



Horizons à oïdes en tant que réservoirs pétroliers

Antoine, Marie CAMINITI

Chef de Projet chargé de l'Exploration Pétrolière, détaché au CERD

* Correspondence, courriel: antoinecaminiti@yahoo.fr

Résumé

D'importants réservoirs pétroliers carbonatés ont été découverts au Moyen Orient et en Asie attribués à des niveaux à oïdes associés à des calcaires bioclastiques d'âge divers. Actuellement, la République de Djibouti connaît une phase d'exploration pétrolière, et dont ces niveaux devront porter une attention particulière. Trois exemples d'horizons à oïdes ont été étudiés en Arabie Saoudite, en Grèce et en République de Djibouti et qui font l'objet de cet article. L'étude sédimentologique porte essentiellement sur des observations de terrain et des descriptions de lames minces. Dans certains niveaux, la porosité primaire de ces horizons à oïdes a été préservée, pouvant constituer des réservoirs pétroliers. Les paléo-environnements de ces trois sites étudiés seront évoqués.

Mots Clefs : Ooids, réservoirs pétroliers carbonatés, Arabie Saoudite, République de Djibouti, Grèce.

Abstract

High oil reservoirs were discovered in the Middle East and Asia attributed to ooids levels associated with various age bioclastic limestones. Currently, the Republic of Djibouti is under petroleum exploration phase and these levels should pay particular attention. Three examples of ooids horizons were studied in Saudi Arabia, Greece and the Republic of Djibouti and which is the subject of this article. The sedimentological study focuses mainly on field observations and thin section descriptions. In some levels, primary porosity of these horizons ooids has been preserved, which can consist of oil reservoirs. The paleo-environments of the three study sites will be discussed.

Keywords: Ooïdes, carbonate petroleum reservoirs, Saudi Arabia, Republic of Djibouti, Greece

Introduction

En 1987, une mission de terrain dans le Jabel Tuwayq, en Arabie Saoudite, a permis d'observer des affleurements complexes constitués de niveaux à ooïdes associés à des bioclastes, des calcaires dolomitiques et des passées à évaporites rapportés à la "Formation Arab" du Kimméridgien Supérieur-Tithonique Inférieur (Caminiti, 1988). Cette Formation, coiffée par une épaisse série d'anhydrite, la Formation "Hith Anhydrite" d'âge Tithonique, renferme d'importants réservoirs pétroliers carbonatés (Powers, 1962 ; Powers & al., 1966 ; Cantrell & al., 2014).

Les horizons à ooïdes observés à Ali Sabieh, dans les dépôts de calcaires gréseux de la Formation des "Grès et Calcaires Gréseux", d'âge Thitonique Terminal, ont fait l'objet d'une étude de microfaciès (Caminiti, 1985b) et dont les échantillons ont été récoltés en 1985 par F. Recroix. Malgré un environnement différent entre ces deux sites, l'étude des microfaciès a montré des ooïdes micritisées, un ciment précoce aciculaire et des bioclastes associés (Caminiti, 1988 ; Caminiti, 1985b).

Les horizons à ooïdes du Parnasse en Grèce continentale, d'âge Crétacé inférieur, présentent des faciès différents dont la plupart des grains sont des ooïdes qui ont subi des déformations, des cassures, des reprises de croissance individuelle, et piégés par des tapis de cyano-bactéries (Caminiti, 1985a).

Généralités sur les ooïdes

De nombreux auteurs ont contribué à l'étude des ooïdes anciennes et actuelles et dont les principaux sont : Sorby (1879), Rothpletz (1892), Kalkowsky (1908), Berg (1944), Teichert (1970), Loreau (1973), Bathurst (1975), Deelman (1978), Purser (1980), Simone (1981), Flugel (1982), Augustithis (1982), Richter (1983), Monty et Van Laer (1984), Bernet-Rollande (1984).

Le terme d'ooïde a été proposé par Kalkowsky (1908) désignant un grain ou une particule sphérique à subsphérique inférieur à 2 mm de diamètre, et généralement compris entre 0,25 et 1 mm.

D'après le même auteur, les ooïdes ont une activité individuelle et se développent suivant une forme propre, limitée de tout côté. L'ooïde est constituée d'un nucléus entourée par une ou plusieurs couches, et montre, le plus souvent, une structure à la fois radiaire et concentrique. La roche composée d'ooïdes est appelée oolithe. La texture de l'oolithe est variable, de type grainstone à packstone, lui conférant une porosité initiale importante de 35 à 45%.

