



Société
Géologique
de France

27^e RÉUNION DES 01 au 05 novembre 2021
SCIENCES DE LA TERRE

Centre de Congrès | LYON

www.rst-sgf.fr



Livre des résumés Abstracts

Co-organisé avec



Soutiens





Multiple phases of fracturation in Quercy (southwest France) limestones. Dating the stress record in an intraplate setting.

Stephen Brown^{*1,2}, Cécile Allanic¹, Benjamin Brigaud², Simon Andrieu¹,
Xavier Mangenot³, Quentin Deloume-Carpentras², Eric Lasseur¹

¹BRGM - France

²Université de Paris-Saclay, GEOPS, CNRS - France

³California Institute of Technology (CIT) – United States of America

This study questions the propagation of far field stress and the reactivation of inherited faults in the forelands during an orogeny. The NW-SE hercynian and the NE-SW variscan directions of structures in southcentral France forms the well-known “hercynian V” playing a major role in the subsequent sedimentation and tectonic deformation in the eastern Aquitaine Basin. The most important structures recognized in the area include the N20° Villefranche-Toulouse fault and the N150° West Quercynois Accident. Our study combines structural fieldwork with petrography and geochemical analyses of syn-kinematic calcites to better spatially and temporally characterize the linkages between intraplate deformations, the nature of associated syn-kinematic fluids and major events occurring at the plate boundaries.

Fieldwork observations and structural analyses reveal three principal directions: E-W reverse faults, NW-SE dextral and NE-SW sinistral strike-slip faults. Paleostress inversions show that they are kinematically coherent, all with a nearly N-S horizontal σ_1 . Moreover, evidence of E-W normal faulting exists, characterized by a N-S extension.

In order to conduct a petrographic and geochemical study, 30 oriented thin sections have been realized from calcite cement samples collected from faults and fractures. Observations of thin-sections with alizarin–potassium ferricyanide and by cathodoluminescence microscopy allows for documentation of the cement stages. The two different stress states (extension and compression) consist of specific cement type: calcite extensive (CAL-E) and calcite compressive (CAL-C). These two fracture fillings are characterized by two distinct geochemical signatures (-6.65 ‰ and -6.02 ‰ in d_{18O} and -3.80 ‰ and -0.24 ‰ in d_{13C}). In situ U-Pb age of syn-kinematic calcite suggest two distinct periods of tectonic activity during the (1) Campanian/Maastrichtian and the (2) Lutetian/Bartonian. Clumped isotope data suggests a crystallization temperature of about 45°C and d_{18O} of paleo fluid around 0‰.

Using this combined approach, we revisit the tectonic calendar revealing tectonic events not always clearly expressed in the field. We show that stress fields propagate throughout intraplate settings in the form of pulses of strong tectonic activity from the Pyrenean Orogeny.

Keywords: Quercy, Aquitaine Basin, syn-kinematic, calcite, U-Pb dating, d_{13C} , d_{18O} , δ_{47}



Rock typing et hétérogénéité de la formation des grès de Roda (Eocène inférieur, Bassin sud pyrénéen) : un analogue de terrain aux réservoirs deltaïques

Adrien Henry ^{*1}, Raphaël Bourillot ¹, Perrine Mas ², Rémy Deschamps ³, Benjamin Brigaud ², Eric Portier ², Bertrand Saint-Bezar ², Hugues Féliès ¹, Philippe Razin ¹

¹ Géoressources et Environnement – Université Bordeaux Montaigne EA4592 – Bordeaux INP, France

² Université Paris-Saclay, GEOPS, CNRS, Orsay, France

³ Institut Français du Pétrole, Energies Nouvelles (IFPEN), France

Les propriétés de porosité et de perméabilité déterminent en grande partie la qualité des réservoirs géothermiques. Il existe un réel risque qu'une opération nouvelle n'obtienne pas une ressource géothermique présentant des caractéristiques de porosité/perméabilité et de température suffisante pour assurer la rentabilité du projet pendant sa durée de vie. Ce risque géologique est en grande partie due à l'hétérogénéité du réservoir et à sa prédiction, ce qui constitue un obstacle au développement futur de la géothermie. La difficulté à prédire les hétérogénéités pousse les géologues à caractériser des analogues de réservoir à l'affleurement. Pour les réservoirs silicoclastiques, l'analogue ciblé est la formation des grès de Roda en Aragon, Espagne. Il s'agit d'une formation deltaïque datée de l'Yprésien, déposée dans le bassin de Tresp-Grauss. Cette formation constitue, de part une qualité d'affleurement exceptionnel et la présence de forages à proximité des affleurements, un excellent analogue aux réservoirs deltaïques. Sa position dans un bassin d'avant pays tectoniquement actif lors de son dépôt fait que cette formation a été particulièrement influencée par les variations du niveau marin et les plis synsédimentaires. Cette formation a été étudiée par Elf et l'IFPEN dans les années 80-90 et notre étude s'appuie sur de nombreuses données existantes.

Les premiers résultats de terrain et sur les carottes ayant traversés la barre Y montrent une vingtaine de faciès, du delta aux barres tidales. Les porosités, perméabilités, vitesses acoustiques et résonance magnétique nucléaire sur environ 300 plugs sont en cours d'acquisition dans le but de proposer des relations faciès-porosité-perméabilité précises. Les données pétrophysiques issues des échantillons sur carottes et de terrain seront comparées afin de discuter le potentiel rôle de la télogénèse, qui constitue un problème souvent difficile à quantifier dans les modèles réservoirs d'affleurement.

Mots-Clés : Rock typing, Analogues, Système deltaïque, Hétérogénéité réservoir, Géothermie profonde



Réalisation d'un modèle photogrammétrique d'affleurement des Grès de Roda (Eocène inférieur, Bassin sud-pyrénéen) pour l'étude des hétérogénéités réservoirs (projet UPGEO)

Perrine Mas ^{*1}, Benjamin Brigaud ¹, Raphaël Bourillot ², Adrien Henry ²,
Rémy Deschamps ³, Éric Portier ¹, Bertrand Saint-Bezar ¹, Hugues Fénies ²,
Philippe Razin ²

¹ Université Paris-Saclay, GEOPS, CNRS, Orsay, France

² Géoressources et Environnement – Bordeaux INP – UBM : EA4592, France

³ Institut Français du Pétrole, Energies Nouvelles (IFPEN), France

L'hétérogénéité des réservoirs à différentes échelles est complexe à prédire, et elle constitue un verrou important dans le cadre du développement de la géothermie profonde, car elle impacte entre autres, la réinjection du fluide géothermal dans les réservoirs. Un des objectifs du projet ANR UPGEO (UPscaling and heat simulations for improving the efficiency of deep GEOthermal energy) est de mieux prédire l'hétérogénéité des réservoirs en termes de géométries sédimentaires, de propriétés pétrophysiques (porosité et perméabilité), et de connectivité du réservoir. Dans cet objectif de prédiction, des analogues aux réservoirs géologiques sont recherchés à l'affleurement pour capturer les hétérogénéités sédimentaires à des échelles décimétriques à kilométriques, ce qui permettra d'améliorer la modélisation des réservoirs en subsurface dans les géomodeleurs.

