

Réservoirs carbonatés microporeux : impacts des diagenèses précoces et tardives

Christophe Durllet¹, Matthieu Deville de Periere², Benjamin Brigaud³, Laurent Lambert⁴, Julie Champagne⁵, Bruno Caline⁴.

¹ CNRS, UMR 5561 Biogéosciences, Université de Bourgogne, 6 Bd. Gabriel, 21000 Dijon – France

² Badley Ashton & Associates Ltd – Lincolnshire – LN9 6PB - UK

³ CNRS, UMR 8148 Géosciences Paris Sud (GEOPS), Université Paris-Sud, Bât. 504, 91405 Orsay Cedex - France.

⁴ Total CSTJF – Avenue Larribeau – 64000 Pau – France

⁵ Maersk, Esplanaden 50, 1098 Copenhagen - Denmark.

Contact: christophe.durllet@u-bourgogne.fr

Résumé – Dans les séries carbonatées anciennes, la création et le maintien de matrices micritiques microporeuses pouvant stocker de l'eau, du pétrole ou du gaz est sous la dépendance de nombreux facteurs. Ces derniers sont soit acquis initialement lors du dépôt, soit plus tardivement au cours des processus éogénétiques, mésogénétiques, ou télogénétiques. A partir d'un set de données issues d'études diagénétiques de calcaires microporeux et non microporeux provenant du Jurassique-Crétacé d'Europe et du Moyen Orient, les principaux facteurs de contrôle sont recherchés et discutés, dans une optique de prédictibilité de ces réservoirs.

Mots-clefs. Réservoir carbonaté, Micrite, Microporosité, Diagenèse.

1 Introduction

Les calcaires enfouis mais poreux, où la proportion entre microporosité et macroporosité est élevée, sont généralement considérés comme des réservoirs microporeux (ou partiellement microporeux). Leur occurrence est très élevée dans certaines régions du monde et pour certaines périodes géologiques, comme par exemple dans le Crétacé d'Europe et du Moyen Orient. Du fait de leur intérêt économique pour la production d'eau, de gaz ou de pétrole, leur origine a depuis longtemps été débattue (e.g. Loreau, 1972) en termes de processus bio-sédimentaires et/ou diagénétiques.

Afin d'essayer de comprendre et de prévoir la distribution géographique et stratigraphique de tels réservoirs, ainsi que leur géométrie, diverses approches descriptives à modélisatrices ont été appliquées. Parmi ces approches, la présente communication focalisera sur les résultats de plusieurs études sédimentologiques, diagénétiques et pétrophysiques, menées au cours de la dernière décennie, *pro parte* au sein de l'UMR Biogéosciences, sur des réservoirs calcaires microporeux d'âge Jurassique et Crétacé, provenant du Moyen Orient et d'Europe.

2 Déterminisme de la minéralogie et la cristallométrie initiale des boues calcaires

Les sédiments carbonatés boueux ou partiellement boueux n'ont pas tous la même propension à devenir, après enfouissement, des réservoirs carbonatés microporeux. Parmi les nombreux paramètres qui influencent cette propension, deux sont ici soulignés.

Une proportion initiale très élevée en microparticules de calcite faiblement magnésienne (LMC) dans le sédiment originel est une condition favorable à la genèse de tels réservoirs. En effet, si la boue est initialement trop riche en microparticules d'aragonite, de calcite magnésienne (HMC) ou d'argiles, son évolution diagénétique aboutira à une diminution drastique de l'espace poreux entre les grains de micrite (suite à des processus de compaction physico-chimique et de micro-cimentations). Cette « prédisposition minéralogique » peut par exemple être démontrée par le fait que les dépôts marins formés lors des périodes d'*aragonite sea* ne recèlent que très rarement des réservoirs carbonatés microporeux (Volery et al., 2009). Elle peut aussi l'être par le fait que dans les séries anciennes, les mudstones et wackestones contenant plus de 2 à 3% d'argiles d'origine détritique ont toujours des propriétés réservoirs dégradées, du fait notamment d'une pression-dissolution plus effective (Lambert et al., 2006 ; Deville de Periere et al. 2011). L'existence de nombreux réservoirs microporeux dans les formations de la Craie, notamment en Europe, est également rattachée à cette « prédisposition minéralogique », la Craie étant un sédiment initialement très pauvre en aragonite et en HMC.

Un autre paramètre sédimentaire important est la cristallométrie des particules de la boue initiale. A partir d'exemples actuels et anciens, il peut être démontré que la taille finale des particules de micrite influence la perméabilité (Deville de Periere et al., 2011) et que cette taille finale est en partie liée à la taille des particules primaires de LMC.

