographiques majeurs tels que le sillon d'Alès et du Rhône, le synclinal d'Issirac et l'axe de la paléo-Ardèche.

Les déformations que subissent les calcaires de la fin du Crétacé inférieur sous l'effet des diverses compactions des couvertures du Crétacé supérieur et du Paléogène correspondent à des subsidences auxquelles s'ajoutent la poursuite de la tectogenèse et des phases eustatiques de ces dernières époques.

Ces paléo couvertures ont contribué à l'organisation de circulations fluviales passant d'une direction générale NE-SO à NO-SE

Le second article "Evolution karstique de l'anticlinal de Saint Remèze durant le Paléogène (Ardèche - France)" (Jolivet et al, 2023) a permis de préciser le réseau de drainage et une spéléogénèse qui se mettent en place dès la fin du Paléogène à partir de la zone centrale arasée du plateau de St Remèze.

Ce dernier article permet d'approfondir les connaissances sur la formation du canyon de la rivière Ardèche et sur l'évolution endokarstique des massifs urgoniens se situant à proximité pendant le Miocène.

Remerciements:

A Olivier Valfort (Mines St Etienne) pour les analyses de DRX.

A Christian DUMAS, Raphaël BENINI et Olivier PEYRONEL pour leur aide et leur connaissance du terrain.

Bibliographie:

Ambert P., Philip H. & Ritz J.F. (1998) - *Commentaires à la note de R. Lacassin, B. Meyer, L. Benedetti, R. Armijo et P. Tapponier* - C.R. Académie des Sciences, Paris, ser. D 327, p. 857-858

Beaudoin B., Accarie H., Berger E., Brulhet J., Cojan I., Haccard D., Mercier D., Mouroux B. (1997) - Caractérisation de la "crise messinienne" et de la reinondation pliocène. - *Géologie CG.10*, p. 27-28

Besson D., Clauzon G., Coueffé R., Dexcoté Y., Ferry S., Jimenez Moreno G., Parize O., Rubino J.L., Suc J.P., Tessier B. (2002a) - Le Néogène du bassin d'avant pays rhodano-provençal - Livret-guide d'excursion, Congrès "Strati 2002", 162 p. Société géologique de France.

Besson D. (2005) - Architecture du bassin rhodano-provençal miocène (Alpes, SE France). Relations entre déformation, physiographie et sédimentation dans un bassin molassique d'avant-pays. Thèse de doctorat de l'École des Mines de Paris, 364 p.

Blum M.D., Toomey R.S.III, Valastro S.Jr., (1994) - Responses of fluvial systems to Late Quaternary climatic change, Edwards Plateau, Texas - *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*.

Briard J., (2020) - Expressions des grands changements paléoclimatiques au Cénozoïque (Transition Eocène-Oligocène "EOT"; Miocène moyen "MMCO, MMCT") en domaine côtier à partir de la géochimie des bivalves. Thèse, Université de Toulouse 3 - Paul Sabatier, 346 p.

CDS 07, (1966 à 2023) - *Bulletins du Comité Départemental de Spéléologie de l'Ardèche* - Edition CDS 07.

Cailhol D., (2016) - Le fonctionnement hydrologique du réseau de Saint-Marcel - Exploration, documentation et suivi des variations de hauteur et de température de l'eau - Comité Départemental de Spéléologie de l'Ardèche (19/05/2016)

Clauzon G., (1984) - Evolution géodynamique d'une montagne provençale et de son piémont : exemple du Lubéron (Vaucluse, France). *Montagnes et Piémonts*, Toulouse, R.G.P.S.O.