Le système sédimentaire des Grès de Roda constitue un très bon analogue géologique à certains réservoirs silico-clastiques. Ce système sédimentaire est très riche en données, avec des affleurements continus de grande qualité et des forages carottés (entre 50m et 80m d'épaisseur carottée par forage) très près de ces derniers, à quelques centaines de mètres. Il s'agit d'un système deltaïque développé à l'Yprésien (Eocène inférieur) dans le Bassin de Tresp (sud des Pyrénées), ayant fait l'objet de nombreuses études depuis les années 1980 par des entreprises comme ELF, TOTAL et l'IFPEN ainsi que de nombreuses excursions pour les étudiants et les professionnels du domaine des géosciences. Dans le cadre du projet UPGEO, plusieurs acquisitions photos par drone ont été réalisées pour construire un modèle photogrammétrique d'affleurement. Des coupes acquises sur le terrain ont été replacées dans le modèle et ont aidé à l'interprétation et à la reconstitution 3D des corps sédimentaires.

Les données issues de l'échantillonnage sur le terrain ou des puits carottés ont permis, après analyses pétrophysiques d'établir un rock typing (Henry et al., même session). Celui-ci permettra d'associer des valeurs de porosité et de perméabilité pour chaque faciès identifié sur le terrain ou sur les carottes pour construire un modèle géologique habillé en faciès et propriétés réservoir. L'objectif final du modèle sera de constituer une base pour des simulations d'écoulement et de déterminer l'impact des hétérogénéités sédimentaires dans les systèmes réservoir deltaïques.

Mots-Clés : Photogrammétrie, Analogues, Système deltaïque, Hétérogénéités réservoirs, Géothermie profonde



Contribution de la photogrammétrie par drone à la modélisation 3D des hétérogénéités des réservoirs carbonatés (carrière de Massangis, Bassin de Paris)

Hadrien Thomas¹, Benjamin Brigaud¹, Hermann Zeyen¹,
Bertrand Saint-Bezar¹, Thomas Blaise¹, Elodie Zordan², Simon Andrieu³,
Benoît Vincent⁴, Eric Portier^{1,5}, Emmanuel Mouche⁶, Hugo Chirol¹

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, 91405, Orsay, France

² Schlumberger, Software Integrated Solutions, Le Palatin 1, 1, Cours du Triangle, 92 936, La Défense, Cedex, France

³ BRGM, 3 Avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060, Orléans, France

⁴ Cambridge Carbonate Ltd., 1 rue de Varoux, 21120, Marey-sur-Tille, France

⁵ CV Associés Engineering, 7 Chemin de la Marouette, 64100, Bayonne, France

⁶ Université Paris-Saclay, CNRS, CEA, UVSQ, Laboratoire des sciences du Climat et de l'environnement, 91191, Gif-sur-Yvette, France

Une acquisition par drone équipé d'un appareil photo, associée avec les techniques de photogrammétrie, a permis de réaliser une modélisation 3D virtuelle d'un affleurement de roches calcaires avec une précision centimétrique. Celui-ci est ainsi rapidement « transportable

» au laboratoire, et permet de localiser les échantillons prélevés, la levée de logs supplémentaires, une cartographie complète et la corrélation des faciès observés sur le terrain. Des données complémentaires peuvent être extraites telles que des mesures de fractures ou de pendages (exemple ici : <https://skfb.ly/6RYGF>). A titre d'exemple, les calcaires du Bathonien de la carrière de Massangis (Bourgogne) ont été investigués avec cette technique. La carrière couvre une superficie de 0,4 km² et a longtemps été considérée comme un analogue à l'affleurement du réservoir géothermique de l'Oolithe Blanche, réservoir situé à environ 1500 m de profondeur en région parisienne. Dans notre cas d'étude, le modèle de la carrière de Massangis représente un bon analogue pour représenter un réservoir microporeux et/ou dominé par une porosité secondaire associée à la dédolomitisation. Les espaces poreux rhomboédriques de type moldique associés à la dédolomitisation sont bien exprimés au sein de très grandes dunes sous-marines de 15 à 20 m de hauteur. La photogrammétrie par drone combinée à l'utilisation du Géomodeleur Petrel® est utilisée pour créer un modèle géologique qui reproduit fidèlement l'architecture des faciès observés dans la carrière. La photogrammétrie par drone peut être combinée avec des travaux de terrain pour décrire et localiser les faciès et ainsi contraindre la distribution spatiale des propriétés pétrophysiques. Elle permet également de contraindre les formes des corps réservoir dans une grille fine (XYZ = 1 m x 1 m x 0.5 m) pour des modèles géologiques statiques plus réalistes. Cette méthodologie rapide va aider à fournir des modèles pétrophysiques 3D, de l'échelle micrométrique (pore) à kilométrique, à partir d'un analogue d'affleurement pour les réservoirs géothermiques et va permettre de développer des simulations hydro-dynamiques de meilleure qualité.

Mots-Clés : Modélisation, Drone, Carbonate, Jurassique



Origin of authigenic chlorite in deep marine siliciclastic turbidites and their implication on reservoir quality

Fares Azzam ^{1*}, Thomas Blaise ¹, Patricia Patrier ², Daniel Beaufort ², Ahmed Abd Elmola²,
Eric Portier ³, Benjamin Brigaud ¹, Jocelyn Barbarand ¹

¹ Paris-Saclay university, CNRS, GEOPS, France

² Poitiers university, IC2MP, CNRS, France

³ CV Associes Engineering, France

Authigenic chlorite grain-coatings are very common in siliciclastic rocks. Their presence can either improve or reduce the reservoir properties of sandstones. To date, only a few studies have focused on their origin and formation mechanisms in turbidite sandstones. Here, we discuss the origin and distribution of chlorite coatings in the turbiditic sandstones of the Agat Formation (Aptian/Albian) in the northern North Sea.