La texture "grainstone" correspond à un sable carbonaté dont les éléments sont liés par un ciment. La porosité primaire peut être importante.

La texture "packstone" correspond à un sable boueux sans ciment entre les grains. La porosité primaire se réduit à une microporosité.

L'origine des ooïdes peut être physico-chimique, biochimique ou microbienne.

Notons aussi, la formation d'ooïdes ou haloïdes dans des milieux extrêmes comme celui du Lac Asal, et, dont certains auteurs attribuent leur origine à des bactéries halophiles se développant à partir de 80 g/sel dissous. La croissance simultanée de la structure fibreuse radiaire et concentrique est due directement aux bactéries (halobactéries) dans un environnement isotropique (Castanier & al., 1992 ; Perthuisot & al., 1993).

Description des horizons à ooïdes étudiés

De par leur intérêt économique, l'étude des horizons à ooïdes porte sur trois pays (Figure n° 1) que l'auteur a participé dans la recherche de ces roches carbonatées durant sa thèse et des études plus spécifiques pour le compte de compagnies pétrolières. Au Moyen Orient et surtout en Arabie Saoudite, ces niveaux constituent des réservoirs pétroliers importants et des réserves inestimables d'où une attention particulière devra être portée lors du premier forage d'exploration en République de Djibouti.

