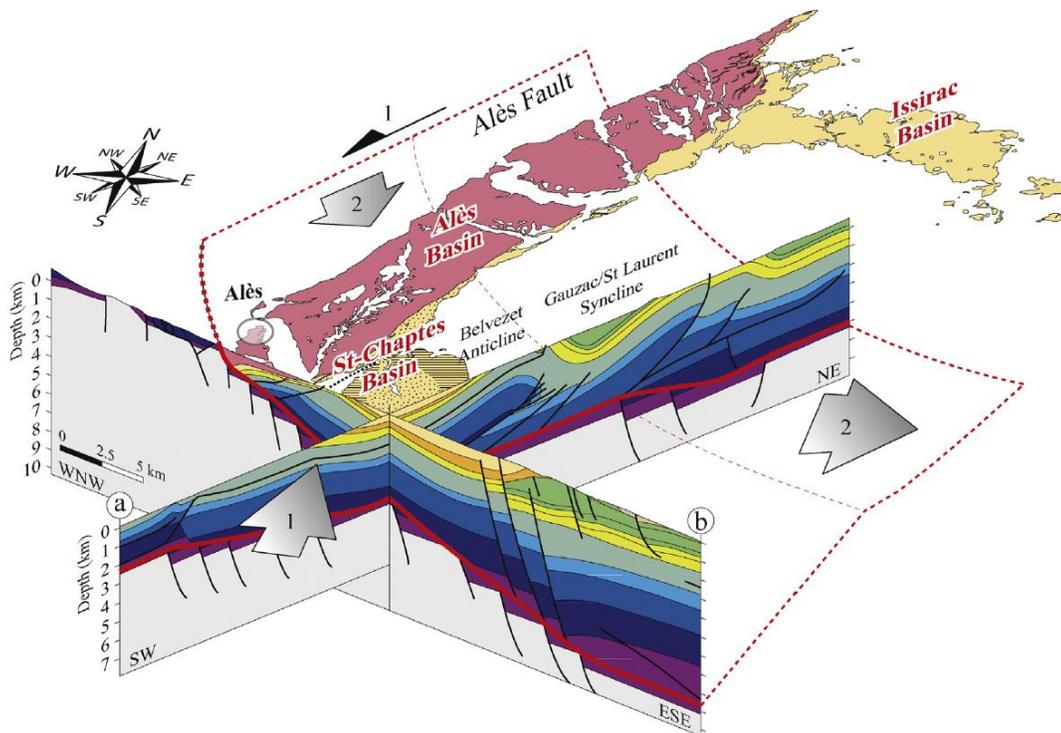


Excursion AGSE 2019 – Prix de Thèse 2018 – LETTERON A.



Le système lacustre Alès-Saint-Chaptès-Issirac (ASCI)

Lettéron Alexandre & Fournier François



© Le contenu de ce document est la propriété d'IFP Energies Nouvelles et ne peut être utilisé ou reproduit, sans l'autorisation écrite de la direction. Les figures font partie intégrante de la thèse de Lettéron A.

Cette sortie de terrain, a pour vocation de présenter les principaux résultats issus de la thèse de monsieur Alexandre Lettéron soutenue le 30 Mars 2018 à Marseille. Cette thèse de doctorat intitulée : « *Caractérisation sédimentologique, stratigraphique et paléoenvironnementale du système carbonaté lacustre à salinité variable du bassin d'Alès et des régions limitrophes (SE France) : implications paléoclimatiques et paléogéographiques.* » a été financée par l'IFP Energies Nouvelles et l'Université d'Aix-Marseille. Cette thèse a été co-encadrée par : FOURNIER François (Aix-Marseille Université), JOSEPH Philippe (IFPEN) et HAMON Youri (IFPEN). La thèse a été récompensée par l'attribution du prix de thèse de l'Association des Géologues du Sud-Est 2018.

Introduction générale

Le confinement des bassins lacustres tend à rendre ces systèmes particulièrement sensibles aux variations environnementales, écologiques et climatiques. Ils présentent ainsi un fort potentiel d'enregistrement des changements paléoclimatiques et paléogéographiques au cours des temps géologiques. La complexité de ces facteurs de contrôle et de leur impact sur la sédimentation dans les bassins lacustres d'eau douce ou salée rend difficile la prédiction d'architectures stratigraphiques dans de tels systèmes sédimentaires. Le déchiffrement des paramètres de contrôle et la compréhension des systèmes sédimentaires lacustres représentent donc un réel enjeu scientifique (reconstitutions paléogéographiques et paléoclimatiques, dynamique sédimentaire) et industriel (prédiction de la distribution des propriétés des roches). Les systèmes lacustres à salinité variable en contexte de rift sont d'autant plus concernés car la sédimentation résulte de sources mixtes (carbonatés, évaporitiques et silicoclastiques) et de différents processus sédimentaires (précipitation induite par voie microbienne, réactions physico-chimiques, hydrodynamisme...). De ce fait, l'analyse sédimentologique, diagénétique, géochimique détaillée des sédiments lacustres et celle du contenu biologique associé, est un pré-requis fondamental, qui permet de caractériser puis d'interpréter ces séries lacustres, véritables archives géologiques.

Cette sortie de terrain vise à présenter une analyse naturaliste et multi-échelle répartie depuis la caractérisation sédimentologique des roches d'un bassin, à la transposition plurirégionale des observations à l'échelle de l'Europe de l'Ouest. L'intervalle de temps étudié correspond au Priabonien (–38 à –33.5 Ma), période caractérisée par le développement d'un vaste système de lacs salins dans les divers segments du rifting ouest européen. C'est également une période clé dans l'histoire des changements paléoclimatiques du Cénozoïque, puisqu'elle représente une période de transition climatique précédant le refroidissement majeur de la limite Eocène-Oligocène. Le cas d'étude porte sur le système lacustre d'Alès–Saint-Chaptès–Issirac (ASCI) localisé dans le sud-est de la France. La méthode est basée sur l'intégration de disciplines diverses (sédimentologie, diagénèse, écologie, stratigraphie, micropaléontologie, géochimie inorganique et paléomagnétisme) et de données variées (surface et subsurface).

Cette visite de terrain vise à :

- interpréter les environnements de dépôt des formations observées en termes de salinité, profondeur, hydrodynamisme, température ;
- mieux appréhender l'architecture stratigraphique des systèmes lacustres mixtes en abordant les concepts géologiques associés ;
- vous présenter le nouveau cadre chronostratigraphique établi permettant de relier spatialement et temporellement les dépôts au sein du système ASCI ;
- discuter de l'origine de la salinité des systèmes lacustres en domaine continental ;
- replacer le système Eocène ASCI dans un cadre paléogéographique plus large (échelle du Sud-Est de la France / Europe) ;

Cinq arrêts (sites) d'intérêt seront présentés (Fig. 1). La plupart des sites sont localisés sur des axes routiers fréquentés. Nous tenons à insister que le port du gilet jaune est obligatoire pour étudier les affleurements situés en bord de route.