Chlorite coats exert a major control on the reservoir quality in the Agat sandstones. In the lower part of the reservoir, chlorite forms a thick coat (15-25 μm) around detrital grains that strongly reduce permeability. Conversely, in the upper part of the reservoir, chlorite coats are thinner (4-10 μm), favoring porosity preservation by inhibiting the development of quartz overgrowth. X-ray diffraction and electron microscope observations indicate Fe-rich chlorite of Ib ($\beta = 90^\circ$) polytype suggesting a transformation from a berthierine precursor. Chlorite formation was favored by the presence of abundant Al and Fe-rich detrital grains (glauconite, ooids, and mudclast). The dissolution of these grains at low temperature under reducing conditions created a suitable environment for the growth of berthierine. This step was followed by the transformation of berthierine into chlorite at higher temperatures (>50 $^\circ\text{C}$) through a solid-state transformation. The development of thick chlorite coatings in the lower part of the reservoir was mainly related to highly abundant Fe-grains, providing a significant amount of iron upon dissolution.

This study shows the important role of chlorite coatings in controlling the reservoir quality in turbidite sandstones. It also highlights the role of inherited sediment composition in controlling the abundance and thickness of the chlorite coats.

Mots-Clés : sandstone, turbidites, chlorite coating, reservoir quality



Origine des eaux salées, des émanations gazeuses azotées (+Hélium) et des minéralisations de fluorine à l'extrémité nord de la Grande Faille du Bazois : Apport du couplage entre pétrologie, hydrogéologie, géochimie et géophysique

Benjamin Brigaud^{1*}, Jocelyn Barbarand¹, Anne Battani², Antonio Benedicto¹,
 Thomas Blaise¹, Damien Calmels¹, Véronique Durand¹, Emmanuel Léger¹,
 Louise Lenoir¹, Carlos Pallares¹, Albane Saintenoy¹, Philippe Sarda¹, Hermann
 Zeyen¹,

¹Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, 91405 Orsay, France

²Université de Pau et Pays de l'Adour, CNRS, Total, Laboratoire des Fluides Complexes et leurs Réservoirs, 64000, Pau, France

Au sud-ouest du Bassin de Paris, la Grande Faille du Bazois met en contact les séries mésozoïques du Bassin de Paris à l'ouest avec le socle paléozoïque métamorphique et magmatique du Morvan à l'est. Le long de cette faille, à Pierre-Perthuis (à proximité de Vézelay), affleure la discordance socle-couverture marquée par l'existence du gisement de fluorine de classe mondiale. A moins de 1.5 km de ce gisement, des puits édifiés il y a environ 4300 ans captent des eaux relativement riches en chlore, sodium et lithium et des émanations gazeuses azotées (+He). Malgré les connaissances historiques sur ce site archéo-géologique, beaucoup de questions subsistent quant aux processus responsables des circulations de fluides, des minéralisations ou des émanations gazeuses :

- Quand ces minéralisations se sont-elles mises en place et quelle est la nature de l'eau à l'origine de cette minéralisation ? Quel rôle aurait joué la Grande Faille du Bazois ?
- Quelle est l'origine/source du Na, Cl, et Li dans les paléo-fluides et fluides actuels ? Quelle est l'origine des émanations gazeuses : N₂ + He + H₂ ? Quel est l'impact du fonctionnement de la nappe alluviale en surface sur notre compréhension des fluides échantillonnés dans les puits ?
- Sur quels concepts reposent les mécanismes de production, diffusion ou accumulation d'He ?
- Quel est le rôle de l'encaissant granitique (alcalins, hyperalcalins, hyperalumineux) ?
- Quel schéma méthodologique multi-disciplinaire peut être développé afin de mieux caractériser et comprendre les chemins de migration ?

Pour répondre à toutes ces questions, nous avons entrepris une étude couplant plusieurs disciplines des Géosciences : minéralogie, pétro-géochimie du granite/gneiss, géochimie : éléments majeurs et traces, $\delta^{18}\text{O}$ - δD , $\delta^{37}\text{Cl}$, He dans les fluides, éléments traces, chronologie par traces de fission sur apatite, Sm-Nd et U-Pb sur fluorine, mesures hydrogéologiques et prospection géophysique (tomographie sismique, tomographie de résistivité électrique). Les datations indiquent que la majeure partie des minéralisations se met en place avant le Crétacé supérieur. Une remobilisation de fluide est reconnue et datée à 40 Ma (Lutétien/Bartonien) et correspond à la mise en place de la Grande Faille du Bazois. Les données géophysiques permettent de dresser des hypothèses sur les chemins empruntés par les fluides remontant actuellement le long de l'accident. Les données géochimiques suggèrent que les eaux actuelles et les paléofluides crétacés seraient d'origine météorique avec un apport en Cl provenant d'une eau de mer emprisonnée dans les argiles du Lias. La faille permettrait à ces fluides captifs à plus de 100 m de profondeur de remonter en surface et de se mélanger avec les eaux du socle (potentiellement riche en K, Li, Na...) et de la nappe alluviale (potentiellement riche en Ca et HCO₃). La présence de CO₂, avec un $\delta^{13}\text{C}$ à -20‰ ou encore la présence potentielle de Ra dans les émanations de gaz évoqueraient plutôt une origine de proche surface en relation avec le granite riche en alcalins, avec minéraux accessoires porteurs de Th et U (uraninite, monazite, thorite, zircon, apatite, sphène, etc.). L'He serait stocké dans le réservoir que constitue l'interface socle/couverture, et serait libéré le long de la faille.