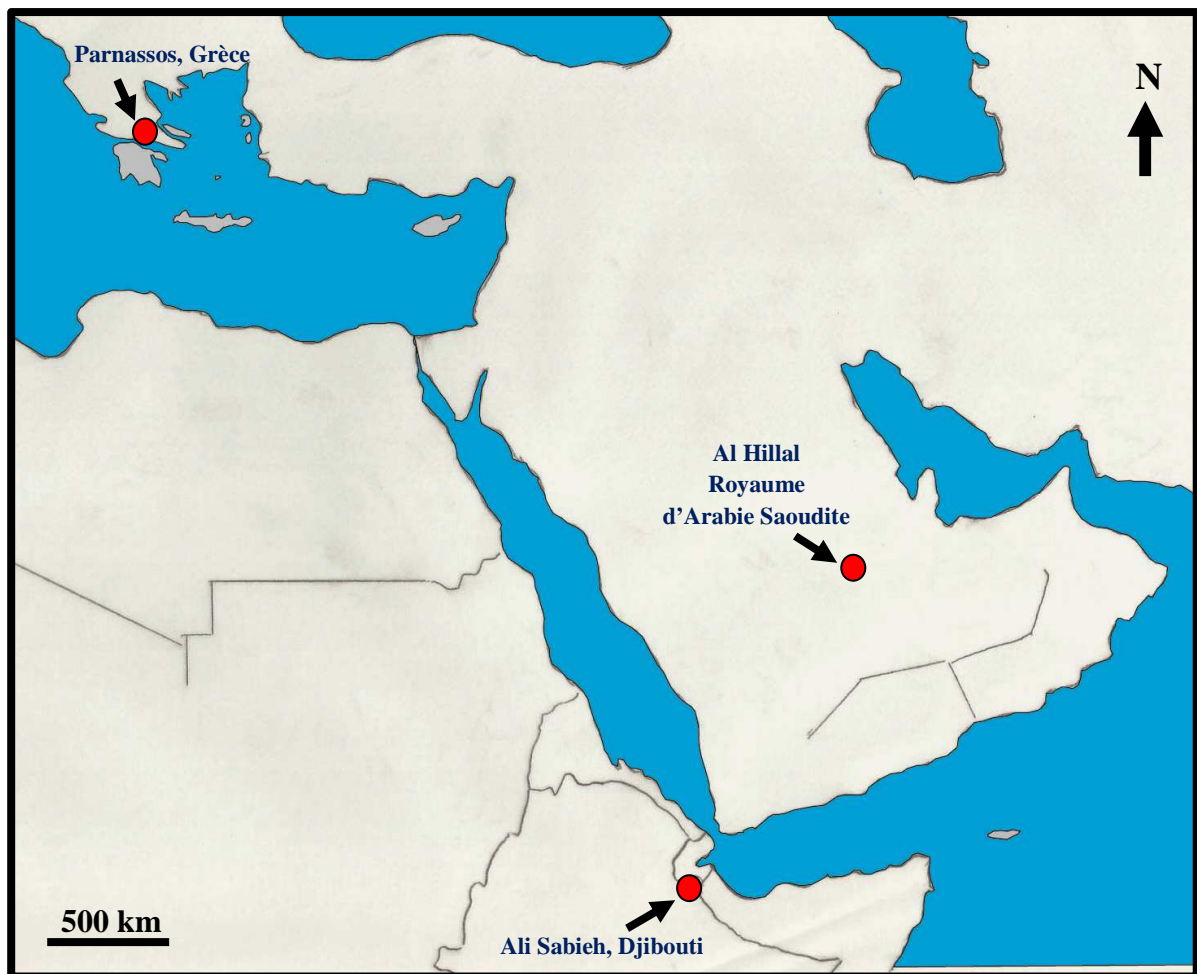


Figure n° 1 : Carte de localisation des sites étudiés

L'étude pétrographique de ces horizons est basée sur la classification des roches carbonatées (Dunham, 1962 ; Embry & Klovan, 1971 ; Maurin, inédit 1975) correspondant à des classes granulométriques (boues, sables, graviers, galets) et caractérisant des textures de dépôt. Les trois critères essentiels sont la présence ou l'absence de boue carbonatée (< 1%), la proportion de grains présents dans la roche, la disposition des grains (jointifs : grainstone ; non-jointifs : packstone). Les deux autres définitions étant les roches construites (bounstones ou biolithes) et les roches carbonatées cristallines.

Horizons à Ooïdes du Jurassique Supérieur d'Arabie

Le Jabel Tuwayq, situé à l'Est de l'Arabie Saoudite, a fait l'objet d'une étude sédimentologique en 1987. Des observations de terrain et des études de lames minces ont été réalisées. Des couches carbonatées à oïdes associées à des bioclastes, des niveaux boueux dolomitiques à fenestrae et des brèches de dissolution de gypse/d'anhydrite ont été observées à 10 km au Sud du village Al Hillal, le long de la route Riyadh-Layla.

La base de cette séquence est caractérisée par des brèches de dissolution gypseuse formant des monticules ou des injections perturbant la couverture. Des déformations halocinétiques de type diapir de la "Formation Arab D sommitale" ont été observées montrant des structures

fluidales et bréchiques d'anhydrite/gypse et carbonates. Cette structure est coiffée par des petits bancs carbonatés-dolomitiques à fenestrea. Les horizons à oïdes et bioclastes terminent cette séquence. Cette Formation "Arab" est scellée par une épaisse série d'anhydrite, la Formation "Hith" couverture imperméable des réservoirs pétroliers du Jurassique en Arabie et régionale.

Un levé de coupe au dessus de ce monticule brèchique montre la disposition suivante (Figure n° 2):

- Des horizons carbonatés ondulés à oïdes, présence de grains de gypse et de cristaux authigénique de quartz
- Des niveaux de calcaires à fenestrae (cavités allongées ou irrégulières) associés à des algues cryptalgaires et des calcaires dolomitiques
- Des petits bancs calcaires bioclastiques associés à des oïdes

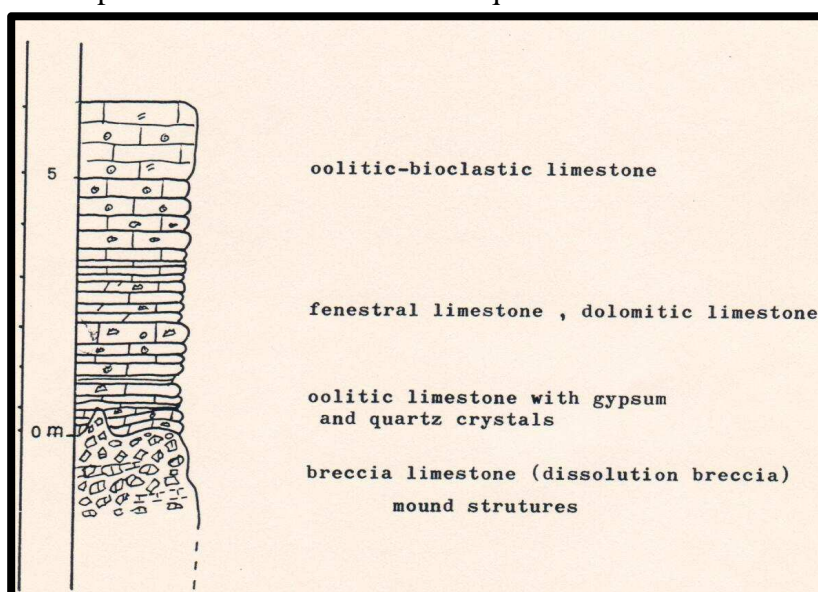


Figure n° 2 : Coupe au Sud du village d'Al Hillal, Jabel Tuwayq (Caminiti, 1988)