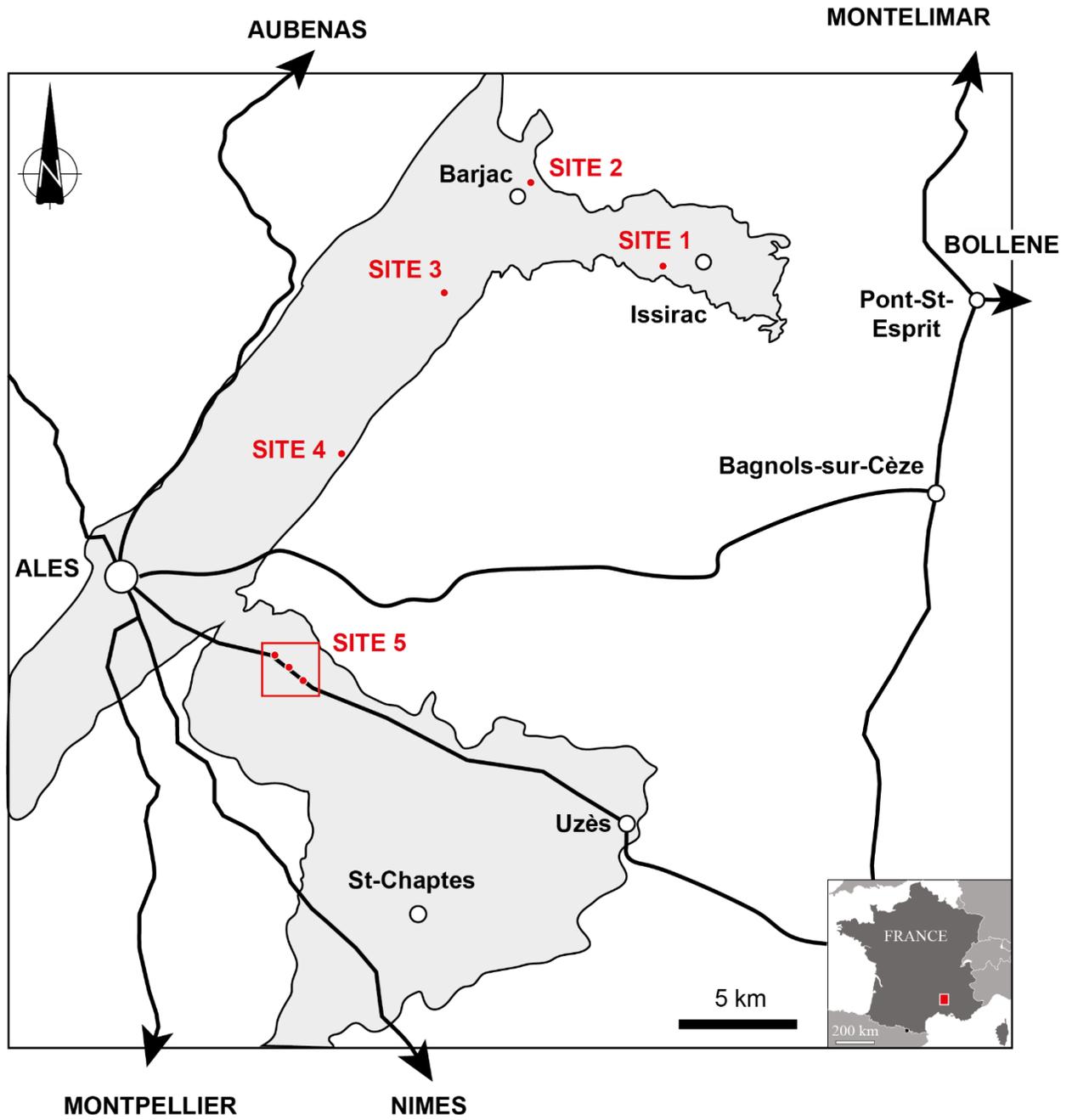


Nous commencerons par vous présenter les dépôts carbonatés lacustres proximaux et palustres du sous-bassin d'Issirac localisés au Nord-Est du système ASCI (SITE 1) entre Barjac et Issirac. Puis nous nous rendrons au Nord de Barjac (SITE 2) pour vous présenter des dépôts lacustro-palustres à lignites préservés dans les zones les plus subsidentes du bassin d'Alès. Le SITE 3, à proximité de Saint-Jean-de Maruejols nous permettra d'aborder le passé industriel minier du site et sera l'occasion de vous présenter les données de subsurfaces (enfouies – puits et sismique) relatives aux dépôts lacustres du bassin d'Alès. Le SITE 4 localisé sur la commune de Célas, où les roches affleurantes sont riches en bitume, nous permettra de faire le point sur le potentiel pétrolier des systèmes lacustres. L'étude du SITE 5 permet d'illustrer l'ensemble de la pile sédimentaire Eocène du sous-bassin de Saint-Chaptes, localisé au Sud-Est du système lacustre ASCI. Ainsi nous aurons passé en revue l'ensemble des formations sédimentaire priaboniennes du système lacustre ASCI. Dès lors, nous pourrions conclure en vous présentant les résultats relatifs à l'impact du climat et de la paléogéographie sur la sédimentation.

