

Évolution paléogéographique et karstogénèse du bassin d'Issirac (Gard, France) du Crétacé supérieur au Miocène inférieur.

JOLIVET Joël ⁽¹⁾, CHAPUIS Hervé ⁽²⁾, RE-BAHUAUD Jordan ⁽²⁾, GRAILLOT Didier ⁽²⁾, GUY Bernard ⁽²⁾ et VAN DEN BROECK Erik ⁽³⁾

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

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

(3) Groupement Associatif des Spéléologues d'Ornac l'Aven, d'Issirac et de La Bastide de Virac (G.A.S.O.I.L.), Nature-Témoin Issirac

Courriels : joel.jolivet2@wanadoo.fr ; herve.chapuis@emse.fr ; jordan.re-bahuaud@emse.fr ;
graillet@emse.fr ; guy@emse.fr ; erik@speleo.tv

RÉSUMÉ : Depuis l'émersion de la plate-forme carbonatée du bassin du Sud-Est de la France à l'époque de l'Albien-Cénomani, un long processus de karstification complexe et polyphasé se met en place, sous les contraintes conjointes de la tectonique, de l'eustatisme et du climat.

Le bassin endoréique d'Issirac comprend des terrains allant du Crétacé à l'Éocène. Connecté au sillon d'Alès, il a été soumis à des variations eustatiques combinées à des écoulements provenant à la fois des Cévennes et vraisemblablement de l'endokarst en cours d'édification dans la plate-forme carbonatée régionale qui englobe le plateau de Méjannes-le-Clap, situé au nord du département du Gard, et l'interfluve Cèze-Ardèche.

Une karstogénèse s'instaure au Crétacé supérieur et au début du Paléogène. Elle est liée à l'installation d'un bassin et la formation d'une surface d'aplanissement où se déposent des sédiments remaniés dont il ne reste à ce jour que des reliquats.

Peu visible au niveau des formations du Paléocène et de l'Éocène du bassin d'Issirac, la karstogénèse laisse entrevoir dans les assises calcaires du Barrémien supérieur et de l'Aptien (Bédoulien), des indices de creusement dont les remplissages contiennent en forte proportion des altérites présentant de minéraux d'origine volcanique ou magmatique en provenance du Massif Central.

L'élaboration d'aquifères karstiques oriente des écoulements hypogés dirigés en premier lieu vers les niveaux de base successifs s'établissant dans le bassin endoréique au cours des mêmes périodes puis leurs accommodations au cours de l'Oligocène et du Miocène. Cette dynamique modèle des nouveaux façonnements endokarstiques de diverses ampleurs.

Les dernières observations géologiques *in situ* mettent en exergue un changement de direction progressif des écoulements hypogés passant ainsi des aggradations sédimentaires du niveau de base constitué par le bassin endoréique d'Issirac à des points bas successifs liés à l'enfoncement des cours d'eau de la Cèze et de l'Ardèche durant l'ère Cénozoïque.

MOTS CLÉS : Languedoc, bassin endoréique, karst polyphasé, surface d'aplanissement, altérite, aquifère, Crétacé, Paléogène, Oligocène, Miocène.

ABSTRACT : Since the emergence of the carbonated platform of the southeastern basin of France during the Albian-Cenomanian, a long process of complex polyphased karstification is being installed under joint influence of tectonics, eustatism and climate.

The endorheic basin of Issirac includes terrains from Cretaceous until Eocene age. Connected to the Alès groove, it has been undergoing eustatic variations combined with flows coming at the same time from the Cévennes and, apparently, from the installing endokarst in the regional carbonated platform englobing the plateau of Méjannes-le-Clap, located in the north of the Gard department, and the Cèze-Ardèche interfluvium.

These observations underline a karstogenesis going back to late Cretaceous and early Paleogene times, related to the installation of a basin in conjunction with a planation surface in and on which redesigned sediments have been deposited of which, at present time, only relics remain.

Nevertheless its poor visibility at the level of Paleocene and Eocene terrains of the Issirac basin, the karstogenesis permits to observe in the underlying limestone levels of the late Barrémian and Aptian (Bédoulian), indications of excavation whose infillings show strong proportions of alterites containing minerals of volcanic or magmatic origin coming from the Central Massif.

The development of karstic aquifers is orienting hypogeous drains towards successive base levels installing into the endorheic basin during the same periods, before their accommodations during Oligocene and Miocene times. This dynamic is modeling new endokarstic shaping of various gradations.

The most recent geological *in situ* observations are indicating a progressive inversion of hypogeous drains changing from sedimentary base level aggradations formed by the endorheic basin of Issirac towards those of successive low levels related to the incision of Cèze and Ardèche rivers during Cenozoic eras.

L'objectif de cet article est d'approfondir la connaissance de la karstogénèse en prenant en compte les découvertes récentes, comme celle du réseau des grottes de Massargues (E. VAN DEN BROECK *et al.* 2015), les nouvelles observations faites par les spéléologues dans les grottes d'Ornac et de Ronze ainsi que dans de petites cavités périphériques développées dans les calcaires du Bédoulien (Barrémien supérieur-Aptien).

oblitérées ou non par la couverture éocène du bassin d'Issirac. Ces nouvelles recherches apportent un éclairage nouveau sur leur évolution originelle.

En parallèle, l'interprétation de logs de forage et l'observation de coupes sur le terrain ont conduit à une connaissance plus affinée de la zone étudiée et une meilleure définition de la mise en place des surfaces d'érosion.

Enfin, une série d'analyses géochimiques et minéralogiques par diffraction X sur des sédiments exo et endo karstiques permettent d'interpréter d'une façon certes incomplète, les reliquats de dépôts de couverture du Paléogène.

L'ensemble de ces données initie une réflexion sur une spéléogénèse remontant au Paléogène, et donc soumise à la géodynamique du bassin, puis à sa mise en eau et à son comblement (dépôts des sédiments et leur diagenèse), cela dans le contexte d'une succession de mouvements eustatiques, de déformations des terrains liées à la tectonique et aux évolutions paléo-climatiques.

2 - DEVELOPPEMENT DU BASSIN D'ISSIRAC EN FONCTION DU CONTEXTE LITHOLOGIQUE, STRUCTURAL ET CLIMATIQUE.

2-1 - Période anté-Paléogène

Le bassin sédimentaire d'Issirac, positionné sur un axe est-ouest, jouxte perpendiculairement le fossé d'Alès, bien plus étendu et dont la structure est orientée NO-SE (Fig. 2).