- Clauzon G. (1990) - Genèse et évolution du piémont néogène subalpin du Bas-Dauphiné, Valence - Vienne - Voreppe - 24 et septembre 1990 - Livret -guide du 3^{ème} du préforum national de géomorphologie - Géomorphologie, Aix en Provence, J.Vaudour p.71
- Debelmas J., Ballesio R., Brochier J-L., Fourneaux C., Moûtier L., Triat J-M (2004) - *Notice explicative de la feuille Valréas à 1/50 000* - Edition du BRGM, Service géologique national.
- Demarcq G., (1970) - *Etude stratigraphique du Miocène rhodanien* - Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de Paris, 257 p.
- Dèzes P, Schmid S.M., Ziegler P.A. (2004) - *Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere*. *Tectonophysics* 389, p.1-33
- Gargani J., (2004) - *Modeling of the erosion in the Rhone valley during the Messinian crisis (France)* - *Quaternary International* 121, p.13-22
- Gattacceca J. (2002) - Cinématique du bassin liguro-provençal entre 30 et 12 Ma. Implications géodynamiques. Thèse de Doct. Géologie E.N.S. des Mines de Paris. Mémoire Science Terre E.N.S. des Mines de Paris, 41, 299 p.
- Haq B.V., Hardenbol J., Vail P.R. (1987) - Chronology of fluctuating sea level since the Triassic. *Science* 235, p.1136-1167
- Hippolyte J.C., Suc J.P., Rubino J.L., et Do Couto D, (2020) - La Méditerranée s'assèche à la fin du Messinien. - In: Bouridey J. (coord) 2020 - La géologie des Bouches du Rhône, Roches et paysages remarquables, BRGM Edition, Orléans, p. 145-160
- Jolivet J., Van den Broeck E., Graillot D. (2020) - Evolution des altérites du Crétacé supérieur à l'Eocène depuis la surface continentale vers l'endokarst - Garrigues septentrionale du Gard et du sud Ardèche. *Karstologia* n°75, 2020, p. 7-16
- Jolivet J., Peuble S., Paran F., Gallice F., Van den Broeck E., Graillot D. (2022) - Paléogéographie du canyon de l'Ardèche du Crétacé inférieur à l'Oligocène: approches par la tectonique, la géomorphologie et la géochimie. HAL Id: emse-03710478, <https://hal.emse.ccsd.cnrs.fr/emse-03710478> - Bulletin Nature-Témoin (2022) : L'image témoin des grottes et des paysages, p.36 à 47
- Jolivet J., Peuble S., Van den Broeck E., Gallice F., Graillot D., (2021) -Rôle de l'Urgonien dans la morphologie des formes pariétales en milieu endokarstique - les banquettes-limites. - HAL Id: emse-03549633, <https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-03549633>
- Jolivet J., Peuble S., Van den Broeck E., Gallice F., Graillot D., (2023) - Evolution karstique de l'anticlinal de Saint Remèze durant le Paléogène (Ardèche - France) - HAL Id: emse-04021957, <https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-04021957>
- JOLIVET L., FACENNA C. (2000) - Mediterranean extension and the Africa-Eurasia collision - *Tectonics*, 19, 1095-1106
- Jolivet L., Augier R., Robin C., Suc J-P., Rouchy J-M. (2006) - Lithospheric-scale geodynamic context of the Messinian salinity crisis. *Sedimentary Geology*, 188 - 189, p. 9-33
- Lafarge D. (1978) - Etude géologique du plateau de Saint Remèze, Ardèche. Thèse 3e cycle, Université Claude Bernard, Lyon, 119 p., 52 fig., 3 pl.
- Lear C.H., Coxall H.K., Foster G.L., Lunt D.J., Mawbey E.M., Rosenthal Y, Sosdian S.M., Thomas E. et Wilson P.A. (2015) - Neogene ice volume and ocean temperatures: Insights from infaunal foraminiferal Mg/Ca paleothermometry. *Paleoceanography*, 30 (11), p. 1437-1454.
- Macles O., Vernant P., (2022) - Les paysages ardéchois. Héritage ancien ou histoire récente ?. *Bulletin SGA*, 12p.
- Mandier P. (1988) - Relief de la moyenne vallée du Rhône au tertiaire et au quaternaire - essai de synthèse paléogéographique. Thèse de doctorat Lyon 1, 3 tomes, 654 p.