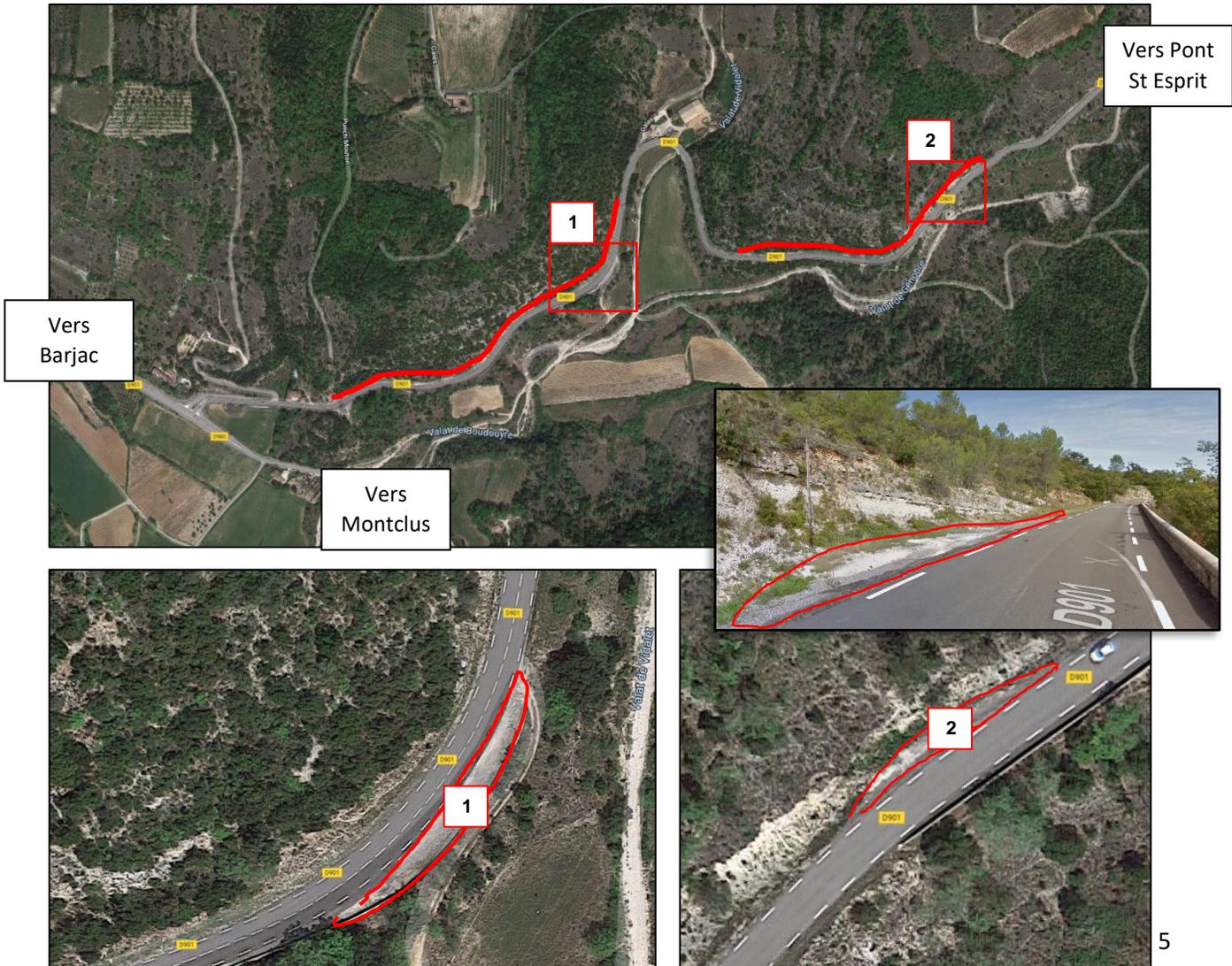
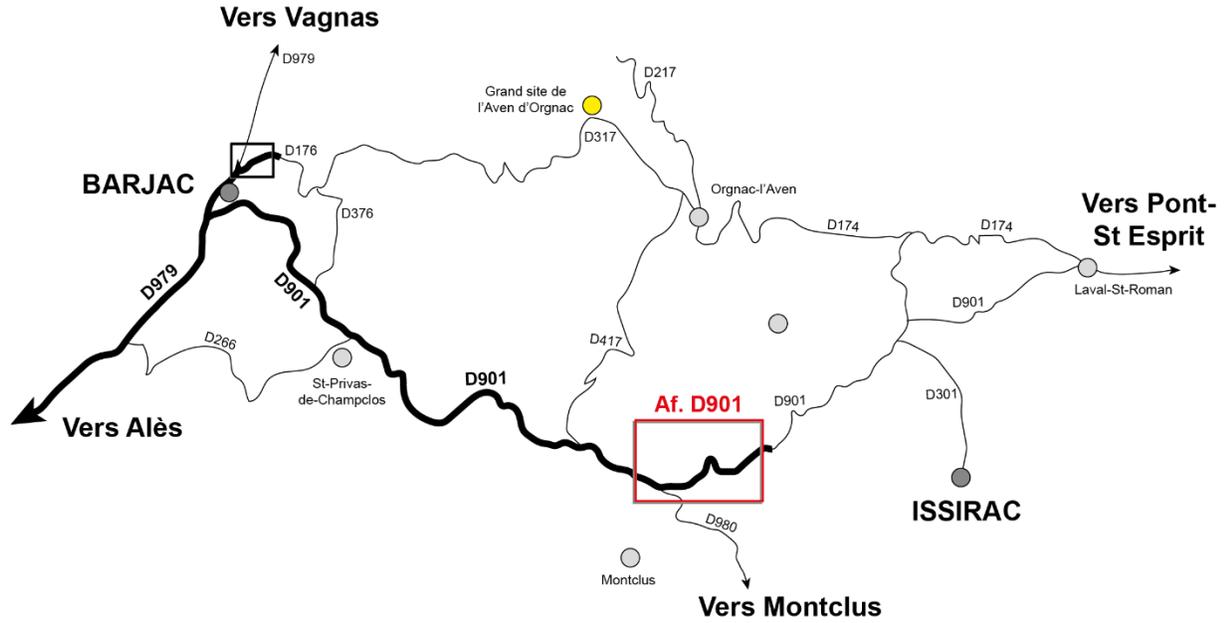
Articles scientifiques :

- Lettéron, A., Fournier, F., Hamon, Y., Villier, L., Margerel, J.-P., Bouche, A., Feist, M., Joseph, P., 2017. Multi-proxy paleoenvironmental reconstruction of saline lake carbonates: Paleoclimatic and paleogeographic implications (Priabonian-Rupelian, Issirac Basin, SE France). *Sedimentary Geology*, 358, pp. 97–120.
- Lettéron, A., Hamon, Y., Fournier, F., Séranne, M., Pellenard, P., Joseph, P., 2018. Reconstruction of a saline, lacustrine carbonate system (Priabonian, St-Chaptes Basin, SE France): depositional models, paleogeographic and paleoclimatic implications. *Sedimentary geology*, 367, pp. 20-47.
- Lettéron, A., Fournier, F., Hamon, Y., Demory, F., Joseph, P. 2018. Paleogeographic controls on sequence stratigraphic patterns in saline lakes: insights from Priabonian (Late Eocene) rift basins, South-East France. *In prep.*

Fig 1. Carte de localisation des arrêts (sites)



SITE 1 - Le Bassin d'Issirac – Af. D901



Le Bassin d'Issirac

Présentation et objectifs

Les séries carbonatées des lacs salés paléogènes du Rifting Ouest Européen et le déchiffrement des paramètres de contrôle associés ont été relativement peu étudiés. Le Bassin d'Issirac a la particularité de présenter une série carbonatée d'environ 200 mètres d'épaisseur d'âge Priabonien (à Rupélien ?). Ces séries traduisent un milieu lacustre salé peu profond. Nous allons chercher à :

- 1- contraindre les interprétations paléoenvironnementales des dépôts carbonatés lacustres en termes de salinité, bathymétrie, hydrodynamisme et température en proposant des modèles de dépôts ;
- 2- mettre en relation l'évolution verticale et latérale des environnements et les variations de composition géochimique des eaux avec les changements climatiques, tectoniques et paléogéographiques ;
- 3- discuter l'origine de la salinité dans le Bassin d'Issirac ;

La méthodologie employée

Les reconstitutions paléoenvironnementales et paléogéographiques proposées se basent sur une étude multidisciplinaire fondée sur :

- 1- la caractérisation sédimentologique et diagénétique des formations affleurantes ;
- 2- la détermination du contenu micropaléontologique (mollusques, ostracodes, foraminifères benthiques et charophytes) et son interprétation en termes biostratigraphique et paléoécologique ;
- 3- l'analyse des isotopes stables du carbone, de l'oxygène et du strontium.

Les principaux résultats

L'analyse micro-paléontologique révèle douze espèces de mollusques, douze genres de foraminifères et six genres d'ostracodes. Les classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) réalisées suivant le critère d'abondance des faunes révèlent différents assemblages biologiques de foraminifères, gastéropodes et ostracodes. L'étude paléoécologique des assemblages biologiques permet d'associer des gammes bathymétriques similaires, inférieures à 10 mètres de profondeur et des gammes de salinité s'échelonnant de l'eau douce à des eaux salées (euhalines–hyperhalines).

Sept faciès de dépôt, pour la plupart à dominante carbonatée, ont été identifiés et décrits selon des critères lithologiques, texturaux, paléontologiques, stratigraphiques (épaisseurs, structures, morphologies...) et diagénétiques. Parmi ces faciès, la présence d'évaporites est détectée indirectement. Les brèches intraformationnelles d'effondrement (faciès F1) à éléments carbonatés et siliceux, témoignent de la dissolution de bancs riches en évaporites au cours de phase d'émersion ($\delta^{13}\text{C} \sim -6,78\text{‰}$). L'étude pétrographique des faciès F2 révèle des figures de pseudomorphose de gypse prismatique de grande taille (sélénite) en silice. Ces faciès sont

associés à des milieux sursaturés, hypersalins et peu profonds (<5m). Les faciès carbonatés sont attribués à des environnements palustres à lacustres peu profonds (<10m). Hormis des faciès carbonatés granulaires (*grain-supported*) (F6) relativement peu représentés, deux types de faciès lacustres prédominent : 1) les faciès carbonatés microbiens représentés par des bindstones laminés plans (F4) ; et 2) des wackestones péloïdaux à mollusques, ostracodes et foraminifères (F5).