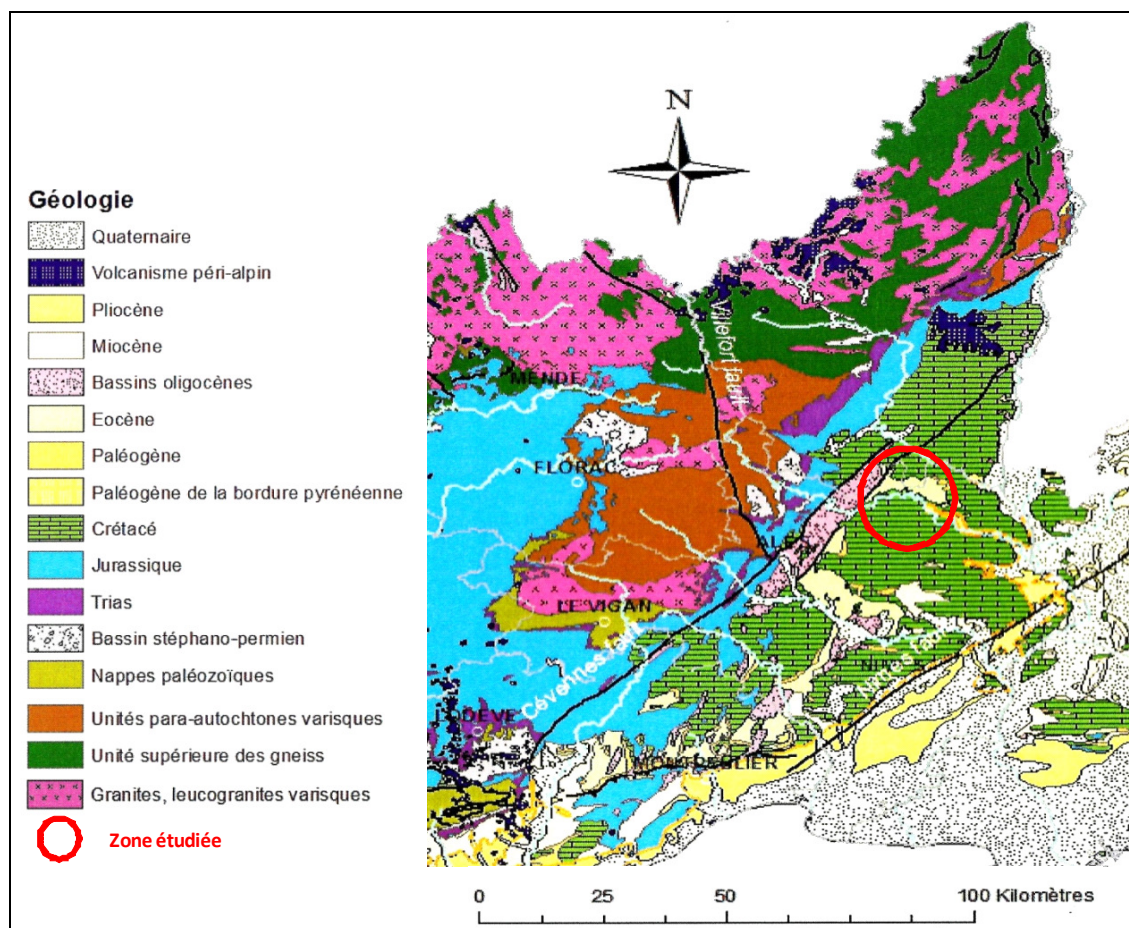


Figure 2 - Localisation de la zone étudiée. (d'après BRGM)

La mise en place de cette structure par déformation du socle paléozoïque résulte du paroxysme des phases tardi-hercyniennes responsables de grands décrochements et de failles d'orientation NNO-SSE à NO-SE.

La dislocation de la Pangée a généré une première phase de rifting au Trias et réactivé les accidents varisques N-NO accompagnés d'enfoncements successifs qui vont constituer le bassin sédimentaire du SE de la France délimité par la faille des Cévennes et celle de Nîmes (CURNELLE et al, 1986).

L'ouverture de l'Océan Atlantique et de la Thétys ligure au Jurassique inférieur a provoqué une forte sédimentation au centre de ces bassins, suivie, au Jurassique moyen, d'une subsidence accompagnée d'un autre

cycle sédimentaire. Au Jurassique supérieur, une phase distensive N110-120 crée un profond sillon : la Fosse Vocontienne.

C'est sur ce canevas structural que se déposent les sédiments du Crétacé inférieur suite à l'ouverture du golfe de Gascogne et au coulisement senestre de l'Ibérie. Les déformations décrochantes de l'Ibérie initient des phases compressives ENE-OSO provoquant l'émersion du bassin du sud est à l'Albien-Cénomani.

Ce contrôle distensif au nord du Gard et au sud de l'Ardèche correspond à une amplification du système extensif des bassins nord-pyrénéens dans le bassin du sud-est de la France due aux failles de transfert NE-SO issues du socle hercynien (failles des Cévennes et de Nîmes) permettant le glissement de larges blocs basculés délimités par les failles N110° de Sauzet et de Connaux, non visibles sur les cartes géologiques. (F. BASTIDE, 2014).

Les plissements provençaux précoces et la surrection de la structure est-ouest dite "isthme durancien" favorisent la transgression mésocrétacée qui envahit les bassins sédimentaires tels que le sillon d'Alès et celui du Rhône encadrant et pénétrant en partie la zone étudiée.

A cette surrection accompagnée d'érosion à l'Albien-Aptien, succède l'orogénèse Pyrénéenne qui participe à l'exhaussement du socle cévenol (M. SÉRANNE *et al*, 2002) et continue d'élever les masses carbonatées engendrant une importante karstification.

Ainsi la mise en place de cette architecture structurale et sédimentaire mésozoïque conditionne la géologie du Néogène.

2-2- Périodes du Paléocène - Eocène moyen:

2-2-1 - Structure et lithologie :

Le bassin d'Issirac résulte d'une géodynamique alpine fini-crétacée suivie de la compression pyrénéenne. Celle-ci donne lieu à une phase de déformation provoquant des plis de grande amplitude orientés est-ouest, et à la réactivation de failles listriques N90-N120 et sub-verticales cassantes N20-N60 liées aux accidents anciens du substratum paléozoïque et mésozoïque qui affectent le socle crétacé. Cette première phase compressive va perdurer jusqu'à l'Eocène supérieur et se développer selon un axe général Barjac - La Roque-sur-Cèze.

Le bassin est bordé, au nord-est, par l'interfluve barrémo-aptien (Bédoulien) entre la Cèze et l'Ardèche marqué par la structure plissée du bois de Ronze et au sud-ouest, par le plateau calcaire du Crétacé inférieur des Garrigues de Méjannes-Clap présentant un anticlinal à axe nord-sud dont le flanc ouest s'incline vers la zone de subsidence du bassin d'Issirac. Au centre de cet agencement se fixe le synclinal de Cornillon à ossature turonienne.

Cette configuration permet la formation d'un bassin endoréique soumis à des variations eustatiques entrecoupées d'assèchements (P.J. COMBE *et al*, 2007) et de périodes alternées de sédimentation marine et détritique remaniant des matériaux siliceux provenant de l'altération du socle paléozoïque et mésozoïque cévenol.

Les dépôts du Paléocène-Eocène inférieur se retrouvent au nord du bassin, sur une ligne Orgnac l'Aven - Laval St Roman, confinés dans des compartiments faillés et reposant sur les calcaires du Crétacé inférieur.

Plus à l'ouest, entre Vagnas et Barjac, des placages sous forme d'argile rouge-brune plus ou moins sableuse, s'alignent au contact de la faille de Barjac.

Les terrains de l'Éocène moyen, en accordance avec les calcaires priaboniens, n'apparaissent plus à l'ouest du village de Le Garn et laissent présumer un axe de faille NE-SO, conséquence de la phase paroxysmale de la compression pyrénéenne à la fin de l'Éocène moyen, qui recoupe le bassin en son milieu jusqu'à la zone du valat du Boudouyre, voire au delà jusqu'au Grand Serre.

À proximité du bassin, au nord-est de Montclus et jusqu'au nord de Cornillon, un affleurement bartonien d'épaisseur variable, repose sur un socle aptien (Bédoulien). Cet ensemble est délimité à l'est par une faille de décrochement NE-SO et à l'ouest par un escarpement de ligne de faille qui décroche les terrains éocène moyen de faibles épaisseurs 70 mètres plus bas, dans le lit du valat du Boudouyre.