Mocochain L., (2007) - Les manifestations géodynamiques externes et internes de la crise de salinité messinienne sur une plate-forme carbonatée méditerranéenne: Le karst de la Basse Ardèche (moyenne vallée du Rhône, France). Thèse de doctorat, Aix-Marseille 1, Université de Provence. 192 p.

Molliex S. (2009) - Caractérisation de la déformation tectonique récente en Provence (Sud-Est France). Thèse, Université Paul Cézanne, Fac. Sc.et Tech., 346 p.

Parize O., Besson D.& Rubino J.L. (2003) - Dans le bassin miocène rhodano-provençal, l'ampleur de l'érosion fluviale à la base du miocène moyen est-elle relevable d'une seule amplification tectonique ? - Publ. Assoc. Sedim. Fr., 38, p.384-385

Ronov A.B. (1994) - Phanerozoic transgressions and regressions on the continents; a quantitative approach based on areas flooded by sea and areas of marine and continental deposition. American Journal of Science 294, p.777-801

Rubino J.L., Lesueur J.L., Guy L. & Clauzon G., (1990) - Le Miocène inférieur et moyen du bassin rhodanien. Stratigraphie séquentielle et sédimentologie. - Livret-guide Excursion ASF, 67p. inédit

Ryan W.B.F., (2007) - Unique tectonique responses during the Messinian Salinity Crisis: Feedbacks from the loading of the crust by weight of brine, precipitates and detritus and the unloading from erosion. Colloque Géodynamique et paléogéographie de l'aire méditerranéenne au Mio-Pliocène: l'interférence eustatisme-tectonique., Villeurbanne mai 2008, p. 67-68.

Schumm S.A. & Ethridge F.G., (1994) - Origin, evolution and morphology of fluvial valleys, in B. Dalrymple, R. Boyd and B. Zaitlin (Eds.), Incised Valley System, Origin and Sedimentary Sequences - Soc. for Sed. Geol. (SEPM), Spc. Publ., 51, p.11-27

Séranne M., Camus H., Lucazeau F., Barbarand J., Quinif Y (2002) - Surrection et érosion polyphasées de la bordure cévenole. Un exemple de morphogenèse lente. Bull.Soc.Géol. de France, Vol. 173, T.2, p.97-112

Sissing W. (2001) - Tectonostratigraphy of the West Alpine Foreland: correlation of Tertiary sedimentary sequences, change in eustatic sea level and stress regimes. Tectonophysics 333, p.361-400

Suc J.P., (2015) - Quarante ans de débats autour des évaporites messiniennes de Méditerranée et la crise qui leur est associée. Un défi scientifique passionnant mais singulier et déroutant. - Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie (COFRHIGEO), Troisième série, t. XXX, 2016, n°1

Suc J.P., Saint Martin J.P., Saint Martin S., Popescu S.M., Fauquette S., (2019) - Evolution des environnements marins et continentaux depuis 23 Ma dans le domaine méditerranéen. - Géochronique, BRGM, 2019, hal-03037278

Suc J.P., Gorini C., Rabineau M., Popescu S.M., Leroux E., Bache F., DO Couto D., Melinte-Dobrinescu MC., Jolivet L., Gargani J., Loget N., Mocochain L., Pellen R., Hippolyte J.C., Le Strat P., Aslanian D., (2019) - La Crise de salinité messinienne - Géochronique, 151, p. 24-30. ISSN : 0292-8477

Tassy A., Mocochain L., Bellier O., Braucher R., Gattacceca J., Bourlès D. (2013) - Coupling cosmogenic dating and magnetostratigraphy to constrain the chronological evolution of peri-Mediterranean karsts during the Messinian and the Pliocene: Example of Ardeche Valley, Southern France. Geomorphology Volume 189, 1 May 2013, Pages 81-9