Les figures diagénétiques observées témoignent de différentes phases de transformations tels que : la dissolution sélective du gypse et de l'aragonite ; 2) la cimentation de calcite sparitique ; 3) la pédogénèse ; et 4) la silicification. Différentes classes d'évolution diagénétique ont été définies afin d'interpréter les signaux isotopiques (C et O) sur roche totale et d'en extraire une composante primaire pouvant être reliée au contexte paléoenvironnemental et paléohydrologique.

Les analyses des isotopes stables du carbone et de l'oxygène permettent d'appréhender : 1) les conditions hydriques (balance entre les apports et l'évaporation) ; 2) le temps de résidence des eaux (système clos vs ouvert) ; 3) la couverture végétale des bassins versants (carbone inorganique dissout) ; 4) les processus biologiques (bilan photosynthèse vs respiration) ; et 5) l'existence de connections avec des masses d'eau salées régionales.

Trois unités sédimentaires à caractère transgressif, séparées par des discordances majeures (surfaces d'émersion), ont été définies selon des critères sédimentologiques, géochimiques et paléoécologiques qui ont permis de reconstituer les conditions paléoclimatiques et paléohydrologiques au moment de leur mise en place : 1) unité U1 : climat aride associé à une couverture végétale clairsemée dans le bassin versant et un bilan apports-évaporation négatif ; 2) unité U2 : transition d'un climat semi-aride à bilan apport-évaporation négatif vers un climat plus humide ; et 3) unité U3 : climat globalement plus humide que pour U1 et U2 et cycles eau douce-eau salée associés à des connections avec des lacs salins régionaux (Camargue, Mormoiron...).

Conclusions et perspectives

Trois unités sédimentaires ou hémicycles transgressifs ont été mises en évidence et sont respectivement nommés de la base au sommet : U1, U2 et U3. Le couplage de l'analyse sédimentaire, paléoécologique et du signal géochimique des isotopes stables du carbone et de l'oxygène permet de caractériser l'évolution de la salinité des eaux pour chacune des unités en réponse à des facteurs tectoniques et/ou climatiques. Les unités U1 et U2 enregistrent des variations de salinité allant d'un pôle oligo-mésohalin à un pôle hyperhalin alors que l'unité U3 est caractérisée par des environnements d'eau douce à oligohalins. Les dépôts évaporitiques présents à la base des unités U1 et U2 se déposent en début de transgression lacustre. Les trois unités, elles-mêmes divisées en sous-unités, se corrèlent à travers tout le Bassin d'Issirac. **La continuité cartographique des affleurements priaboniens entre les bassins d'Issirac, Alès et Saint-Chaptes suggèrent un système lacustre plus important et laissent entrevoir des perspectives de compréhension/corrélation à plus grande échelle.**

L'empilement vertical des dépôts carbonatés à évaporitiques et les variations de salinité associées aux unités U1 et U2 reflètent des changements dans le bilan apports-évaporation typiques de ceux observés en contexte climatique semi-aride. Les faunes d'eau douce et les faciès palustres développés dans l'unité U3 suggèrent un climat plus humide malgré les quelques passées temporaires à faunes halophiles retrouvées dans le haut de la série, suggérant des

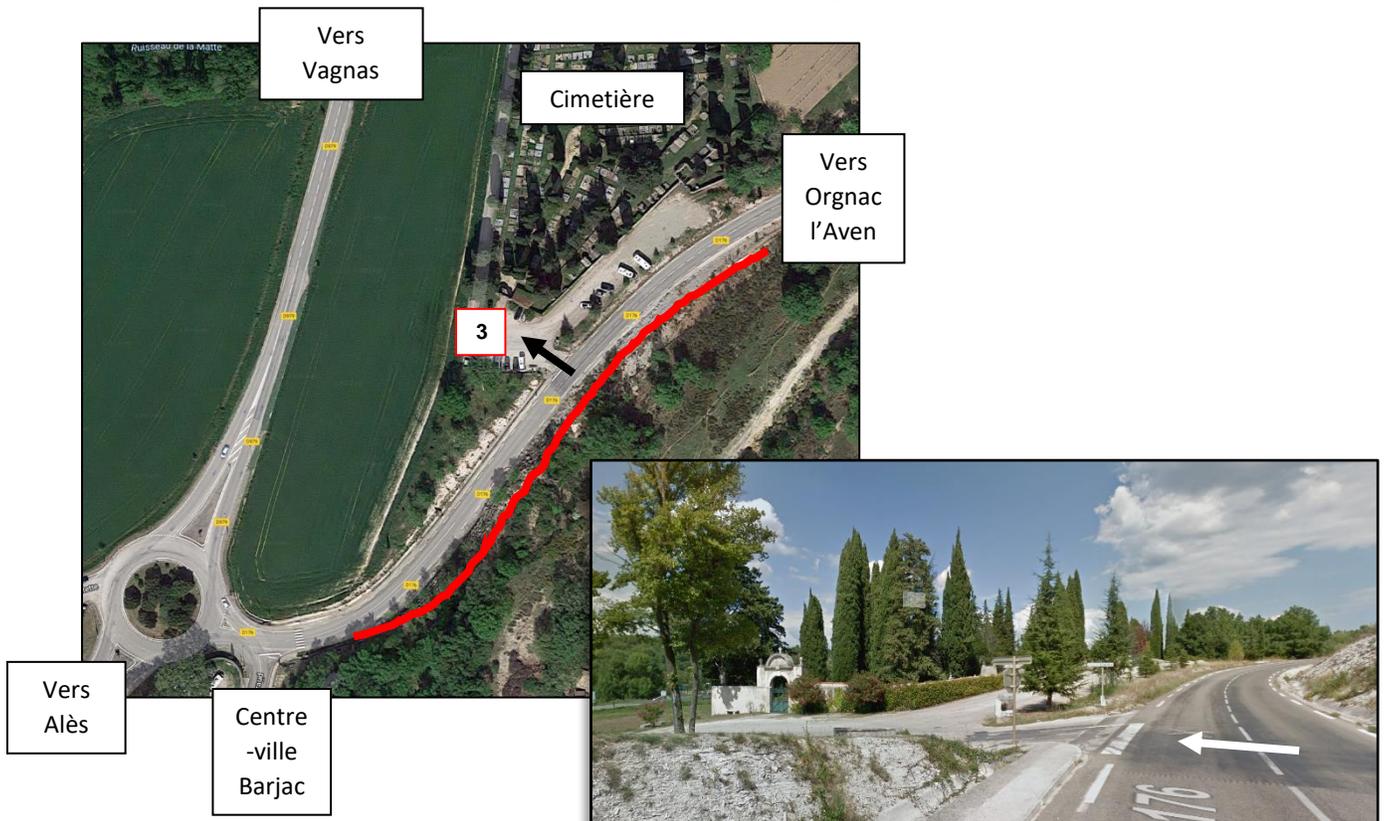
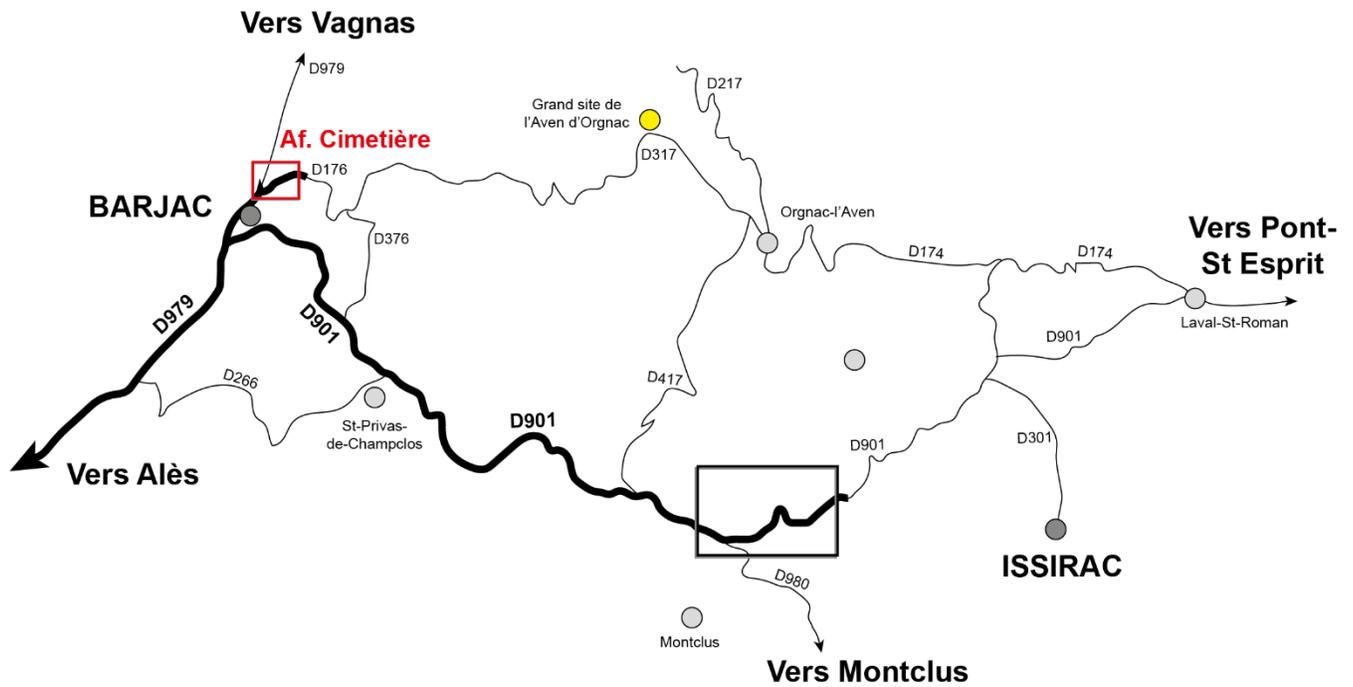
connections avec des masses d'eau salées voisines. La variation climatique enregistrée entre les unités U2 et U3 témoignent de la transition d'un climat relativement sec à un climat humide. Les datations charophytes indiquent un âge Priabonien supérieur à Rupélien inférieur pour l'unité U3 (Superzone Harrisichara tuberculata). **En l'absence de datations plus fines, on peut émettre l'hypothèse que l'on enregistre dans le Bassin d'Issirac, les prémices de la transition climatique de l'Eocène–Oligocène.**