Au sud-ouest du bassin, au niveau du plateau de Méjannes-le-Clap, sur un axe Goudargues - Montclus, de petits grabens présentent des affleurements discontinus de l'Éocène moyen, difficiles à cartographier, fortement affectés par la tectonique cassante, d'anciens aménagements anthropiques et la végétation (J. JOLIVET, inédit). Ces affleurements ne sont pas représentés ou sont libellés (e7)g1 (Eocène terminal) sur la carte Bourg St Andéol n° 889 1/50000.

Cette sédimentation syntectonique, d'une épaisseur moyenne de 60 mètres, définit la bordure du bassin au nord tandis qu'au sud, elle s'estompe, à isohypse égal, en raison du déblaiement induit par l'enfoncement de la Cèze au Miocène.

2-2-2 - Climat:

Sous un climat tropical à subtropical, trois événements hyperthermiques surviennent pendant le Paléocène: Le Dan-C2 event (65 Ma), transition Crétacé supérieur -Tertiaire, Le Danian - Selanian event (60 Ma) et PETM (*Paleocene-Eocene Thermal Maximum*) à la transition Thanétien-Yprésien (55,5 Ma) (KENETT et al, 1991). Ce dernier événement, le plus important, entraîne en moins de 10 000 ans, une hausse du CO₂ atmosphérique et de la température des eaux de surface de +5° à +8°C en Antarctique, cause d'une transition rapide de sédiments riches en CaCO₃ à des sédiments abondants en argiles ainsi qu'une altération des silicates liée à l'acidification des océans.(BOUGEOIS, 2013).

A l'Eocène moyen et toujours sous le même climat, les événements hyperthermiques suivants pendant l'EEOCO (*Early Eocene Climatic Optimum*), ETM-2 (53.2 Ma) et ETM-3 (52.5 Ma), sont de moindre importance que le PETM. Leurs conséquences sur la géologie sont mal connues et se traduisent par des horizons plus riches en sédiments terrigènes liés à un cycle hydrologique accéléré et à une dissolution des carbonates. (AGNINI et al., (2009).

A la fin du Bartonien, s'installe une période "Ice house" caractérisée par des glaciations continentales et des environnements désertiques.

2-2-3 - Analyses chimiques et minéralogiques:

Des analyses géochimiques ont été effectuées sur 6 compositions minérales, dites "points référents", indiquées par les cartes géologiques Bourg St Andéol n° 889 et Pont St Esprit - 913, 1/50000, et ont été comparées à 39 échantillons, dénommés "points karstiques" qui ont été prélevés au niveau du plateau de Méjannes-le-Clap et de l'interfluv Cèze-Ardèche. (Fig.3)

Trois échantillons référents du Paléocène - Eocène inférieur (réf. e1-4) :

Au nord-ouest de Vagnas, au sud de Laval St Roman et dans le valat du Boudouyre (90m. NGF) présentent des sols hydromorphes à horizon de couleur rouille, parfois verdâtre issus de roches sédimentaires détritiques du socle. Le rapport SiO₂/Al₂O₃, indicateur de la présence de minéraux de type smectite à côté de la kaolinite, oscille entre 9.5 et 10.5 et le % de CaO et d'éléments de transition (*) sont faibles.

Les conditions de formation se produisent sous climat tropical à subtropical avec des alternances de saisons sèches et humides favorisant la présence d'argile de la famille des smectites comme la montmorillonite déterminée par diffraction X.

A l'ouest de l'aven d'Orgnac, l'unité fournit un rapport SiO₂/Al₂O₃ >3, indicatif d'une accumulation de l'alumine dans la formation des minéraux argileux et voit son % de silice diminué. Le sol de type fersiallitique rouge-brun dénote une progression de l'altération des apports détritiques. L'augmentation du rapport Al₂O₃/SiO₂ montre une composition argileuse de plus en plus marquée par la kaolinite (diffraction. X).

Le % en CaO est bas contrairement à la hausse significative d' Al₂O₃ et des autres éléments majeurs et de transition. Les taux élevés en chrome, cobalt et nickel présument une provenance d'altérites issues de basaltes alcalins.

Les résultats géochimiques des points référents (e1-4) voient la diminution du taux de CaO et la formation de minéraux argileux dues à un réchauffement climatique attribué au passage Paléocène-Eocène inférieur durant les événements de PETM ou de EEOCO.

Pour les points karstiques, des sédiments de type (e1-4) ont été retrouvés :

Au sein de dolines situées sur le plateau de Méjannes le Clap (300m.NGF), sur les surfaces d'aplanissement du Devès de Virac (260m.NGF) et du Bois de Ronze (390m.NGF).

Respectivement en rive gauche et droite de l'Ardèche, dans la grotte de la Bartade (M) (370m.NGF) au niveau des remplissages argileux et de la grotte Traoucade (M) (250m.NGF) sur des laminites en paroi dérivant d'éluviation pouvant provenir de la surface du bois de Ronze.

A l'ouest de Méjannes-le-Clap, des poches karstiques (320m.NGF) sont remplies de calcite fibreuse pseudosphérolitique, dépôts pédo-biologiques du sol qui peuvent s'étendre, sous l'influence des fluctuations de la nappe phréatique et caractérisent le Paléogène et l'Eocène inférieur. (A. EL HARFI et al., 2006).L'étude minéralogique montre la présence de kaolinite et de montmorillonite (diffraction X).

Le remplissage d'une poche karstique (280m.NGF) au nord de Méjannes-le-Clap et deux à l'ouest (260 et 130m NGF) présentent un rapport SiO₂/Al₂O₃ moyen de 3.1 mais avec une diminution de la silice et des éléments de transition et un fort pourcentage en CaO vraisemblablement liés une carbonatation à travers l'endokarst.

Deux autres poches se situent au contact de failles normales délimitant des compartiments abaissés induits par l'effondrement du fossé d'Alès.

Trois échantillons référents du Bartonien (réf. e6) ou (e6-7):

Au nord-ouest de Montclus, à l'ouest de Laval St Roman, le rapport SiO₂/Al₂O₃ moyen est de 12.3, légèrement supérieur aux deux premiers échantillons référents (e1-4).

Les % en CaO et SiO₂ augmentent tandis que le reste des éléments majeurs et de transition diminuent de façon significative.

Le site du valat du Boudouyre (100m.NGF), non recensé sur la carte géologique mais reconnu par d'autres travaux (A. BOUCHE, 2011) et daté du Bartonien (e6-7) - Priabonien basal, les sédiments se présentent par un faciès argileux sableux, de couleur verdâtre en raison de la glauconie provenant vraisemblablement du remaniement des marnes gréseuses de l'Albien. Ils sont mélangés par endroit avec des argiles rouges issues de l'altération des sables quartzeux. Le rapport SiO₂/Al₂O₂ correspondrait à un mélange avec des sédiment du Paléocène-Eocène inférieur.

Pour les points karstiques, des sédiments de type (e6) ont été retrouvés à plusieurs endroits:

Au lieu dit de Bret, logé dans un petit graben et au mur d'une formation priabonienne, pointée (e7)g1, une série sédimentaire ressemblant à celle du Boudouyre, laisse apparaître une diminution encore plus accentuée des éléments majeurs, excepté pour le CaO, et des éléments de transition. Ce ratio est significatif d'altération tant chimique que physique modifiant le substrat d'un même étage.

Toujours à l'ouest de Méjannes-le-Clap, une poche karstique (300m.NGF) présente des caractéristiques semblables à l'échantillon référent (e6) avec la présence de kaolinite et montmorillonite (diffraction X).

Ces sédiments colmatent le réseau de fissures visibles de l'endokarst. Ils se retrouvent piégés dans des poches karstiques fortement contraintes par la tectonique postérieure.