Deux types de microfaciès sont présentés :

- Microfaciès grainstone à packstone associées à des fragments d'organismes (bioclastes) (Photo n° 1). La forme des oïdes est sphérique ou oblongue et micritisée. Les grains présentent un ciment précoce aciculaire, et les pores inter-particules sont colmatés par une sparite secondaire. Présence de "ponts micritiques" ou "meniscus cement" entre les grains (Dunham, 1971).
- Microfaciès grainstone compacté à oïdes, nucléus micritisé, peloïdes et cristaux de quartz authigènes. Ces horizons sont associés à des niveaux dolomitiques et des évaporites.

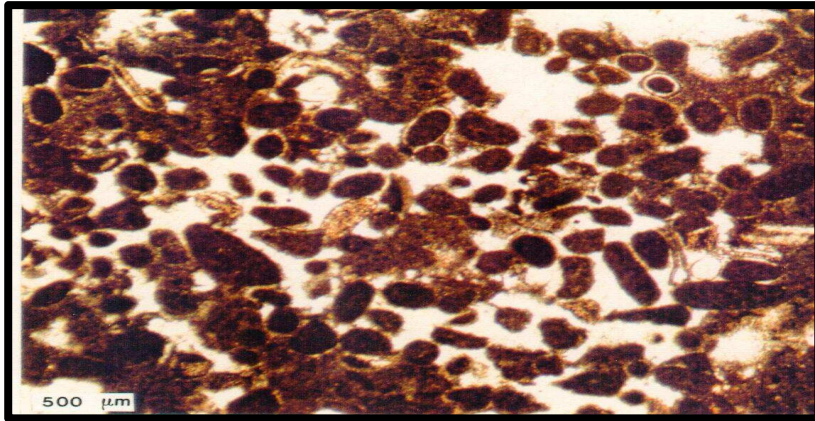
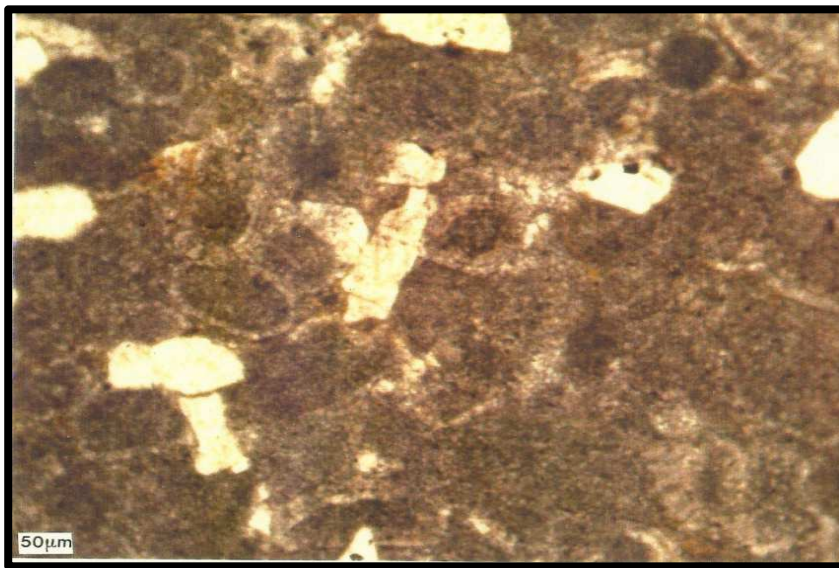


Photo n° 1 : ci-dessus et photo n° 2 : ci-dessous



Horizons à Ooïdes du Jurassique Supérieur de la République de Djibouti

Les différents horizons à ooïdes décrits par Gasse et *al.* (1986) sont :