La production carbonatée en domaine lacustre peu profond (<10 m) est assurée par l'activité et le piégeage des tapis microbiens (stromatolites) et/ou par la précipitation de micrite associée aux herbiers à macrophytes. **La compréhension des facteurs de contrôle sur les producteurs primaires des lacs peu profonds semble être un axe de recherche de premier ordre pour prédire la sédimentation associée.**

L'absence d'espèces sténohalines dans le Bassin d'Issirac, les données géochimiques et la distance du rivage de la mer Alpine au Priabonien–Rupélien (environ 100 km à l'est), sont des arguments suggérant un bassin lacustre essentiellement endoréique plutôt qu'un domaine margino-littoral ou marin. L'origine de la salinité du Bassin d'Issirac n'est pas totalement clarifiée, néanmoins parmi les cinq hypothèses possibles, deux origines sont envisagées et supposent soit : une connexion avec une masse d'eau salée voisine durant les hauts niveaux (e.g. Mormoiron, Camargue), elle-même influencée par de l'eau de mer ou dérivée du lessivage de sel triasique ; soit un apport via des résurgences hydrothermales le long des accidents limitrophes. Le Bassin d'Issirac, par sa morphologie synclinale et sa position intermédiaire entre les bassins d'Alès et Rhodaniens a pu potentiellement être un corridor connectant les deux domaines et permettant ainsi des connexions hydrologiques (de surface, biseaux salés...) durant les hauts niveaux. **La question de l'origine de la salinité est déplacée aux bassins limitrophes** (c'est-à-dire à l'ouest au Bassin d'Alès et à l'est aux lacs de la vallée du Rhône).

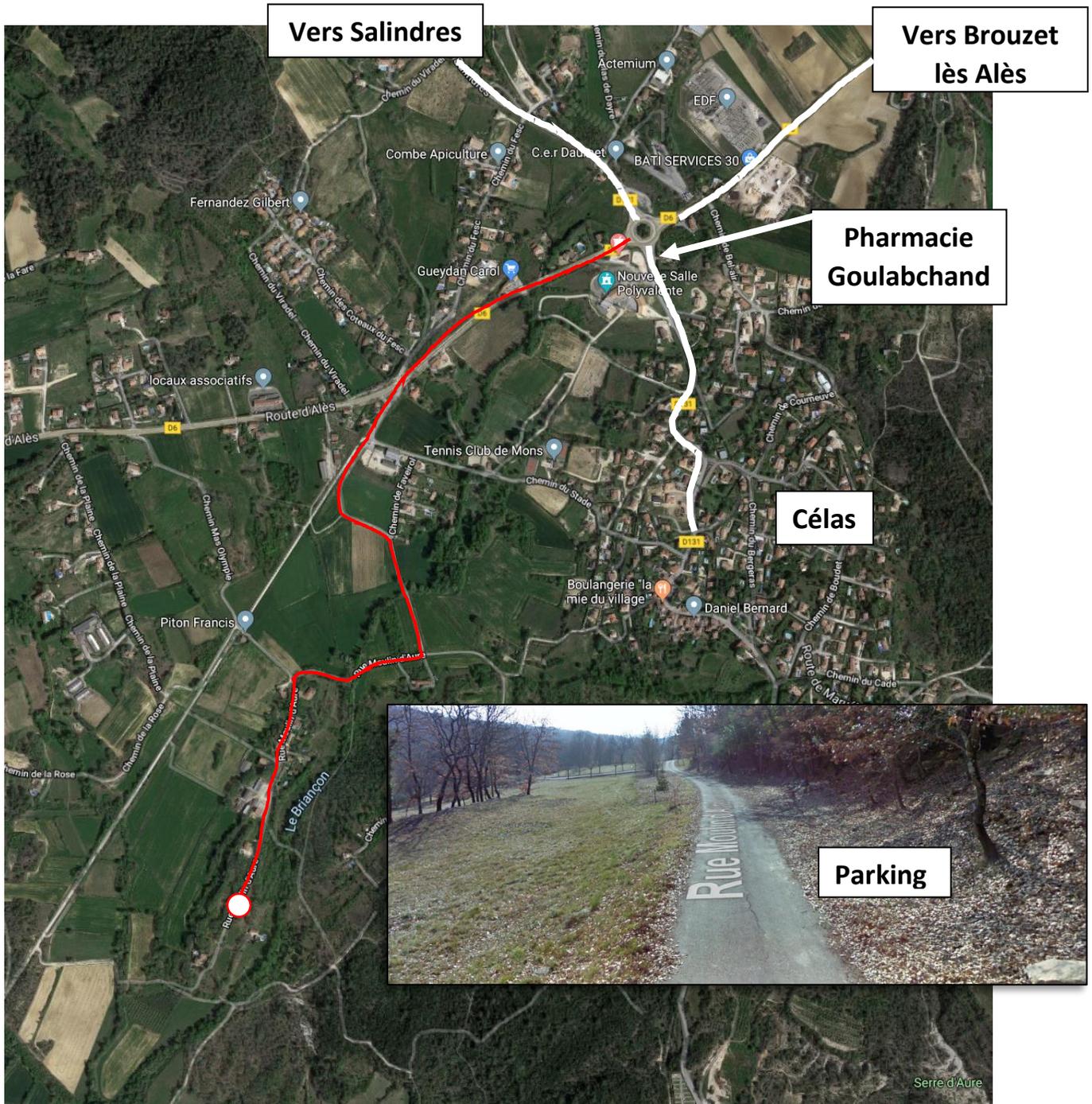
SITE 2 - Le Bassin d'Alès – Barjac – Af. Cimetière