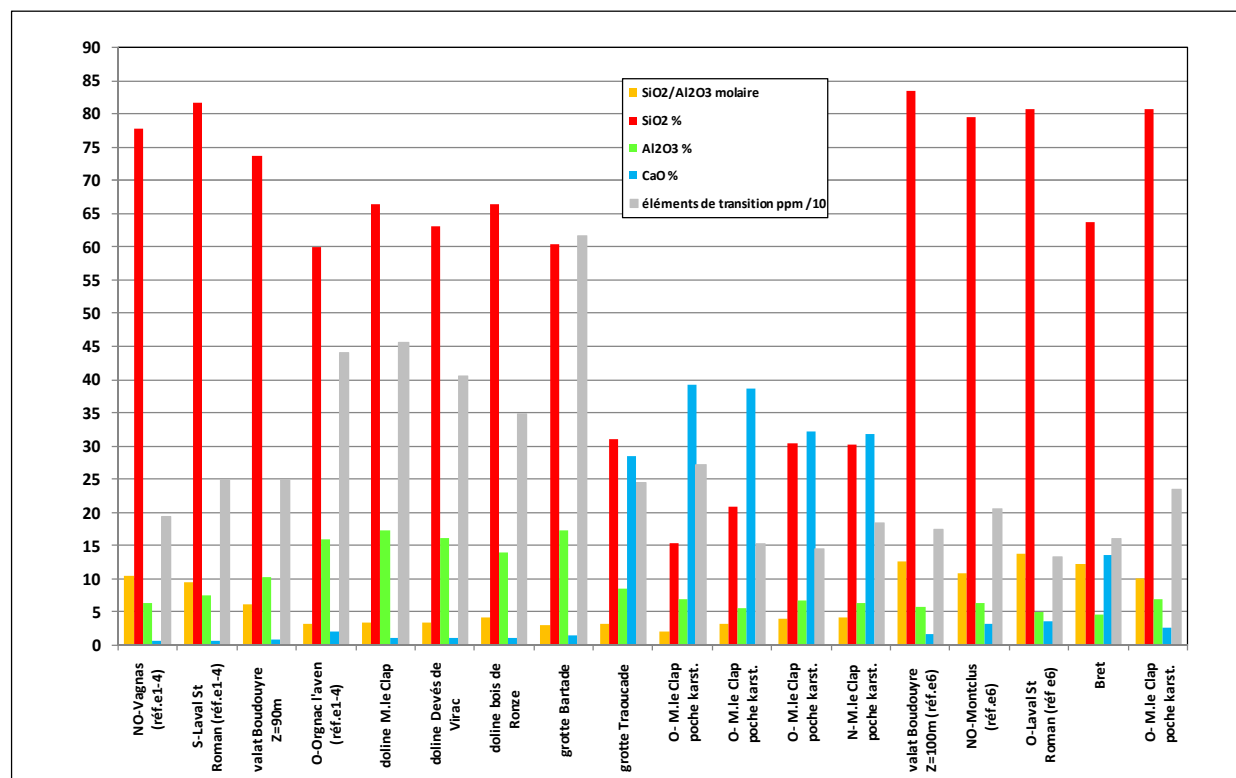


Figure 3 - Graphique géochimique des principaux éléments majeurs et de transition.

2-3- Période Éocène supérieur

Dans les zones où l'épikarst est très fracturé, l'enfoncement et l'altération progressifs de ces couvertures vont favoriser la formation des cryptodolines.

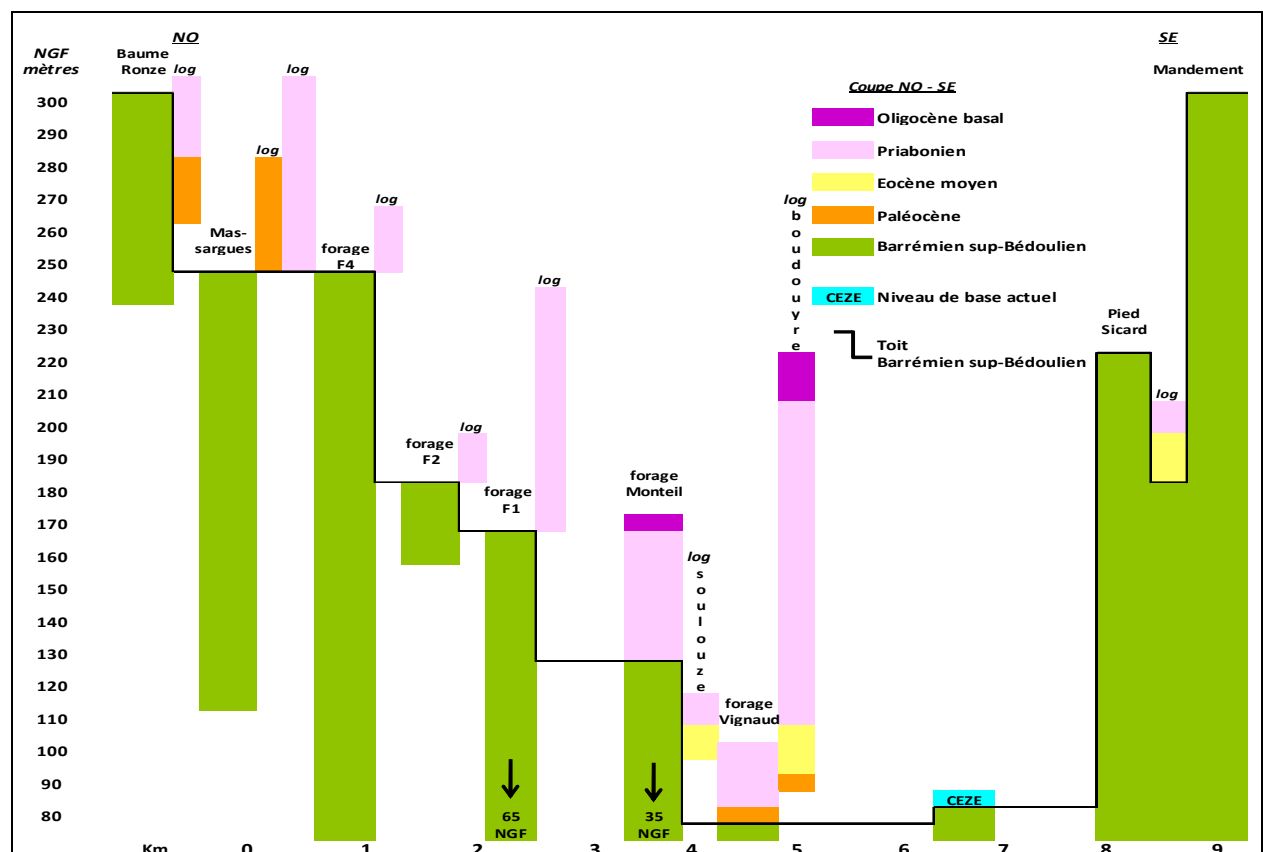


Figure 4 - Coupe NO-SE réalisée d'après les logs de sondage pour la recherche en eau, divers logs de terrains et les profils en dénivelé des cavités de baume de Ronze et de Massargues.

2-4- Période Oligocène - Miocène inférieur:

À la fin de l'Éocène supérieur et à l'Oligocène supérieur - Aquitanien, l'ouverture de la Méditerranée liée à la rotation antihoraire du bloc corso-sarde entraîne corollairement l'ouverture du fossé d'Alès qui s'agence en demi-graben suivant une organisation morphostructurale en éventail (M. FLOQUET, 2006) dans un système distensif qui génère une structure en roll-over (E. SANCHIS et M. SÉRANNE, 2000).