Mots-Clés : Géophysique, Géochronologie, Hydrogéologie, Pétrographie, Paléofluides, Fluides, Gaz



NMR contribution in sub-horizontal well for porosity-permeability heterogeneity characterization in limestones: implications for 3D reservoir prediction and flow simulation in a world class geothermal aquifer

Maxime Catinat ^{*1,2}, Benjamin Brigaud ¹, Marc Fleury ³, Miklos Antics ², Pierre Ungemach ², Mélanie Davaux ², Julien Gasser Dorado ², Hadrien Thomas ¹, Codjo Thomas Florent Essou ², Simon Andrieu ⁴, Emmanuel Mouche ⁵

¹ Université Paris-Saclay, GEOPS, CNRS, 91405 Orsay, France

² GEOFLUID, 165 Rue de la belle étoile, 95700 Roissy CDG, France

³ IFP Energies Nouvelles, 1-4 Avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison, France

⁴ BRGM, 3 Avenue Claude Guillemin, 45100 Orléans, France

⁵ Université Paris-Saclay, CNRS, CEA, UVSQ, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, 91191, Gif-sur-Yvette, France

Background

The Paris suburban areas concentrate ca fifty, deep seated, geothermal district heating (GDH) systems which contribute to the French energy climate strategy ambitioning a 6,4 TWh_{th} production in year 2023 achieving a four fold increase as compared to the 1,5 TWh_{th} recorded in year 2016. In spite of a highly dependable geothermal resource, the current 70 MWh_{th} yearly development rate will not meet this objective which would require a six to ten fold higher rate instead. Hence, optimizing and mastering the French geothermal energy problematic stand as a major challenge for France at large, and the Ile-de-France region specifically which hosts a population nearing 12 million inhabitants.

Project descriptions

It aims at reconstructing and simulating the heat and mass transfer in the Paris Basin by implementing an innovative methodology addressing (i) reservoir lithological and petrophysical properties as to facies, porosity and permeability trends, and (ii) modelling, simulating and predicting regional hydrothermal flow patterns and reservoir performance at given locations. As a result the study workflow focuses on an area, South of Paris (Cachan and surroundings), concentrating a population of seventeen (nine producers, eight injectors) GDH wells.

At Cachan a subhorizontal GDH doublet, a world premiere in geothermal well architecture, has been drilled in 2018, seeking enhanced well productivities in medium to low permeability reservoir areas which otherwise would have remained unchallenged. Here, Nuclear Magnetic Resonance (NMR, T₂) logs have been recorded on the injector well (GCAH2), providing reliable information on pore size distributions, (connected vs non connected) porosities and permeabilities.

A variety of wireline logging data ranging from Gamma Ray to density, resistivity, sonic, neutron and NMR T₂ tools have been compiled on the nineteen wells of the area along 120 thin sections processed for facies description and nomenclature. A total of seven facies, grouped within four facies associations, coded over the whole nineteen wells according to depths and thirteen 3^d order stratigraphic sequences, have been identified. The cell size of the 3D modelling grid was set to 50 m x 50 m in the XY domain, the vertical Z size, which depends on the subzonal thicknesses, averaging 5 m, thus leading to a 3D grid nearing 800 000 cells. Further to upscaling, facies and stratigraphic surfaces set the basis for a reliable modelling exercise applying the « Truncated Gaussian With Trends » algorithm. The petrophysical distribution « Gaussian Random Function Simulation » is used to populate the entire grid with input properties including some 2 000 NMR data and former porosity- permeability data derived from oil well core plug tests.

The most attractive reservoir properties are located within the shoal oolitic grainstone deposits exhibiting porosity and permeability values overaging 12.5% and 100 md respectively. Ultimately, mass and heat transfers were simulated via the Pumaflow software in order to assess the risks induced by interfering doublets and provide guidelines respective to optimum well trajectories securing system hydraulic connectivities and thermal life.

In this respect NMR, especially permeability issued data, provided useful clues addressing the advent of thermal breakthroughs within areas showing a high density of GDH doublets.



Paléofluides minéralisateurs et eaux interstitielles actuelles à l'interface socle-couverture dans le Bassin de Paris

Louise Lenoir^{1*}, Thomas Blaise¹, Diana Chourio-Camacho², Alexandre Tarantola³, Pierre Agrinier⁴, Antonin Richard³, Thomas Rigaudier⁵, Gaël Monvoisin¹, Gérard Bardoux⁴, Benjamin Brigaud¹, Jocelyn Barbarand¹

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, 91405, Orsay, France

² Université PSL, MINES ParisTech, Centre de Géosciences, France

³ Université de Lorraine, CNRS, CREGU, GeoRessources Laboratory, France
⁴ Université de Paris, Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS, France
⁵ Université de Lorraine, CRPG, CNRS, France

Dans cette étude, nous reconstruisons l'origine des paléofluides du Bassin de Paris à partir des inclusions fluides primaires piégées dans des cristaux de fluorite géodique datés à 130 ± 15 Ma [1]. Les échantillons proviennent de deux gisements de minerai F-Ba (Pierre-Perthuis et La Colancelle) situés au toit de la discordance socle/sédiment de la bordure sud-est du Bassin de Paris. La microthermométrie révèle des températures de piégeage minimales d'environ 110°C , tandis que la salinité est en moyenne de 18 % en poids équivalent NaCl, les sels de chlorure de calcium sont dominants. La composition en isotopes stables de l'oxygène et de l'hydrogène des inclusions fluides mesurée par micro-équilibre indique la contribution dominante d'eaux météoriques. Les principaux ions dissous dans les inclusions fluides ont été mesurés en utilisant une méthode d'écrasement-lessivage [2]. Les rapports Cl/Br montrent que les salinités ont été acquises par l'évaporation de l'eau de mer au-delà de la précipitation de la halite. Cependant, les valeurs de $\delta^{37}\text{Cl}$ sont nettement inférieures à la composition attendue d'une eau de mer évaporée. Nous proposons que la fluorite a précipité à partir du mélange de deux fluides : 1) une eau de mer évaporée expulsée et fractionnée pendant la compaction des sédiments puis 2) diluée par des eaux météoriques infiltrées le long des fractures.

Les eaux actuelles des aquifères triasiques de la partie centrale du Bassin de Paris [3,4] présentent des compositions chimiques et isotopiques comparables à celles mesurées dans ces inclusions fluides piégées dans des cristaux de fluorite. Des saumures actuelles, avec une concentration élevée en Ca et F, ont également été documentées dans le socle fracturé du centre du Bassin de Paris [5]. La migration ascendante de ces fluides à travers les fractures du socle cristallin et la chute de pression/température associée conduisent à la précipitation de fluorite, comme en témoigne les affleurements actuels de la bordure sud-est du bassin.

Mots-Clés : minerai lié à la discordance, fluorite, isotopes du chlore, crush-leach, inclusions fluides, Bassin de Paris.