Parking : Cimetière de Barjac (D176) - Sortie de Barjac en direction de l'Aven d'Orgnac
Coordonnées GPS = 44°18'44.5"N - 4°21'00.7"E



SITE 4 - Le Bassin d'Alès – Célas – Mas d'Olympie

Aire de covoiturage : Pharmacie Goulabchand 53 route de Célas, 30340 Mons



Le Bassin d'Alès

Présentation et objectifs

Les dépôts du Priabonien du Bassin d'Alès atteignent 800 m d'épaisseur, valeur bien supérieure à celle des bassins d'Issirac et de Saint-Chaptes (~200m). Le Bassin d'Alès développé le long d'accident majeurs est la zone la plus subsidente du système lacustre ASCI (e.g. [Sanchis & Séranne, 2000](#)) et présente les environnements de dépôts les plus distaux. Les cadres stratigraphiques précédemment proposés ([Alabouvette et al., 1983](#)), étaient fondés sur des critères essentiellement lithostratigraphiques (e.g. bancs de lignites, bancs oolithiques), sur quelques assemblages biologiques (mollusques, charophytes) et n'intégraient pas les séries subsidentes du Bassin d'Alès uniquement connues par les données de subsurface. La définition d'un cadre chronostratigraphique bien contraint pour le système ASCI est le prérequis indispensable pour tirer des conclusions sur les éléments suivants : 1) la définition de modèles de dépôt à l'échelle du système ASCI, intégrant le lac profond et les domaines marginaux ; 2) l'établissement d'un calendrier des changements paléoclimatique et paléo-hydrologique du Priabonien dans le sud-est de la France ; 3) l'établissement de modèles de mise en place de séquences de dépôt dans les systèmes lacustres salins syn-rifts, en fonction des changements paléoclimatiques et paléohydrologiques régionaux ; 4) les corrélations inter-bassins ; et 5) les reconstructions paléogéographiques à l'échelle du sud-est de la France.

La méthodologie employée

Pour répondre à ces problématiques, la méthode envisagée consiste à

- caractériser les faciès sédimentaires du Bassin d'Alès et restituer l'évolution verticale et latérale des environnements de dépôt en proposant des panneaux de corrélations à l'échelle du système ASCI ;
- étudier le signal des isotopes stables du carbone et de l'oxygène des formations carbonatées du Bassin d'Alès et les confronter aux signatures obtenues dans les bassins d'Issirac et de Saint-Chaptes ;

Les données

Une attention particulière est apportée à l'analyse des données de subsurface du Bassin d'Alès mais englobe également les données de surface.

Ce chapitre fait référence à des données sédimentologiques macroscopiques et microscopiques, paléontologiques (charophytes et mammifères), et géochimiques (isotopes stables du carbone et de l'oxygène et du soufre, éléments traces). Les données de subsurface du Bassin d'Alès incluent des diagraphies, des intervalles carottés (MAR101, SD101, SC1 et SC2) et des *cuttings* de forages (fragments centimétriques de roches – MAR1).

Forage	Localisation	Diagraphies et rapports de fin de sondage (RFS)	Intervalle étudié (m)	Profondeur maximale	Travaux de complétion
LU2	Saint-Victor-de-Malcap	Diagraphies (SP, Res) + RFS	–	1993 m	1951-1952
MAR1	Saint-Victor-de-Malcap	Diagraphies (GR, SP, Res) + RFS	Déblais 400-1330	1566 m	1947-1948
MAR3	RocheGude	Diagraphies (SP, Res) + RFS	–	888 m	1949
MAR4	RocheGude	Diagraphies (SP, Res) + RFS	–	1788 m	1949-1950
MAR7	Saint-Victor-de-Malcap	Diagraphies (SP, Res) + RFS	–	930 m	1949-1950
MAR101	Saint-Victor-de-Malcap	Well logs (DT, SPHI, GR) + MLR	Carottes 744-872	917 m	1980
SD101	Salindres	Diagraphies (SP, Res) + RFS	Carottes 230-650	1648.8m	1961-1962
SC1	Allègres-les-Fumades	–	Carottes 0-120	122 m	2007
SC2	Allègres-les-Fumades	–	Carottes 0-120	122 m	2007

Liste des données de subsurface du Bassin d'Alès.

Les principaux résultats

Les neuf associations de faciès (abrégées FA) reconnues dans le système ASCI ont été interprétées en terme d'environnements de dépôt et replacer sur trois modèles de dépôts associés à des états climatiques distincts. On trouve :

- modèle de dépôt de lac ouvert, sous des conditions climatiques tropicales à subtropicales humides ;
- modèle de dépôt de lac semi-clos, sous des conditions climatiques subtropicales semi-arides ;
- modèle de dépôt de lac clos développé sous des conditions arides.

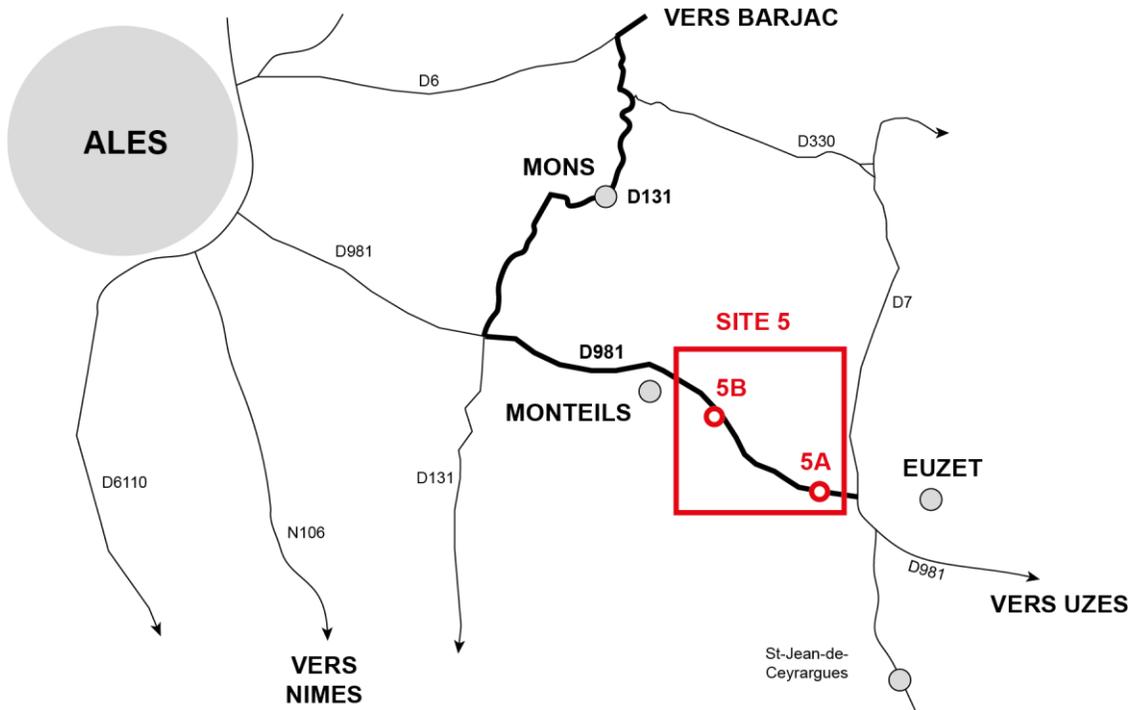
Le couplage des datations paléomagnétiques et des données biostratigraphiques indiquent un âge Priabonien moyen à Priabonien supérieur pour l'ensemble des formations du Bassin d'Issirac. Deux panneaux de corrélations ont été construits à travers le système ASCI, suivant des transects nord-sud et est-ouest et révèlent l'architecture stratigraphique du système ASCI via six séquences de dépôt majeures (SPr1 à SPr6).