Cette flexuration provoque un soulèvement des formations carbonatées de la partie orientale du bassin, l'inclinant vers le sud-ouest alors que sa zone occidentale s'abaisse vers le fossé d'Alès en cours de structuration. L'effet du soulèvement de surface pendant l'Oligocène est concomitante avec la baisse significative du niveau eustatique qui caractérise cette période (M. SÉRANNE *et al.*, 2002).

Les sondages pétroliers réalisés au niveau du fossé d'Alès, dévoilent respectivement la présence d'un remplissage du Paléocène-Eocène moyen et du Priabonien entre 1500 et 600 mètres de profondeur pour une épaisseur d'environ 150m pour les premiers et de 750m mètres pour le second.

3 - STRUCTURATION DES SURFACES D'APLANISSEMENT.

Souvent proche des niveaux de base des régions endoréiques, les surfaces de remblaiement coexistent avec des surfaces d'aplanissement. Elles ont été plus ou moins soulevées et déformées et subsistent dans le paysage sous forme d'interfluves ou de topographie bosselées (GREGORY K. *et al.*, 1992).

En fonction des périodes climatiques, elle peuvent être soumises à des altérations profondes pendant des phases chaudes et humides ou bien à un décapage des altérites et un nivellement par érosion durant des phases sèches. (TWIDALE C.R., 2002).

Elles résultent de conditions tectoniques et climatiques stables et leur niveau de base sont proches de l'épikarst.

Ainsi pour la zone étudiée, sept paléosurfaces sont reconnues:

Les surfaces supérieures (n°4 et n°5), dites hautes surfaces ou sommitales du bois de Ronze, s'établissent respectivement aux cotes actuelles de 390-410 m NGF et 370-340 m NGF.

Une surface intermédiaire (n°2) se développe dans l'axe synclinal de la Bastide de Virac à 260 m NGF.

Plus petite et peu décrite, la surface du Devés de Virac (n°1) est proche de la seconde et de même altitude.

Une petite surface (n°3) se positionne en rive gauche de l'Ardèche, à l'ouest de la faille d'Autridge.

Une surface dite fondamentale (n°6) du plateau de Méjannes le Clap se situe aux altitudes de 320 -300 m (COULET E., 1975)

Tous ces aplanissements comportent de nombreuses dolines qui s'organisent au contact de fractures et se sont élaborées le plus souvent sous un processus de cryptoaltération.

Sur le karst évaporitique priabonien (n°7), à l'ouest de l'axe Le Garn - Montclus, s'étendent des dolines de grandes dimensions dont certaines sont égueulées qui se positionnent à des hauteurs variables ou bien des affaissements de terrain dus à la nature des dépôts rocheux salins, riches en sulfates et chlorures en particulier, et à la spécificité de leurs faciès principaux. Ces éléments chimiques se retrouvent actuellement dans les eaux des sources en rive gauche de la Cèze comme le strontium, constituant primaire dans le gypse, les chlorures et le baryum liés aux matériaux pélitiques et détritiques.

Développées sur la bordure d'un ancien niveau emboîté, elles résultent d'une longue évolution oligo-miocène. (J. JOLIVET et C. MARTIN, 2008).

3-1 - Chronologie et évolution géomorphologique des surfaces d'aplanissement:

A partir de la bordure ouest du fossé d'Alès, la mise en évidence par coloration d'une perte du Romejac, dont les eaux résurgent à la source de Monteil (Mo), d'un drainage d'écoulement N110 au nord de la Cèze (rapport ZABR -Cèze, 2013-2015) est interprétée comme le résultat d'une subsidence, inférée par un jeu de faille de direction identique (F. BASTIDE, 2014). Cet enfoncement permet, dès le Crétacé supérieur, de délimiter les zones géographiques où se positionneront, de part et d'autre de la Cèze, les surfaces d'aplanissement observables aujourd'hui. (Fig. 5)

A la fin du Crétacé, des structures plissées, à large rayon de courbure, d'abord de direction N20 à N60, agencent l'anticlinal de Méjannes-le-Clap et celui, à l'ouest, de St Remèze puis au Paléocène-Eocène moyen, ceux du bois de Ronze et les synclinaux de la Bastide de Virac et d'Issirac d'orientation N110.

Ces contraintes plicatives se conjuguent avec la création d'un canevas structural de failles subhorizontales N90-N120 et subverticales N135-N175 et N20-N60 que combient de façon synchrone les altérites.

Les failles de décrochement de ce dernier groupe de direction, comme les failles de St Remèze, d'Autridge, de la Madeleine et de La Bastide de Virac-Saleyron-Piapala, recoupent les plis dissymétriques E-O et initient des composantes verticales de rejet.

L'image de cette dynamique compressive pyrénéenne N20 se retrouve à l'ouest de Lussan, caractérisée par le monadnock du serre de Fons ou bien à l'est de Virac par le massif du Saleyron et plus au nord le massif de Piapala. Le toit de ces ensembles est composé par des calcaires du Barrémien supérieur ne présentant aucune doline. Aucun dépôt d'altérite a été observé.

Ces dispositions corroborent les escarpements de faille qui recoupent les surfaces maximales d'inondation correspondantes au Barrémien supérieur à faciès urgonien inférieur et au Bédoulien basal à faciès urgonien supérieur de part et d'autre de la faille d'Autridge.

Ces tensions vont perdurer pendant la phase paroxysmale compressive du Bartonien et durant l'Eocène supérieur. Elles engendrent des coulissemens senestres qui décalent les axes plicatifs et disjoignent la surface d'aplanissement en cours d'élaboration donnant ainsi une dissymétrie bien visible pour les secteurs du bois de Ronze (n°4 et n°5) et de La Bastide de Virac (n°1, n°2 et n°3). Les surfaces d'érosion se développent sur des calcaires du Bédoulien basal ou inférieur avec une forte densité de dolines.

La phase de distension N110 de l'Oligocène remobilise les fracturations existantes, comme l'axe Salazac-Saint-André-de-Roquepertuis. Elle a pour conséquence la formation de couloirs tels que les dépressions de l'axe Vagnas-Virac ou de grabens qui piègent les paléoaltérites intra-éocène et les calcaires évaporitiques comme ceux de Bret, de Sicard et Frigoulet. Cette instabilité morcèle et élève les surfaces actuellement connues.

Ainsi la différence de surélévation entre les surfaces n°2 et n°3 (axe synclinal), sises sur deux lanières distinctes est de + 40 m.

La surface n°4 (axe anticlinal) positionnée sur le même panneau que la surface n°3, s'exhausse de + 100 m.

Par répercussion, des surfaces structurales s'établissent comme en témoignent, en périphérie sud du bois de Ronze, les reliquats de buttes qui séparent des paléo-vallées suspendues en forme de berceau et dont la déclinaison s'oriente vers le bassin d'Issirac.

L'ouverture du fossé d'Alès engendre par réaction une compression qui flexure à nouveau l'anticlinal nord-sud du plateau de Méjannes-le-Clap qui par répercussion affaisse des panneaux faillés E-O comme celui de l'axe supposé Barjac-Montclus et bascule vers le SO le panneau d'Issirac (n°7) à partir de l'axe de la faille NE-SO.

Ceci est mis en évidence par traçage des pertes de la source du Garn restitué à la source des Baumes (Ba), isolant ainsi la surface fondamentale (n°6) de Méjannes-le-Clap de celles de l'interfluve Cèze-Ardèche.

Le découpage en plusieurs blocs et lanières se finalise sous l'impulsion de la compression alpine N110 du Miocène inférieur qui déforme et soumet à des torsions et rotations partielles les axes de plis tel que l'axe anticlinal du bois de Ronze (n°4 et 5).