[1] Gigoux et al. (2015) *Miner Deposita*, vol. 50, No. 4, 455-463. [2] Gleeson et al. (2003) Book chapter, 32, 233-247. [3] Worden and Matray (1995) *Basin Research*, vol. 7, No. 1, 53-66. [4] Millot et al. (2011) *Chem Geo*, vol. 283, No. 3-4, 266-241. [5] Boulègue et al. (1990) *BSGF*, vol. VI, No. 5, 789-795.



Preservation and characterization of exopolymeric substances (EPS) in subsurface estuarine sediments

Thibault Duteil^{1,*}, Raphaël Bourillot¹, Olivier Braissant², Brian Gregoire³, Maud Leloup³, Adrien Henry¹, Benjamin Brigaud⁴, Eric Portier⁵, Hugues Fénies¹, Isabelle Svahn⁶ and Pieter Visscher⁷

¹Georesources & Environnement, Bordeaux INP, Univ. of Bordeaux Montaigne, France

²Center for Biomechanics and Biocalorimetry, Univ. of Basel, Switzerland

³IC2MP, Univ. of Poitiers, France

⁴GEOPS, Univ. of Paris-Saclay, CNRS, France

⁵CV Associés Engineering, France

⁶Univ. Bordeaux, CNRS, INSERM, Bordeaux Imaging Center, France

⁷Department of Marine Sciences, University of Connecticut, United States

In estuarine mudflats, diatoms often form intertidal biofilms through the excretion of large quantities of extracellular polymeric substances (EPS). These organic matrices allow for cell motility, protect against desiccation, provide a means for chemical communication and act as a barrier against pathogens. EPS interact with clay minerals and quartz grains producing an organo-mineral complex. Previous studies of EPS preservation focused on the uppermost millimeters to centimeters of the sediment. In our study, we characterized the preservation of EPS physico-chemical properties in a six-meter sedimentary core, obtained from an estuarine point bar in the Gironde estuary (France). Sixteen subsamples distributed along the depth of the core were used for grain size analyses, TOC measurements, cryo-scanning electron microscopic observations, and EPS extraction. The physico-chemical properties of EPS and alteration with depth were determined using/with various colorimetric assays (Alcian blue, phenol-sulfuric and Lowry), Fourier-transform infrared spectroscopy and acid-base titrations. The results show a preservation of the organo-mineral complex from the surface to the bottom of the core. EPS properties (quantity, acidity) were similar at the surface and at depth, and are statistically independent from sediment properties (grain size, TOC). The preservation of EPS several meters deep in the sediment could be explained by the interaction with minerals e.g., clay minerals, quartz, but also by the high sedimentary rates characteristic for the estuarine point bar (up to several cm. year⁻¹), minimizing microbial alteration. Furthermore, the variations of EPS properties with depth could be linked with phases of point bar migration and stabilization. Our results provide novel insights into the role of sedimentation on EPS preservation and ultimately, sediment (mineral) composition.

Mots-Clés : Estuarine sediments, exopolymeric substances, clay-coat



Relation entre déformation intraplaque et cimentation des calcaires du Jurassique de l'est du Bassin de Paris révélée par géochronologie U-Pb et thermométrie Δ_{47} de la calcite

Thomas Blaise ^{*1}, Benjamin Brigaud ¹, Cédric Carpentier ², Xavier Mangenot ³, SidAhmed Ali Khoudja ¹, Philippe Landrein ⁴

¹ Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, 91405, Orsay, France

² Université de Lorraine, CNRS, GeoRessources, 54500 Nancy, France

³ Caltech, Geological and Planetary Sciences, 91106, Pasadena, CA, USA

⁴ Agence Nationale pour La Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA), Centre de Meuse/Haute-Marne, RD 960, 55290 Bure, France

La concomitance entre phase de déformation intraplaque, fracturation, cimentation des fractures et développement des ciments intergranulaires dans de grands volumes (échelle du réservoir ou du bassin) est souvent suggérée mais rarement établie. Dans cette étude, nous proposons de reporter les âges U-Pb et les températures de cristallisation de calcites comblant à la fois les fractures et l'espace poral intergranulaire des formations carbonatées du jurassique moyen et supérieur de l'est du Bassin de Paris.

La cimentation s'opère par des circulations de fluides lors de l'ouverture de réseaux de fractures et microfractures. Nous proposons une reconstitution chronologique des différents stades de cristallisation par géochronologie U-Pb *in situ* sur les différentes générations de calcite identifiées au préalable selon des critères pétrographiques.

Une première phase datée fini-Jurassique à début Crétacé est particulièrement bien exprimée dans le Dogger, attribuée à l'ouverture de l'Atlantique central. Une seconde phase pyrénéenne précoce (« laramienne ») est identifiée, d'âge fini-Crétacé à début Cénozoïque. Des cristallisations d'âge Eocène sont ensuite attribuées à la phase paroxysmale de la compression pyrénéenne. L'extension Eocène/Oligocène, à l'origine du système de rift ouest-européen, est également reconnue. Enfin, les derniers épisodes de cristallisations sont datés du Miocène, et pourraient être la conséquence de la propagation des contraintes alpines au sein du domaine intraplaque européen.

Ainsi, grâce à la datation radiométrique et à la thermométrie Δ_{47} des cristaux de calcite, une paragenèse calibrée en temps et températures est proposée, mettant en avant le rôle de la déformation intraplaque dans l'ouverture des réseaux de fractures et la cristallisation des ciments calcitiques.

Mots-Clés : Bassin de Paris, carbonates, géochronologie U-Pb, thermométrie Δ_{47} , diagenèse



Influence des facteurs de contrôle sur l'évolution d'une plateforme carbonatée en domaine intracratonique : les dépôts de l'Aalénien à l'Oxfordien du bassin Aquitain

Quentin Deloume-Carpentras^{*1,2}, Simon Andrieu¹, Benjamin Brigaud², Eglantine Husson¹, Éric Lasseur¹, Jocelyn Barbarand²

¹BRGM, Bureau des Ressources Géologiques et Minières, France

²Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, France

La production carbonatée et l'architecture sédimentaire dépendent de l'interaction de facteurs complexes qui contrôlent le développement d'une plateforme comme le climat, les variations eustatiques, la tectonique et l'héritage structural. L'objectif est de comprendre les liens entre accommodation, subsidence tectonique, producteur carbonaté et architecture stratigraphique.