- dans la partie sommitale de la formation des "Calcaires Massifs Pyriteux", ooïdes et bioclastes dans un milieu peu agité d'âge Oxfordien, analogue au sommet de la formation des "Calcaires d'Antalo" en Ethiopie, à la formation de la partie supérieur des "Calcaires de Sa Wer" et aux "Calcaires de Wanderer" en Somalie du Nord.
- dans la Formation "Calcaires compacts", sur 30 mètres de calcaires à bioclastes et ooïdes. Les ooïdes ont la forme sphérique ou ovoïdes, le cortex mince ou épais et le nucleus de nature divers (foraminifères, bioclaste ou lithoclaste calcaire). Cette formation correspondrait à celle des "Calcaires de Gawan" en Somalie du Nord, d'âge Tithonique.
- dans la formation "Grès et calcaires gréseux", notamment dans la partie calcaires gréseux avec une alternance de calcaires oolitiques et bioclastiques et des calcaires micritiques. Cette formation se rapporte à la partie sommitale des Calcaires de Gawan d'âge Tithonique Terminal. L'ensemble de cette formation, de 35 à 50 mètres d'épaisseur, pourrait constituer un très bon réservoir pétrolier.

Des échantillons de cette dernière formation ont été étudiés, et plus particulièrement les calcaires gréseux compris entre deux formations gréseuses. Ces dépôts carbonatés détritiques, d'une vingtaine de mètres, sont constitués d'une alternance de bancs à ooïdes associés à des bioclastes et des bancs micritiques. Ils renferment de nombreux fossiles, algues, fragments d'échinodermes, gastropodes et lamellibranches. D'après les données recueillies par Gasse & *al.*, 1986, une coupe synthétique du Mésozoïque d'Ali Sabieh a été dressé (Caminiti dans cet article, figure n° 3) et dont le niveau des calcaires gréseux a été positionné. Les échantillons, récoltés par F. Recroix en 1985, proviennent du secteur des oueds Dabiley et Biyyadigley. La séquence sédimentaire est constituée de calcaires plus ou moins gréseux en bancs massifs, d'épaisseur régulière, alternant avec des calcaires marneux à débit de rognon.

L'étude de lames minces réalisée (Caminiti, 1985) a permis de décrire quatre principaux microfaciès :

1. Horizon boueux-sableux (packstone) à gastropodes, débris de pélécy-podes et péloïdes, avec une porosité intra-granulaire de dissolution obturée par une calcite en mosaïque secondaire.
2. Horizon sableux-boueux, dolomitique à péloïdes et fragments d'organismes encroûtés par une enveloppe de micrite, avec une porosité vacuolaire de moule importante et obturée.
3. Horizon sableux (grainstone) à ooïdes et fragments bioclastiques. Les ooïdes sphériques ou oblongues sont constitués d'un cortex à structure fibro-radiée et concentrique. Le nucléus correspond à une micrite péloïdale et parfois à un grain de quartz anguleux ou un fragment d'organisme. Une cimentation précoce aciculaire enrobe les ooïdes, suivi d'au moins deux générations de ciments sparitiques comblant les pores. La porosité inter-granulaire a été préservée montrant peu de compaction (photos n° 4).
4. Horizon boueux-sableux (packstone) à ooïdes, bioclastes et grains de quartz anguleux. Les ooïdes sont liées entre elles par des "ponts micritiques" ou "meniscus cement" (Dunham, 1971) et par un ciment de calcite fibro-radié. L'apport détritique, essentiellement des quartzs, semble faible (Photo n° 3).

Le paléo-environnement de cette formation correspond à un milieu marin, peu agité avec de faibles apports détritiques.