La surface d'aplanissement de Méjannes-le-Clap subit des déformations qui seront à nouveau arasées, recoupant les divers étages du Crétacé inférieur de l'anticlinal de Lussan, sous l'influence indirecte du rythme des transgressions miocènes.

La couverture sédimentaire paléogène, dont certains vestiges sont encore présents dans quelques dolines et poches karstiques des surfaces d'aplanissements (n°1, n°4 et n°6), devait recouvrir en grande partie la totalité la zone d'étude qui va se disloquer puis se soulever peu à peu à partir de l'Eocène moyen.

Cependant l'âge de ces dépôts permet difficilement de faire une corrélation avec la mise en place des paléosurfaces en constant réaménagement.

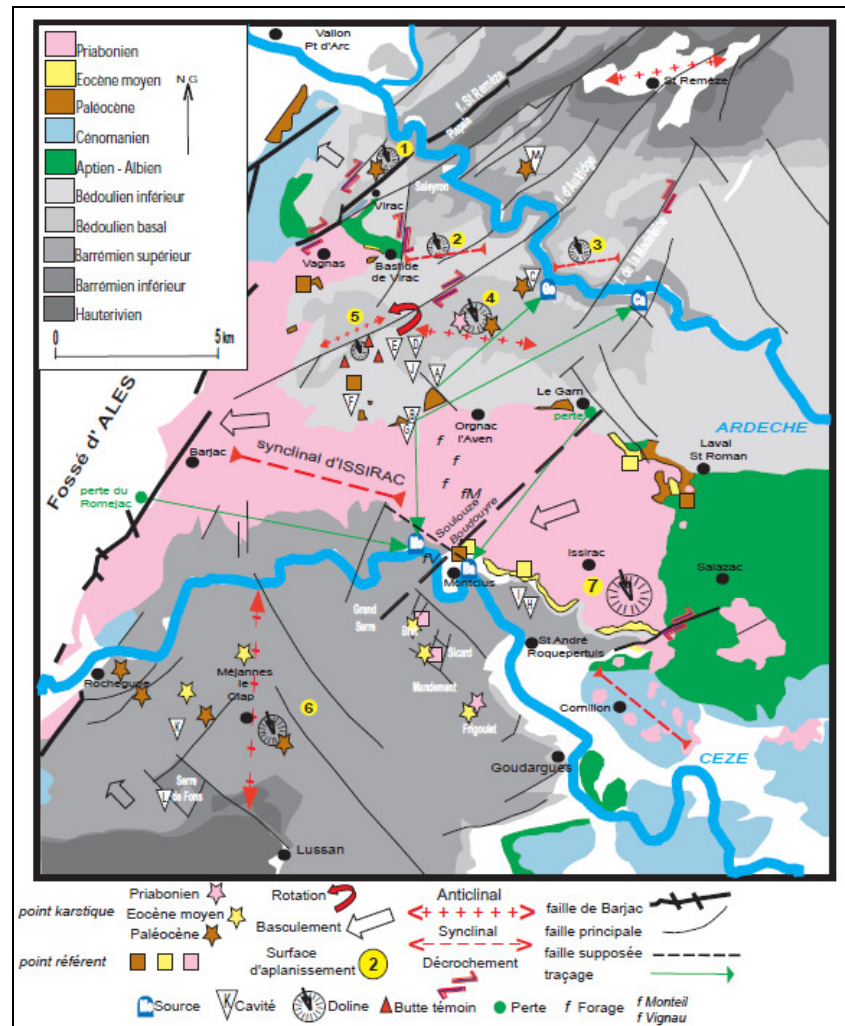


Figure 5 - Cartographie simplifiée des diverses surfaces d'aplanissement et leur cortège résiduel sédimentaire paléogène.

4 - EVOLUTION SPELEOGENETIQUE ET MISE EN PLACE DU DRAINAGE KARSTIQUE.

D'après la charte eustatique (B.U. HAQ *et al.*, 2008), la courbe moyenne du niveau de la mer au Paléogène s'établissait aux environs de 200 mètres au dessus du niveau océanique actuel comprenant trois phases de régression marine de l'ordre d'une centaine de mètres.

En interaction avec les mouvements eustatiques et tectoniques, l'évolution hydrodynamique des drains karstiques se définit aussi en fonction des séquences de dépôts reconnues qui colmatent progressivement le bassin créant un potentiel principalement aggradant de karstification.

Cette représentation correspond à l'installation de drainages dans la zone fracturée impliquant un gradient de pente suffisant qui organise le sens des écoulements vers le bassin endoréique d'Issirac.

Une interprétation peut être avancée sur les diverses étapes agençant une chronologie d'évidement/remplissage de l'endokarst:

Une spéléogénèse anté-Paléocène représentée par les cavités d'altitude élevée (entre 350 et 400 m NGF) qui possèdent en général des ouvertures décapitées par l'érosion où certains conduits horizontaux ou verticaux sont déformés, recoupés par des failles ou de diaclases ou bien des cisaillement de strates induisant des géodynamiques postérieures à leur établissement. Cette configuration se retrouve au niveau des avens de la Forestière (D) dans sa partie supérieure ou du Colombier (E) situé au niveau du bois de Ronze.

À l'ouest du plateau de Mèjannes-le-Clap, les avens du Moravés (K) et d'Antoine (L) (360 et 400 m NGF) présentent des caractéristiques similaires.

Les périodes du Paléocène et de l'Eocène établissent des tranches potentielles d'approfondissement de l'endokarst, de l'ordre de 130 mètres, liées à la fois aux variations des hauteurs d'eau dans le bassin endoréique et à ses contraintes de déformations.

L'aven de la Forestière (365 m) peut illustrer cette phase de creusement par l'image que donne la galerie décline, de taille modeste, entrecoupée de petits puits, qui rejoint, à la cote 280 m NGF, le sommet du grand puits terminal, profond de 58 mètres, soit 220 mètres NGF en son fond. Cette dernière cote correspond à celle des conduits de l'aven d'Orgnac.

Cependant les témoignages endo-karstiques de cette époque sont complexes à déchiffrer en raison de l'imbrication des structures plus récentes du Néogène, surtout au niveau du plateau de Méjannes-le-Clap.

Quelques exemples de formation de cavités peuvent être retenus au niveau de l'interfluve Cèze-Ardèche :

La grotte des Cristaux (F) (259 m NGF) présente des écailllements de certaines parois (N-S) dont les galeries sont recoupées par des diaclases et se terminent sur des éboulis. Une faille s'ouvre en extension (E-O) sans morphologie particulière conséquence de la tectonique oligocène. Elle se situe à proximité de fracturations O-30°N remplies par des remplissages de type bréchique.

La baume Flandin (G) (232 m NGF) dont l'entrée a été recoupée par le creusement d'un vallon sec, se caractérise par des galeries peu développées, à contours étroits (cheminées effilées, petites coupoles et fissures colmatées par des poudingues monogéniques, cassures en plafond uniquement corrodées par l'eau de ruissellement) qui finissent en impasse sur des comblements argilo-terreux

Plus au sud-est, la grotte des Écureuils (H) (230 m NGF) montre des conduits verticaux ayant gardé leurs aspects fracturés adamiques fortement comblés par des conglomérats.

En aval, la grotte des Chaussures (I) (230 m NGF) expose au niveau de ses parois des formes de contraintes et de cisaillements. Une reprise postérieure de creusement remodèle la galerie terminale, avec des formes lancéolées et banquettes de niveau comportant des placages de dépôts cévenols (sables et graviers siliceux).

De faibles extensions, ces formes montrent des colmatages, par des poudingues et des argiles d'altération, actuellement plus ou moins indurés.