La description de 82 affleurements et 28 forages a permis la réalisation de 5 transects de corrélation, ainsi que des cartes de taux d'accommodation et de subsidence tectonique des dépôts Aalénien-Oxfordien du bassin Aquitain.

Au cours de l'Aalénien et au Callovien-Oxfordien inférieur, en période de climat humide, les taux de production carbonatée sont faibles, une forte subsidence tectonique est associée à des marges et des faciès *heterozoan* et favorise l'ennoisement de la plateforme. Les subsidences tectoniques modérées et les zones en *uplift* sont associées à des faciès *photozoan*.

Au Bajocien/Bathonien, climat chaud et sec et à période de bas niveau eustatique, une forte subsidence tectonique est associée à une très forte production carbonatée et des faciès *photozoan* tandis qu'une faible subsidence tectonique est caractérisée par une faible production carbonatée et des faciès *heterozoan*.

L'Oxfordien moyen-supérieur est marqué par un climat sec, un niveau eustatique élevé et un fort taux de productions carbonatées. Les zones en *uplift* favorisent le développement de faciès *photozoan* et le maintien d'une faible bathymétrie. La subsidence tectonique favorise l'ennoisement de la plateforme.

Dans le système carbonaté Aalénien-Oxfordien du bassin Aquitain, le climat a une influence sur les taux de production carbonatée et les types de producteurs. Cependant les variations spatiales de faciès ne peuvent être expliquées uniquement par le climat. L'influence combinée de la tectonique et de l'eustatisme sur le maintien d'une faible bathymétrie permet ainsi le développement de la plateforme.

Mots-Clés : faciès, producteur carbonaté, accommodation, tectonique, architecture stratigraphique, facteurs de contrôle, bassin Aquitain

*Intervenant



Influence de la géodynamique sur la circulation des fluides et la diagenèse des dépôts carbonatés Aalénien-Oxfordien de la bordure nord-est du bassin Aquitain

Quentin Deloume-Carpentras ^{*1,2}, Benjamin Brigaud ¹, Simon Andrieu ², Eglantine Husson ², Thomas Blaise ¹, Frédéric Haurine ¹

¹Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, France

²BRGM, Bureau des Ressources Géologiques et Minières, France

La gestion des aquifères en domaine carbonaté nécessite une caractérisation détaillée pour une meilleure gestion de la ressource hydrique. Les propriétés réservoirs sont affectées par différentes phases de circulation de fluides conduisant à des phases successives de dissolution-recristallisation.

Cette étude se concentre sur les dépôts carbonatés Aalénien-Oxfordien du Quercy-Périgord du bassin Aquitain, qui constitue une zone clé pour répondre aux questions suivantes : les phases de cimentation/dissolution peuvent-elles être liées à des événements géodynamiques ? Comment une phase de dissolution peut-elle être datée ?

Une étude pétrographique sur des ciments de calcite et dolomite a été détaillée sur environ 250 lames minces. Puis couplée avec une étude géochimique comprenant isotopie stable, éléments majeurs et traces, éléments ultra-trace et géochronologie U-Pb.

Les premières calcites de blocage hydrothermale (Cal1), datée du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur, sont synchrones avec le rifting du Golfe de Gascogne. Une phase de dolomitisation (Dol2) Crétacé remplit les espaces intergranulaires, cette dolomite est ensuite affectée par une dissolution conduisant à la formation de pores moldiques et vacuolaires. Ensuite, des phases successives de calcite de blocage d'origine météorique (Cal2, Cal3 et Cal4), synchrones avec l'orogénèse pyrénéenne, remplissent des cavités de dissolution et des fractures et sont datées respectivement du Campanien, Danien-Selandian et Lutétien- Ypressien. Enfin, la dernière calcite de blocage (Cal5) précipite au cours de la télogénèse lors de l'incision des vallées au Miocène et remplit des cavités karstiques.

Cette étude permet de proposer un *timing* précis des étapes successives de cimentation-dissolution et de relier les circulations de fluides à la géodynamique. Les périodes de porogénèse sont contraintes par des calcites datés avant et après les processus de dissolution.

Mots-Clés : calcite, dolomite, géochimie, géochronologie, porosité, géodynamique, porogénèse

*Intervenant



Géochronologie U-Pb sur calcite appliquée à la lithification des hardgrounds et à la datation des limites de séquences stratigraphiques

Benjamin Brigaud^{1*}, Simon Andrieu², Thomas Blaise¹, Frédéric Haurine¹,
JocelynBarbarand¹

¹Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, 91405 Orsay, France

²BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans, France

Les discontinuités de type hardground sur les plates-formes carbonatées forment d'importantes surfaces stratigraphiques qui peuvent être utilisées à l'échelle du bassin pour corréliser les limites des séquences stratigraphiques. Bien que ces surfaces soient couramment utilisées en stratigraphie séquentielle, le moment et la durée de leur lithification et de la cristallisation des premiers ciments restent peu explorés. Dans cette étude, les premiers ciments calcitiques obturant l'espace inter-granulaire des carbonates du Jurassique des bassins de Paris et Aquitaine ont été datés par géochronologie U-Pb dans cinq hardgrounds. La position stratigraphique, le cadre séquentiel à haute résolution et leur contexte sédimentologique permettent d'attribuer ces hardgrounds à des limites de séquence de 3^{ème} ordre, correspondant à des limites de type maximum regressive surface. La cohérence ou la légère déviation entre l'âge des ciments et l'âge stratigraphique des discontinuités illustre le fait que la cimentation s'est produite au début de l'histoire diagénétique. Les âges obtenus sur les ciments en dents de chien (âge à 163.5 ± 6.0 Ma, soit $\pm 3.7\%$ à 2σ) et les ciments microstalactitiques (âge à 164.0 ± 9 Ma, $\pm 5.5\%$ à 2σ) sont très cohérents avec les âges supposés de la sédimentation contrainte à la précision des zones biostratigraphiques à ammonites. Cela permet d'entrevoir que la géochronologie in situ U-Pb sur calcite serait une méthode prometteuse pour dater les limites des séquences de dépôt et affiner, dans le futur, l'échelle des temps géologique du Jurassique.