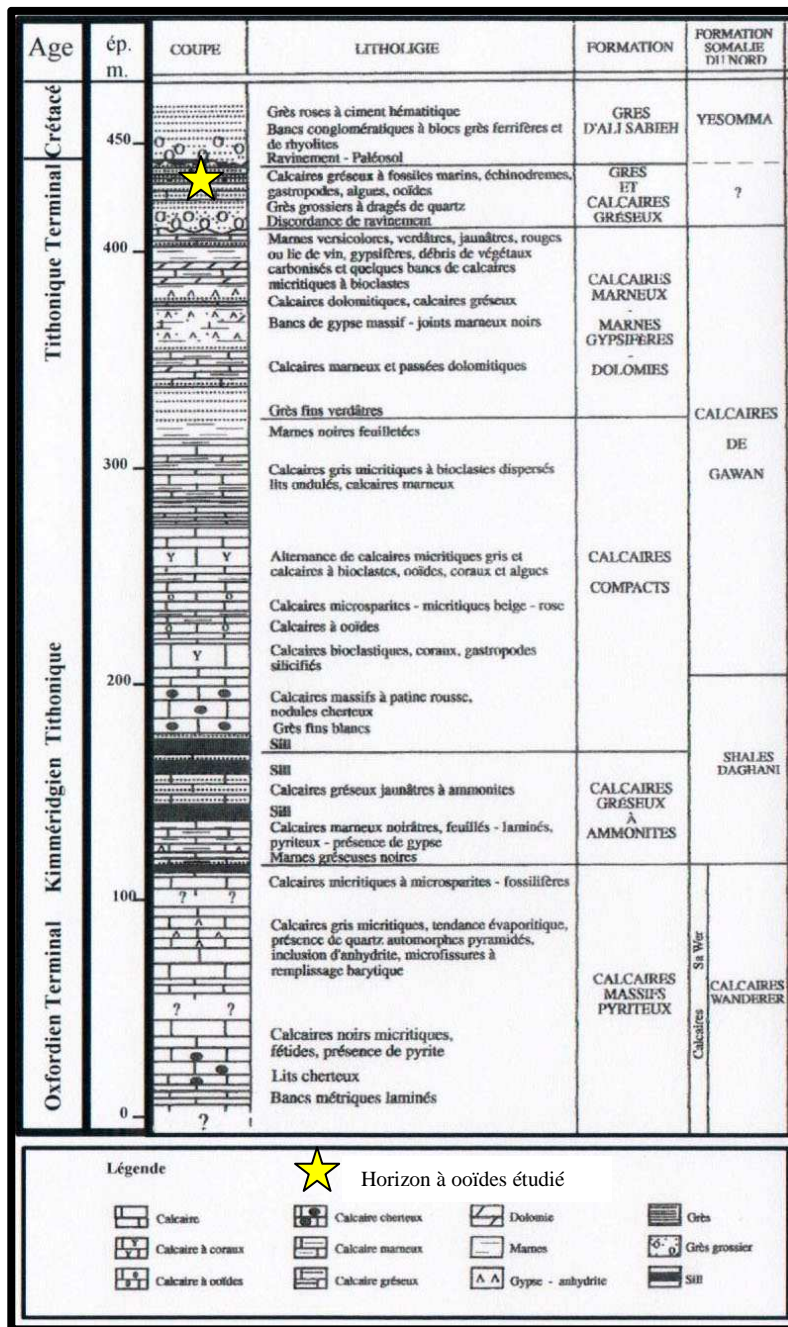


Figure n° 3 : Coupe synthétique du Mésozoïque d'Ali Sabieh (Caminiti)

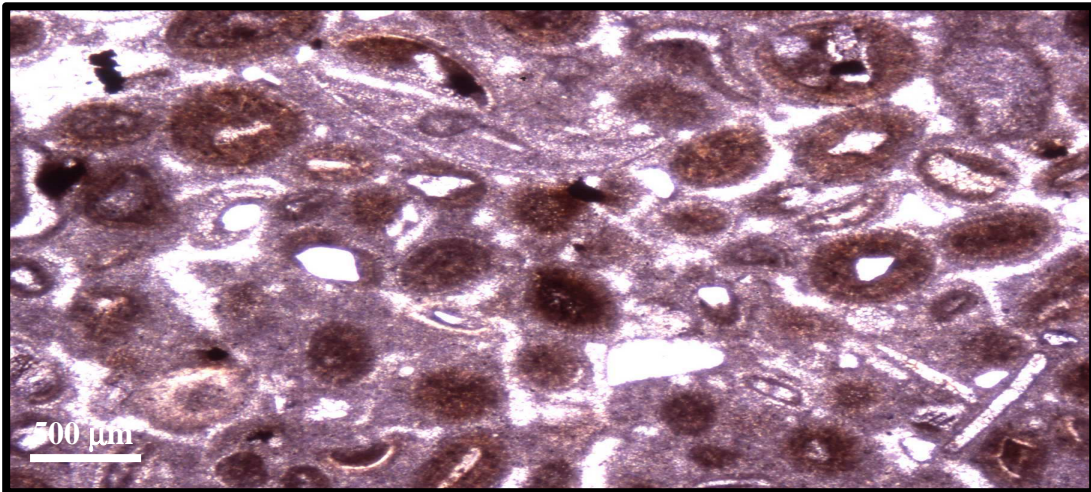


Photo n° 3 : Packstone avec fragments d'échinodermes, de bivalves, de gastropodes, d'ostracodes, des grains de quartz et des oïdes. Certains grains (quartz) forment le noyau des oïdes. Le cortex des oïdes se compose de microsparites fibro-radiées et de couches concentriques micritiques. Les pores sont colmatés par un ciment sparitique. Domaine côtier avec apports détritiques continentaux.