Dans ce canevas structural originel, les grands réseaux comme l'aven d'Orgnac (A) et celui de Massargues (B), formés sur les mêmes axes de fracturation d'orientation générale N20, correspondent aux prémices de creusement dérivées de ce processus.

La déclivité topographique au droit du toit des conduits et la "confluence" amont des réseaux d'Orgnac III et IV vers le sud (Orgnac II et I) accréditent cette hypothèse. (Fig.6).

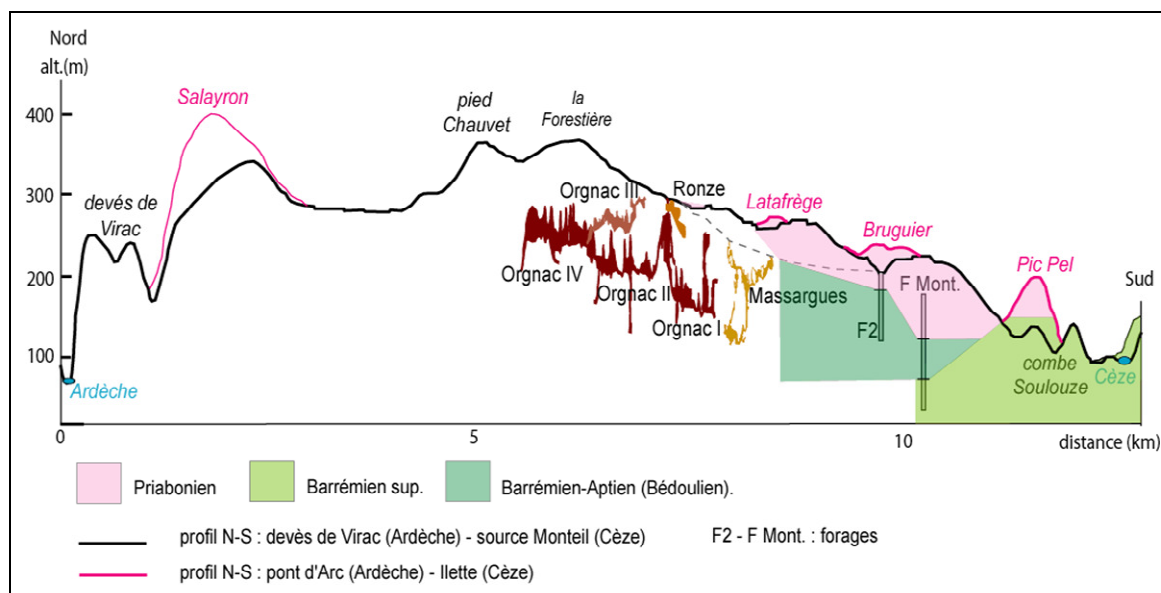


Figure 6 - Coupe de l'interfluve Cèze - Ardèche avec les reports topographiques des cavités de l'aven d'Orgnac, baume de Ronze et du réseau de Massargues (d'après E. VAN DEN BROECK, 2015).

Ces deux dernières entités souterraines se développent au droit de la faille d'Autridge et dans le prolongement de la faille de La Bastide de Virac-Saleyron supposant un début de ces formations à l'Eocène supérieur.

La baume de Ronze (J) (305m NGF), de par la morphologie de ses conduits avec des formes de creusements ascendants, indique une évolution aggradante des paléo-niveaux phréatiques.

Certains sédiments provenant de cette cavité contiennent de la calcite magnésienne, indicateur d'une origine marine ou d'eau saumâtre d'un aquifère (J.J. BLANC, 2010) qui correspondrait aux épisodes de dépôt poly-salin de l'Eocène supérieur. (Photo 1)



Photo 1 - Baume de Ronze: surcreusement de paroi. [cliché : Jean-Marie CHAUVET]

Le colmatage par ces sédiments provient en partie de la couverture paléogène qui piège des minéraux exogènes issus de l'érosion du socle paléozoïque comme l'albite, la muscovite et la kaolinite, des minéraux argileux tel que la kaolinite, l'illite et la montmorillonite ou bien d'origine volcanique, magmatique ou hydrothermale comme l'halloysite, la sanidine ou la spurrite.

Le soulèvement des surfaces à l'Oligocène-Aquitainien conjugué à la baisse importante du niveau eustatique vont accentuer l'érosion aréolaire et influencer sur la modification des drainages.

Les évidements des cavités sus-citées et le démantèlement continu des hautes cavités peuvent être rattachés à ces événements qui amorcent aussi la mise en place des premiers réseaux fluviaux de l'Ardèche et de la Cèze.

De cette façon, la vallée de la Cèze se creuse sur une centaine de mètres au premier épisode incisif du Miocène inférieur (D. BESSON, 2005) et se retrouve emboîtée dans les dépôts de l'Eocène supérieur. Le fonctionnement du bassin molassique rhodano-provençal va influencer sur la géomorphologie et le fonctionnement amont des bassins de l'Ardèche et de la Cèze, créant les réseaux hydrographiques visibles encore de nos jours.

La résultante générale des écoulements souterrains de l'interfluve Cèze-Ardèche et du plateau de Méjannes-le-Clap s'orientent au NO-SE vers les nouveaux niveaux de base définis par l'Ardèche et la Cèze à l'interface du Burdigalien-Langhien.

De ces configurations, une spéléogénèse de grande ampleur s'instaure de part et d'autre du bassin endoréique, reprenant le creusement des réseaux déjà ébauchés d'Orgnac et de Massargues ou en élaborant de nouveaux conduits karstiques dont les exutoires se trouvent le long de ces deux rivières.

De nombreuses cavités ont vu leur morphologie originelle retouchée ou bien leurs conduits déconnectés en fonction des différentes phases de creusement-remblaiement.

Dans le cadre des études Zone Atelier Bassin du Rhône-Cèze (2013-2016), les traçages réalisés dans l'aven d'Orgnac et le réseau de Massargues, positionnés dans la zone ouest de l'interfluve Cèze-Ardèche, prouvent que les écoulements de la nappe convergent vers l'Ardèche aux sources de Gournier (Go) et des Castors (Ca). Cependant une partie de la restitution du colorant injecté dans le réseau de Massargues, après de fortes précipitations et un temps de transfert de plusieurs mois, apparaît par effet de seuil, aux sources de Monteil (Mo), côté Cèze. Ce dernier point atteste le fonctionnement épisodique d'un ancien écoulement vers le bassin endoréique d'Issirac.

5- CONCLUSION ET PERSPECTIVES:

La mise en place de ces reliefs est le résultat d'une évolution paléogéographique et morphologique amorcée dès l'émersion de la plate-forme carbonatée au Crétacé supérieur. Cette évolution se traduit par la mise en place de réservoirs karstiques et une spéléogénèse en relation avec l'élaboration d'une surface d'aplanissement qui va se morceler dès l'Eocène, contraint par le niveau de base du bassin endoréique d'Issirac relié au fossé d'Alès et non, comme au Miocène, par le niveau de base des cours d'eau tels que ceux de la Cèze et de l'Ardèche.

Ces nouveaux éléments de connaissance des circulations souterraines dévoilent un basculement progressif des flux hypogés du bassin d'Issirac vers l'Ardèche et la Cèze qui restructurent progressivement les aquifères.

Cette approche méthodologique permet de mieux appréhender l'évolution de ce paléokarst complexe pendant les périodes du Paléocène-Miocène inférieur à travers une géodiversité représentant l'ensemble des éléments des sols, sous-sols et paysages évoqué ici, qui assemblés, constituent des systèmes combinés issus des processus géologiques (C.SHARPLES,1993), les traçages et les observations topographiques de l'endokarst complétant cette démarche.