Les analyses des isotopes stables du carbone et de l'oxygène permettent d'appréhender : 1) les conditions hydriques (balance entre le flux hydrique et l'évaporation) ; 2) le temps de résidence des eaux (système clos vs. ouvert) ; 3) la couverture végétale des bassins versants (carbone inorganique dissout) ; 4) les processus biologiques (bilan photosynthèse vs respiration) ; et 5) l'existence de connections avec des masses d'eau salées régionales.

Les isotopes du soufre dans les sulfates suggèrent que la salinité des eaux du système ASCI est influencée par un domaine marin limitrophe.

SITE 5A - Le Bassin de St-Chaptes – Monteils (5B) & Euzet (5B) – D981

Parking 5B : 44°05'08.9"N – 4°11'42.3"E



Le Bassin de Saint-Chaptes

Présentation et objectifs

Le Bassin lacustre de Saint-Chaptes représente la partie méridionale du système lacustre d'Alès–Saint-Chaptes–Issirac (ASCI). La sédimentation y est mixte, carbonatée, silicoclastique et dans une moindre mesure évaporitique. La série étudiée, bien datée par les faunes de mammifères et les charophytes, est d'âge exclusivement Priabonien (zones mammaliennes MP17 à MP19). Dans ce bassin nous allons tenter de :

- 1- caractériser les environnements de dépôts et les signatures géochimiques (quantification élémentaire, isotopes du carbone et de l'oxygène) en termes de salinité, de bathymétrie, de contexte climatique et hydrologique (bilan apports-évaporation, potentielles connections de surface avec les domaines lacustres/marins limitrophes) ;
- 2- proposer des modèles de dépôt en adéquation avec les paléoenvironnements littoraux lacustres à remplissage mixte, en tenant compte des contraintes paléoécologiques, paléoclimatiques et paléogéographiques ;
- 3- replacer le Bassin de Saint-Chaptes dans son contexte paléogéographique au Priabonien, en particulier reconstruire les connections potentielles du système ASCI avec les lacs salins régionaux (Camargue, Mormoiron) ;
- 4- décrypter l'enregistrement des variations climatiques du Priabonien à partir de la sédimentation du Bassin de Saint-Chaptes.

Les affleurements se répartissent de part et d'autre de la route départementale D981 entre Monteils et Euzet (Gard, France). Cette coupe compilée, d'une épaisseur estimée à environ 220 m, illustre la Formation Carbonatée et Evaporitique Inférieure (LCEF) du Bassin de Saint-Chaptes, faisant suite aux dépôts d'âge Bartonien et coiffée par la Formation des Grès de Célas (*Célas Sandstone Formation* – CSF). Les sédiments sont datés à la base par le gisement de mammifères d'Euzet (MP17A - Priabonien inférieur - [Depéret, 1917](#)) et au sommet par la Formation des Grès de Célas associée aux biozones de mammifères MP18/19 ([Rémy, 1985](#) ; [Rémy & Fournier, 2003](#)). Un âge Priabonien ressort également de l'étude des charophytes des secteurs de Monteils et de Saint-Hippolyte-de-Caton ([Feist-Castel, 1971](#)).

La méthodologie employée

Les reconstitutions paléoenvironnementales, paléoclimatiques et paléogéographiques proposées se basent sur une étude multi-proxy intégrant six différentes thématiques :

- 1- la caractérisation sédimentologique et diagénétique des formations affleurantes ;
- 2- la détermination du contenu paléontologique (mollusques, ostracodes, foraminifères benthiques et charophytes) et l'intégration des données biostratigraphiques et paléoécologiques issues de la bibliographie (mammifères, charophytes, poissons, insectes) ([Roman, 1910](#) ; [Depéret, 1917](#) ; [Hartenberger, 1970](#) ; [Alabouvette et al., 1983](#) ; [Rémy, 1985](#) ; [1994](#) ; [1999](#) ; [Rémy & Fournier, 2003](#) ; [Reichenbacher, 2004](#)) ;

- 3- la synthèse des données palynologiques préexistantes ([Gruas-Cavagnetto, 1973](#) ; [Ellenberger, 1980](#) ; [Alabouvette et al., 1983](#)) ;
- 4- l'interprétation des isotopes stables du carbone et de l'oxygène, en déconvoluant l'empreinte diagénétique du signal primaire, afin de remonter au contexte paléohydrologique ;
- 5- la composition géochimique élémentaire des éléments majeurs et traces ;
- 6- l'analyse minéralogique des assemblages argileux.

Les principaux résultats

Deux assemblages floristiques ressortent de l'analyse bibliographique : 1) l'assemblage FLA1 caractérise des zones humides marécageuses lacustres (fougères, plantes aquatiques et semi-aquatiques) entourées par une forêt extra-palustre humide sous climat subtropical ; et 2) l'assemblage FLA2 révèle un environnement plus sec marqué par la prédominance des pollens de conifères (*Pinaceae*) au détriment des spores de ptéridophytes.

A l'instar des classes diagénétiques proposées pour le Bassin d'Issirac, quatre classes diagénétiques ont été définies pour le Bassin de Saint-Chaptes dans le but d'identifier et de s'affranchir de l'impact de l'empreinte diagénétique sur les signaux isotopiques du carbone et de l'oxygène réalisées sur roches totales et d'en estimer le signal primaire. Les principaux caractères diagénétiques mis en évidence dans les carbonates du Bassin de Saint-Chaptes sont : figure de dissolution sélective (aragonite et gypse), cimentation de calcite sparitique ou microsparitique (en franges anisopaques, en mosaïque ou de blocage ; en position intergranulaire ou en remplissage de cavité de dissolution), et figures pédogénétiques (traces de racines, grains-enrobés, craquelures périgranulaires, micritisation prononcée des grains calcitiques).

Les quatorze faciès identifiés sont regroupés en trois associations de faciès : 1) l'association lacustre mixte carbonate-terrigène ; 2) l'association carbonaté de lac salifère et 3) l'association palustre. L'étude de l'évolution verticale des faciès couplée à l'analyse du contenu paléontologique (faunistique et floristique), l'analyse géochimique (isotopique et élémentaire) ainsi que l'analyse minéralogique des assemblages argileux ont permis de distinguer cinq unités sédimentaires distinctes au sein de la LCEF. Chacune de ces unités présentent des spécificités d'ordre climatique (subtropical vs tropical, humidité vs aridité, saisonnalité plus ou moins marquée,...), de salinité des masses d'eau (eau douce à mésohalin), de bathymétries (palustre à lacustre franc), d'hydrodynamisme (calme vs agité), d'apport en sédiments terrigènes et de connectivité/isolement du bassin (lac ouvert ou clos).