3 Le rôle majeur des émersion précoces

A l'exception des réservoirs de la Craie, il est très fréquent qu'une diagenèse météorique précoce soit évoquée pour expliquer la formation et la pérennisation de réservoirs calcaires microporeux. Il existe un certain nombre de différences, voire de divergences, sur les processus impliqués et sur leur rôle final dans les propriétés pétrophysiques. Il apparaît notamment que cette diagenèse météorique précoce n'est pas systématiquement impliquée (Lucia & Loucks, 2013). Toutefois, lorsqu'une boue marine calcaire composée d'un mélange de particules de LMC, de HMC et d'aragonite émerge, il s'opère fréquemment des transformations très favorables à la formation d'une matrice microporeuse susceptible de se maintenir au cours de l'enfouissement. A partir d'études confrontant l'histoire diagénétique des macro-ciments avec celle des matrices micritiques associées, portant notamment sur le Jurassique-Crétacé de France et du Moyen Orient (Volery et al., 2010 ; Deville de Periere et al., 2011 ; Brigaud et al., 2009) trois processus éogénétiques majeurs sont abordés: (i) la dissolution des micro-particules d'aragonite et de HMC dans la zone météorique vadose et éventuellement dans certaines portions de nappes phréatiques météorique libère de l'espace dans la matrice et augmente sa porosité-perméabilité ; (ii) cette même micro-dissolution de HMC et d'aragonite conduit à la genèse d'une matrice micritique qui devient minéralogiquement très stable car composée essentiellement de LMC ; (iii) la taille moyenne des microparticules initialement en LMC peut augmenter, par micro-cimentations syntaxiales de LMC météorique, avec d'éventuels micro-déplacements des particules du fait des forces de cristallisation. Ceci conduit à une cristallométrie plus élevée des micrites avec une augmentation du diamètre moyen des seuils de micropores, et donc à une perméabilité plus élevée de la matrice.

L'action de ces 3 processus peut grandement varier suivant le type de discontinuité émersionnelle qui coiffe alors le réservoir. Cette action est notamment sous la dépendance du climat, de la durée de l'émersion et de l'amplitude de la chute du niveau marin relatif qui a généré l'émersion et la discontinuité.

4 Les micro-dissolutions mésogénétiques

De nombreuses trajectoires diagénétiques sont susceptibles d'intervenir lorsque qu'un sédiment micritique est petit à petit enfoui (et éventuellement exhumé). Il serait trop long d'évoquer ici tous les scénarii possibles et leurs effets potentiels sur la microporosité. Il est néanmoins important d'évoquer la possibilité que des micro-dissolutions de LMC ayant lieu sous un enfouissement de plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres puissent

améliorer notablement la micro-porosité et la perméabilité d'une matrice micritique. Cette possibilité, souvent invoquée pour des réservoirs jurassiques et crétacés du Golfe Persique, a généré bien des débats. Les « opposants » à cette possibilité arguent qu'à cette profondeur tout fluide acide circulant dans une roche calcaire devrait rapidement perdre son acidité suite aux interactions eau-roche, et n'avoir donc que des impacts très locaux. Toutefois, dans la présente communication, seront illustrés divers exemples où il est incontestable qu'une dissolution tardive, par exemple post-stylolisation, a grandement amélioré la perméabilité d'une matrice micritique microporeuse (Lambert et al. 2006 ; Brigaud et al. 2009) ; Deville de Periere et al., 2011). En illustrant quels sont les éléments diagnostiques de ces dissolutions tardives, la discussion évoquera quels peuvent être les processus dynamiques pouvant générer de l'acidité dans les matrices micritiques modérément à fortement enfouies. Elle évoquera aussi les limites de nos outils d'investigation actuels, bien plus adaptés à l'étude des macro-ciments qu'à celle de l'étude des micro-dissolutions ou micro-surcroissances qui affectent les cristaux de quelques microns, ceux constitutifs de la micrite.

Références bibliographiques

- Brigaud, B., Durllet, C., Deconinck, J.-F., Vincent, B., Thierry, J., Trouiller, A., 2009. The origin and timing of multiphase cementation in carbonates: Impact of regional scale geodynamic events on the Middle Jurassic Limestones diagenesis (Paris Basin, France). *Sedimentary Geology*. 222, 161-180.
- Deville de Periere, M., Durllet, C., Vennin, E., Lambert, L., Bourillot, R., Caline, B., Poli, E., 2011. Morphometry of micrite particles in cretaceous microporous limestones of the Middle East: Influence on reservoir properties. *Marine and Petroleum Geology*. 28, 1727-1750.
- Lambert L, Durllet C, Loreau JP, Marnier G., 2006. Burial dissolution of micrite in Middle East carbonate reservoirs (Jurassic-Cretaceous): keys for recognition and timing. *Mar Pet Geol*. 23(1). 79-92.
- Loreau JP., 1972. Pétrographie de calcaires fins au microscope électronique à balayage: introduction à une classification des "micrites". *C R Acad Sci Paris*. 274(6), 810-813.
- Lucia FJ. and Loucks RG., 2013. Micropores in carbonate mud: Early development and petrophysics. *GCAGS Journal*. 2, 1-10.
- Volery C, Davaud E, Foubert A, Caline B., 2009. Shallow-marine microporous carbonate reservoir rocks in the Middle East: relationship with seawater Mg/Ca ratio and eustatic sea level. *J Petrol Geol*. 32(4), 313-325.
- Volery C, Davaud E, Durllet C, Clavel B, Charollais J, Caline B., 2010. Microporous and tight limestones in the Urgonian Formation (Late Hauterivian to Early Aptian) of the French Jura Mountains: focus on the factors controlling the formation of microporous facies. *Sediment Geol*. 230, 21-34.