Remerciements : Aux spéléologues du G.A.S.O.I.L. pour leur aide à l'exploration et surtout aux traçages, à Daniel Garcia pour les analyses géochimiques et à Jean-Marie Chauvet pour ses documents photographiques à Baume de Ronze.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGNINI C., MACRI P., BACKMAN J., BRINKHUIS H., FORNACIARI, E., GUISBERTI L., LUCIANI V., RIO D., SLUIJS A., and SPERANZA F. - An early Eocene carbon cycle perturbation at 52.5 Ma in the Southern Alps : Chronology and biotic response, *Paleoceanography*, 24, 2009.

AMBERT, P. (1991). - L'évolution géomorphologique du Languedoc central (Grands Causses méridionaux, Piémont languedocien) depuis le Néogène. - Thèse d'Etat, Univ. Aix-Marseille 2, 210 p.

BASTIDE F. (2014) - Synthèse de l'évolution de la plateforme Urgonienne (Barrémien tardif à Aptien précoce) du Sud-Est de la France: Faciès, micropaléontologie, géométries, paléotectonique et géomodélisation, Thèse de doctorat, 299p. + annexes

BELLEVILLE L. (1985) - Hydrologie karstique: géométrie, fonctionnement et karstogénèse des systèmes karstiques des gorges de l'Ardèche (ARDECHE, GARD). Thèse de 3ème Cycle, Grenoble, 228 p., 95 fig.

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.

BLANC J.J. (2010) - Histoire des creusements karstiques et des surfaces d'érosion en Provence occidentale. *Physio-Géo*, volume 4, 2010. p.1-26

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'AIX-MARSEILLE. 58 p.

BOUGEOIS L. (2013) - Étude du *Paleocene-Eocene Thermal Maximum* et des événements hyperthermiques du Paléogène ancien - Causes et conséquences de réchauffements climatiques abrupts-- M2 PSP - UE -Synthèse bibliographique. 11p.

CAMUS H. (2003) - Vallée et réseaux karstique de la bordure carbonatée sud cévenole. Relation avec la surrection, le volcanisme et les paléoclimats. Thèse Doctorat, Université Bordeaux III, 692 p.

SCHARPLES C.(2003) - A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes : a report to the Forestry commission, Hobart: The Commission, 31p.

COMBES P. J., B. PEYBERNES, M.J. FONDECAGE-WALLEZ, M. SERANNE, J.L. LESAGE, H. CAMUS (2007) - Latest-Cretaceous/Paleocene karsts with marine infillings from Languedoc (south of France); paleogeographic, hydrogeologic and geodynamic implications. *Geodinamica Acta*, 20 (5), p. 301-326.

COULET E. (1975). - «Morphologie des plaines et garrigues du Languedoc méditerranéen ». Thèse de doctorat. Université Lille III., 2042 p.

CURNELLE R. & DUBOIS P. (1986) - « Evolution mésozoïque des grands bassins sédimentaires français; bassins de Paris, d'Aquitaine et du Sud-est. » *Société Géologique de France* (8), 4 : p.529-546.

DÖRFLIGER N., FLEURY P., LE STRAT P., CAPAR L. (2008). Caractérisation géologique et hydrogéologique des aquifères carbonatés karstiques sous couverture. Méthodologie, synthèse bibliographique et synthèse géologique régionale. Rapport final BRGM-RP-56980-

FR, 90 ill., 3 ann., 157 pp

EL HARFI A., LANG J., VERRECCHIA E., DURLET C., LANDREINE P., CHELLAI E.H. et LACHKAR H.N. (2006) - Origine pédo-diagénétique de la calcite fibreuse pseudosphérulitique (pseudo-Microcodium) du Paléogène continental palustre dans le bassin d'Anzal (Anti Atlas, Maroc). *Africa Geoscience Review*, Vol. 13, No. 3, pp. 447-469, 2006.

FABRE G. (1980) - Les karsts du Languedoc oriental. Recherches hydrogéomorphologiques. Mémoires AFK, n° 2, 446 p + 15 planches et 6 cartes HT.

FLOQUET M. (2006) - Cours de géologie "Géologie de la France" ou les bassins sédimentaires, les chaînes de montagnes et le volcanisme de France, Université de Provence, Biologie générale - environnement - Sciences de la terre, 64p.

GOMBERT P. (1988) - Hydrogéologie et karstogénèse du Bas-Vivarais calcaire (Ardèche, France), Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc-Montpellier, 483 p.

GREGORY K. M., CHASE C. G. (1992) – Tectonic significance of paleobotanically estimated climate and altitude of the late Eocene erosion surface, Colorado. *Geology*, 20, 581-585

HAQ, B.U., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R. (1988). - Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. *in*: C.K. WILGUS, H. POSAMENTIER, C.A. ROSS & C.G.S.C. KENDALL, *eds*. Sea-level changes - An integrated approach. - Soc. Ec. Paleont. & Mineral., Spec. Publ. 42, p.71-108.

HUSSON E. (2013) - Interaction géodynamique/karstification et modélisation géologique 3D des massifs carbonatés : Implication sur la distribution prévisionnelle de la karstification. Exemple des paléokarts crétacés à néogènes du Languedoc montpelliérain, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 316 p.

JOLIVET J. et MARTIN C. (2008) - La morphologie karstique dans le canyon de la Cèze et sur le plateau de Méjannes-le-Clap (Garrigues nord, Gard, France) – Rapport avec l'évolution paléogéographique mio-pliocène. *Études de Géographie Physique*, n° XXXV, p.25-44.

KENNETT J. and STOTT L. (1991) - Abrupt deep-sea warming, palaeoceanographic changes and benthic extinctions at the end of the Palaeocene, *Nature*, 353, 225–229, 1991.

MOCOCHAIN L. (2010) - Les karsts de la moyenne vallée du Rhône (Gard et Ardèche), Grottes et karsts de France, *Karstologia Mémoires* n°19, p.138-139.

SADIER B. (2013) - 3D et géomorphologie karstique : La grotte Chauvet et les cavités des Gorges de l'Ardèche -Thèse de géographie, Université de Grenoble , 482 p.

SANCHIS E., SÉRANNE M. (2000) - Structural style and tectonic evolution of a polyphase extensional basin of the Gulf of Lion passive margin : the tertiary Alès basin, Southern France. *Tectonophysics*, 322, p.219-242

SÉRANNE M. , CAMUS H., LUCAZEAU F. , BARBARAND J., QUINIF Y.(2002) - Surrection et érosion polyphasées de la bordure cévenole. Un exemple de morphogénèse lente. *Bull. Soc. géol. Fr.*, Volume 173, n° 2, p. 97-112

SISSINGH W. (2001) - Tectonostratigraphy of the West Alpine Foreland : correlation of Tertiary sedimentary sequences, changes in global sea-level and synorogenic stress regimes. *In Tectonophysics*, 333, 3, p. 361-400.

TWIDALE C.R. (2002) – The two-stage concept of landform and landscape development involving etching : origin, development and implications of an idea. *Earth Science Reviews*, 57, p. 37-74.

VAN DEN BROECK E., MADEUF C.(2015) - Les réseaux d'Orgnac-Issirac, Réseau de Massargues - Spéleo Magazine n°90 juin 2015, p.18-23

ZABR -CEZE (2015) - 2nd rapport d'avancement du projet :Caractérisation des échanges entre eaux superficielles (rivière) et eaux souterraines en domaine karstique. Exemple d'un affluent du Rhône, la Cèze (30).Rapport provisoire année 2.(2014-2015). Action n°43 du Programme 2014 (action 49 en 2015) au titre de l'accord cadre Agence de l'Eau ZABR, 227 p.