Mots-Clés : Géochronologie, U-Pb, Calcite, Jurassique



Structuration des massifs subalpins, datation de la mise en place par U-Pb sur calcite

Dorian Bienveignant^{*2}, Antonin Bilau^{*1,2}, Yann Rolland^{1,2}, Stéphane Schwartz², Nicolas Godeau³, Abel Guihou³, Pierre Deschamps³, Louise Boschetti^{1,2}, Xavier Mangenot⁴, Benjamin Brigaud⁵, Thierry Dumont².

¹ EDYTEM - Université Savoie Mont Blanc - CNRS - UMR - Bourget du Lac, France.

² ISTerre - Université Grenoble Alpes - Univ. Savoie Mont Blanc - CNRS - IRD - IFSTTAR – Grenoble, France.

³ CEREGE - Aix-Marseille Université - CNRS - IRD - INRAE - Collège de France - Aix en Provence, France.

⁴ Caltech - Geological and Planetary Sciences - Pasadena, CA, USA.

⁵ GEOPS – CNRS - Université Paris-Saclay - Orsay, France.

Les massifs sédimentaires subalpins du Vercors et de la Chartreuse sont structurés par une tectonique de couverture de type fold and thrust belt, avec des chevauchements des séries carbonatées du Jurassique/Crétacé sur des bassins molassiques miocènes (e.g., Debelmas, 1966 ; Deville, 2021). L'âge de mise en place de ces chevauchements était jusqu'à présent contraint de manière indirecte par l'âge des molasses chevauchées. Trois chevauchements principaux sont identifiés dans ces deux massifs mais leur continuité reste discutée.

La méthode de datation U-Pb sur calcite a été appliquée à des échantillons collectés sur les plans de faille et dans les galets fracturés de la molasse conglomératique sous les chevauchements. Douze nouveaux âges absolus répartis entre ces différents chevauchements permettent de discuter de leur chronologie de mise en place. La mise en place du chevauchement le plus oriental du Vercors (chevauchement du Moucherotte) est datée à $\sim 15.2 \pm 0.9$ Ma. Concernant les autres chevauchements, des âges significativement plus jeunes, 12.7 ± 0.8 Ma et 12.2 ± 0.3 Ma sont enregistrés.

À la vue de ces nouvelles données, nous proposons que le chevauchement du Moucherotte (Vercors) soit une klippe ne se rattachant pas au chevauchement du Néron en Chartreuse. Les autres chevauchements se mettent en place dans une fourchette de temps très courte (< 1 Ma). En compléments des âges les plus vieux attribués à la mise en place de ces structures, quelques âges plus jeunes (notamment 9.5 ± 0.9 Ma, 6.5 ± 0.8 Ma, 3.9 ± 0.3 Ma) ont été enregistrés sur l'ensemble des chevauchements, mais de façon plus marquée à l'Est des massifs. Ces âges plus jeunes sont interprétés comme des réactivations hors-séquence de ces structures, pouvant accompagner l'exhumation des Massifs Cristallins Externes. Ces âges sont à replacer dans un contexte de déformation à l'échelle du prisme orogénique.

Mots-Clés : Datations, Failles, U-Pb calcite, Massifs subalpin, Vercors, Chartreuse, Tectonique de couverture.



Datation des phases critiques de fracturation et caractérisation des fluides au cours de l'évolution du prisme alpin

Antonin Bilau^{*1,2}, Yann Rolland^{1,2}, Stéphane Schwartz², Nicolas Godeau³, Abel Guihou³, Pierre Deschamps³, Cécile Gautheron⁴, Rosella Pinna-Jamme⁴, Xavier Mangenot⁵, Benjamin Brigaud⁴, Aurélie Noret⁴, Thierry Dumont².

¹ EDYTEM - Université Savoie Mont Blanc - CNRS - UMR - Bourget du Lac, France.

² ISTerre - Université Grenoble Alpes - Univ. Savoie Mont Blanc - CNRS - IRD - IFSTTAR – Grenoble, France.

³ CEREGE - Aix-Marseille Université - CNRS - IRD - INRAE - Collège de France - Aix en Provence, France.

⁴ GEOPS – CNRS - Université Paris-Saclay - Orsay, France.

⁵ Caltech - Geological and Planetary Sciences - Pasadena, CA, USA.

Dans les Alpes occidentales, le Front Pennique (FP) représente une structure tectonique majeure d'échelle crustale résultant de la collision. Le jeu compressif de cette faille pendant l'Oligocène (Simon-Labric et al., 2009) a transporté les unités internes ayant subi un métamorphisme de haute pression (à l'Est) sur la couverture sédimentaire Mésozoïque- Paléozoïque faiblement métamorphisée (à l'Ouest).

Les travaux sismo-tectoniques effectués dans cette zone (Sue et al., 1999) mettent en évidence une activité extensive et transtensive s'exprimant au travers du faisceau de failles de la Haute-Durance reliée au rejeu en extension du FP. Des datations U-Pb sur calcite (Bilau et al., 2021) dans des brèches de failles ainsi que (U-Th-Sm)/He sur un plan de faille à hématite ont été effectuées afin d'apporter des contraintes temporelles directes sur l'inversion du FP. Six âges U-Pb sur calcite entre 5.3 ± 0.6 Ma et 2.3 ± 0.2 Ma (2σ) ont été obtenus sur le ciment de gouge de failles normales. Quarante-huit aliquotes d'hématites ont été datés et présentent des âges allant de 2.4 ± 0.1 Ma à 0.3 ± 0.1 Ma (1σ).

Cette diversité est interprétée comme une activité plus ou moins continue au cours des derniers 5 Ma. Les structures échantillonnées sont des marqueurs de la paléosismicité qui s'est décalée vers l'Est, de façon relative, tandis que le prisme orogénique se propage vers l'Ouest sur l'avant-Pays.

L'étude des isotopes stables du $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite des failles apporte des contraintes sur l'origine des fluides. Les structures compressives et extensives précoces de petite taille (fentes en échelon décimétriques) ont une signature similaire à leur encaissant interprétée comme un système fermé à l'équilibre. En revanche, les structures extensives tardives (cataclasites métrique) présentent des valeurs $\delta^{18}\text{O}$ faibles associées à des fluides métamorphiques. Aussi, nous suggérons que les failles normales de la Haute-Durance mobilisent des fluides profonds en se branchant sur le FP.

Mots-Clés : Datations, Failles, Inversion Front Pennique, U-Pb calcite, (U-Th-Sm)/He hématite, Isotopie stable, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$.