Conclusions et perspectives

Cinq unités ont été mises en évidence au sein de la formation carbonatée et évaporitique inférieure (LCEF). De la base au sommet, on trouve : 1) l'unité U1, déposée dans un lac d'eau douce, clos, sous conditions climatiques sèches et évaporitiques ; 2) l'unité U2, associée à un système deltaïque lacustre à sédimentation mixte carbonatée et silicoclastique, développé dans un lac d'eau douce à saumâtre sous des conditions climatiques humides ; 3) l'unité U3 traduisant un environnement lacustre carbonaté et salé, mis en place en contexte climatique humide ; 4) l'unité U4 qui reflète un lac à tendances évaporitiques ; et 5) l'unité U5, interprétée comme un lac peu profond et clos, à sédimentation carbonatée, développé en contexte climatique méditerranéen à saisons sèches marquées. Au-dessus, l'unité U6 représente une transition vers

le système à dominante silicoclastique des Grès de Célas (CSF), et marque un maximum d'apports hydriques de surface dans le lac.

Les dépôts du Bassin de Saint-Chartes enregistrent les prémices de la détérioration climatique de la transition Eocène–Oligocène. L'aridification du climat a débuté dès le début du Priabonien (unité U1, zone mammalienne MP17). L'étude révèle ensuite une transition climatique vers des conditions plus humides (unités U2 et U3), puis de nouveau des conditions arides à semi-arides (unités U4 à U5) au cours du Priabonien inférieur à moyen (MP17B–MP18). Enfin, le développement du système silicoclastique fluvio-deltaïque des Grès de Célas marque vraisemblablement un retour vers des conditions plus humides au Priabonien supérieur (MP19). Ces variations climatiques observées dans l'enregistrement sédimentaire du Bassin de Saint-Chartes, peuvent être corrélées avec d'autres cycles climatiques mis en évidence dans les dépôts Priabonien du bassin de Paris ou du fossé Rhéna.

L'absence de faune sténohaline, la faible concentration en sodium (Na) des carbonates dans les unités U4 à U6 et la longue distance séparant le Bassin de Saint-Chartes aux domaines marins francs (>100 km) est en faveur d'un système lacustre à dominante endoréique. Néanmoins, les ratios Sr/Ca et Na/Ca élevés et les faunes halophiles observées dans les unités U2 et U3 n'excluent pas l'existence de connections au moins transitoires avec des bassins salés limitrophes influencés par de l'eau de mer. La faible épaisseur (<20m) et la nature marno-calcaire à gypse des terrains triasiques de la bordure Cévenole excluent une alimentation directe en provenance du bassin versant du système ASCI. Néanmoins, une origine possible de la salinité des bassins lacustres priaboniens du sud–est de la France pourrait être le lessivage de sel triasique alimenté depuis les diapirs à la surface (e.g. Suzette). De plus, la cartographie et l'étude bibliographique des dépôts du Trias salifère (Keuper) montrent qu'un éventuel lessivage des terrains localisés à l'est de la faille de la Durance ou au sud depuis les paléo-massifs Pyrénéens aujourd'hui enfouis dans le Golfe du Lion a pu potentiellement se produire et alimenter les eaux des lacs. Les reconstitutions paléogéographiques indiquent enfin la possibilité de connections avec le domaine marin franc depuis le sud via le Bassin de Camargue, et les Grabens de Grand-Faraman ou du Graben Central recoupant les chaînons Pyrénéens, ou potentiellement vers la mer Alpine (seuil de Crest). **Dans tous les cas, quelle que soit l'origine des sels (sels triasiques ou eau de mer), la salinisation du système lacustre ASCI est liée à des connections plus ou moins prolongées avec les lacs salins limitrophes de Camargue et Mormoiron.**

Les variations climatiques enregistrées dans la sédimentation priabonienne du système ASCI dépassent le cadre régional du Bassin de Saint-Chartes et sont à relier à des changements climatiques à l'échelle de l'Europe de l'ouest et éventuellement au-delà. Des conclusions similaires ont été avancées par [Schuler \(1990\)](#) pour les dépôts contemporains des fossés Bressan, Rhéna et la dépression de la Hesse. Néanmoins, l'auteur souligne une relative indépendance entre les types de climat et la formation des évaporites en domaine continental. L'élément moteur à l'origine des dépôts évaporitiques serait d'avantage lié à la tectonique (subsidence, niveau de base). Ces nouvelles problématiques nécessitent de prendre en considération le système lacustre dans son ensemble (marges et bassin). Dans ce cas d'étude, l'ensemble du domaine lacustre Alès–Saint-Chartes–Issirac, peut potentiellement apporter des éléments de réponse. Cependant les prérequis sont : 1) l'établissement d'un cadre chronostratigraphique bien contraint et 2) la corrélation des domaines marginaux (bassins d'Issirac au nord et de Saint-Chartes au sud) avec le dépo-centre lacustre (Bassin d'Alès) afin

d'estimer la réponse du système aux variations climatiques, tectoniques, paléoécologiques et paléogéographiques.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'évolution verticale des environnements de dépôts du système ASCI traduit divers cycles de variations du niveau de base régional, lui-même relié à : 1) des cycles d'aridification–humidification au cours du Priabonien et 2) des variations eustatiques. Deux épisodes arides sont mis en évidence : le premier pendant le Priabonien moyen (MP18) et le second au Priabonien supérieur (MP19). Ils sont marqués par la sédimentation de deux intervalles évaporitiques (gypse et anhydrite) épais (>150m chacun) dans le Bassin d'Alès et l'érosion (non-dépôt) des bordures. Il n'est cependant pas exclu que le développement des lacs évaporitiques soit en partie influencé par des chutes eustatiques qui auraient forcé une baisse du niveau de base régional et qui à son tour aurait favorisé l'isolement des bassins lacustres salins. Le retour à des conditions plus humides est mis en évidence au Priabonien supérieur.

Les analyses sédimentologiques, paléontologiques, géochimiques et magnétostratigraphiques des bassins d'Alès, Saint-Chaptes et Issirac fournissent des informations importantes sur la paléogéographie et la paléohydrologie des systèmes lacustres salifères du sud-est de la France pendant le Priabonien. Du point de vue de la sédimentation des bassins du sud-est de la France, huit sous-périodes clés se dégagent. Les cartes proposées pour chacune des étapes s'échelonnent depuis le Bartonien supérieur (MP16) jusqu'au Priabonien supérieur (MP19). Les reconstitutions révèlent l'extension géographique des lacs dans les différents segments du rift, la salinité supposées des masses d'eaux, les sources d'apports sédimentaires et les éventuelles connexions des lacs avec le domaine marin par le sud.

Les eaux du système ASCI se chargent en sel dissous lors des phases de transgression qui connectent temporairement le système ASCI avec les bassins limitrophes « salés » et étendus à l'est de la faille de Nîmes.

Cette étude montre le développement de nouveaux concepts stratigraphiques qui prennent en compte une large gamme de paramètres de contrôle tels que la subsidence, les connections avec les lacs limitrophes, les apports sédimentaires, les changements climatiques et la variation du niveau de base régional.