Production et faciès carbonatés continentaux du Cénozoïque du Bassin de Paris

Kévin Moreau*¹, Simon Andrieu², Justine Briais², Benjamin Brigaud¹

1 : Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, Orsay Cedex, France

2 : BRGM, Direction des GéoRessources, Orléans, France.

Afin d'identifier les facteurs contrôlant la répartition des faciès et les architectures descarbonates continentaux cénozoïques du Bassin de Paris, ce travail synthétise l'étude de 16 nouveaux affleurements, de 52 coupes sédimentaires issues de la littérature, et intègre 16 nouveaux forages carottés dans les formations yprésiennes à aquitaniennes, du nord de Paris jusqu'à Orléans et Provins. Au travers de 2 transects de corrélation, cette étude a permis de déterminer l'évolution spatiale des environnements de dépôts et des faciès sédimentaires permettant de préciser les architectures de 4 systèmes sédimentaires carbonatés continentaux :

- (1) Une large plateforme carbonatée s'étend sur le bassin de Paris (Lutétien supérieur à Bartonien inférieur), caractérisée par des faciès de lagon au centre du bassin et des faciès de brèches à clastes micritiques riche en quartz, typique de paléosols sur les bords méridionaux du lagon.
- (2) Un profil de lac carbonaté (Bartonien supérieur), marqué par une alternance de calcaires wackestone à characées et de marnes blanches au centre du bassin ; ces faciès passent latéralement à des calcaires silicifiés ou à des marnes vertes sur les bordures Est et Sud, et à des sables marins littoraux au Nord-Ouest.
- (3) Un lac endoréïque, mixte évaporitique-carbonaté (Priabonien) se compose de masses de gypses au centre évoluant vers des brèches carbonatées micritiques ou silicifiées riches en *Microcodium*, typique de caliche sur les extrémités du bassin.
- (4) Un dernier lac (Rupélien terminal à Aquitaniens) formé de faciès lacustres et palustres variés, dont les croûtes microbiennes, les oncoïdes et les indices d'émersions sont des acteurs majeurs de la sédimentation périphérique.

Outre les facteurs de contrôle classique pour les dépôts carbonatés (tectonique, climat et eustatisme), la sursaturation des milieux palustre et lacustre en ions Ca^{2+} et HCO_3^- provenant du lessivage des massifs carbonatés favorise la production micritique lors des périodes plus sèches. Les organismes microbiens participent aussi activement à la production carbonatée lors de l'Aquitaniens.

Mots clés : Bassin de Paris, sédimentologie de bassin, plateforme carbonatée, faciès carbonaté, faciès continental, Cénozoïque, stratigraphie séquentielle.

*Intervenant



Le forage de Maisse, une nouvelle coupe de référence pour le Cénozoïque du Bassin de Paris

Kévin Moreau*¹, Maria Moreno-Soler², Benjamin Brigaud¹, Simon Andrieu³, Johann Schnyder², Justine Briais³, Florence Quesnel³, Didier Merle⁴, Nelly Assayag⁵, Magali Ader⁵, Thierry Gaillard⁶, Véronique Durand¹

1 : Université Paris-Saclay, CNRS, GEOPS, Orsay Cedex, France.

2 : Institut des Sciences de la Terre de Paris (ISTeP), UMR 7193 CNRS, Sorbonne Université, F-75005 Paris, France.

3 : BRGM, Direction des GéoRessources, Orléans, France.

4 : Sorbonne Université, UMR 7207 CNRS (CR2P), Muséum national d'histoire naturelle, 8, rue Buffon, 75005 Paris, France.

5 : Université de Paris VII, CNRS, Institut de Physique du Globe de Paris, 75005 Paris, France.

6 : CPGF-HORIZON, 49 avenue Franklin Roosevelt, 77210 Avon.

Nous présentons ici les données acquises sur un nouveau forage carotté de 120 mètres de profondeur dans la commune de Maisse dans l'Essonne (91). Ce forage recoupe les formations tertiaires depuis la base des Sables de Fontainebleau jusqu'au toit de la Craie. La carrière de Maisse, située à proximité du forage, permet de compléter la description en incluant le Calcaire d'Etampes sus-jacent. L'objectif principal de ce travail est de proposer une coupe sédimentologique inédite et de référence des formations Cénozoïques du Bassin parisien, notamment dans les faciès carbonatés éocènes et oligocènes. Cette description est couplée avec une caractérisation de l'isotopie des carbonates ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$), de la minéralogie des argiles (diffraction des rayons X) et de la typologie de la matière organique (MO) des formations yprésiennes (Pyrolyse Rock-Eval et palynofaciès). La base du forage, correspondant *a priori* à l'Yprésien, est composée de dépôts de plaine d'inondation, débutant par une unité de galets à silex dans une matrice sableuse à la base et passant à une alternance de niveaux argilo-sableux, ligniteux et carbonatés. Les analyses sur la MO mettent en évidence deux niveaux à l'enrichissement organique contrasté, composés de MO d'origine terrestre autochtone (Type III). Plus haut dans l'Yprésien, ce système sédimentaire passe à un environnement de lagon marin à saumâtre, bien développé au Lutétien avec des faciès micritiques floatstones riches en *Serratocerithium*, ou à Veneridae, et caractérisé par des valeurs $\delta^{18}\text{O}$ fluctuant entre -4‰ et 2‰. Au Bartonien, l'unité que nous attribuons au Calcaire de Saint-Ouen, micritique et silicifié (opale C-T), présente un assemblage argileux marqué par la présence de sépiolite et de palygorskite marquant un environnement lacustre confiné et soumis à une forte évaporation. Aux Priabonien et Rupélien basal, les Calcaires de Champigny et de Brie présentent un assemblage composé de smectite, illite et kaolinite, dans des faciès bréchiques et micritiques à *Microcodium*. Les données isotopiques des calcites sont cohérentes avec une signature d'eau météorique dans un paléosol. Enfin, le Rupélien terminal enregistre par le Calcaire d'Etampes le bord d'un lac soumis à la pédogénèse, avec des alternances de calcaires mudstones et de calcaires à traces de racines.

Mots clés : Bassin de Paris, sédimentologie de bassin, faciès carbonaté, faciès continental, Cénozoïque, stratigraphie séquentielle, palynofaciès, Rock-Eval, argile, paléoclimat, isotopie de l'oxygène, isotopie du carbone.

*Intervenant