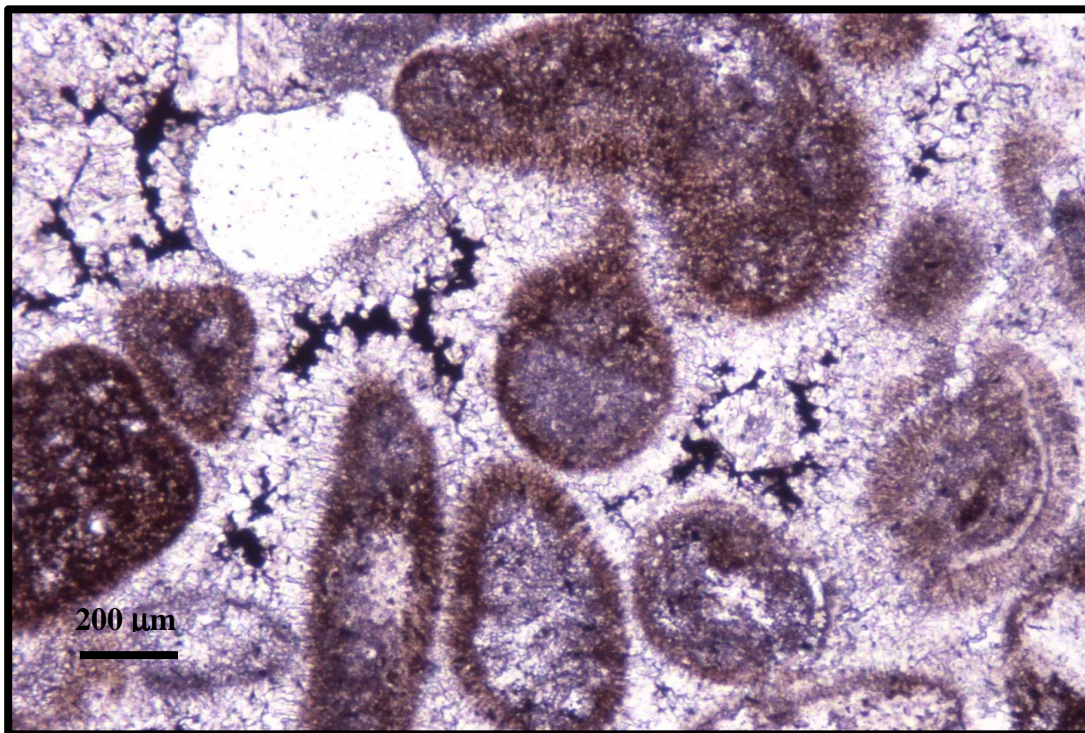


Photo n° 4 : Grainstone à bioclastes, oïdes et grains de quartz entourés d'un ciment fibreux précoce, et d'un second et troisième ciment sparitique asymétrique. Les pores inter-granulaires ne sont pas colmatés. Domaine côtier avec apports détritiques continentaux.

Horizons à Oïdes du Crétacé Inférieur du Parnasse, Grèce

Des observations de terrain et des études de lames minces ont été réalisées lors de ma thèse entre 1982 et 1985 (Caminiti, 1985), sur deux sites, Agia Anna et Artotenta, dans le massif du Parnasse en Grèce continentale.

Ces horizons à oïdes sont d'âge Barrémien à Aptien (Crétacé Inférieur) et se présentent en passées décimétriques (de 0,20 cm à 0,50 cm) intercalées entre des niveaux micritiques et/ou à oncoïdes. Des structures à laminites cryptalgaires (stromatolithes s.l.) leurs sont associées et des calcaires micritiques à fenestrae (petites cavités alignées dans des sédiments laminés : "laminoïd fenestral fabric" Tebbutt & *al.*, 1965).

Des fractures synsédimentaires en échelons et des passées laminées à stylolites sont apparues après la lithification des horizons à oïdes.

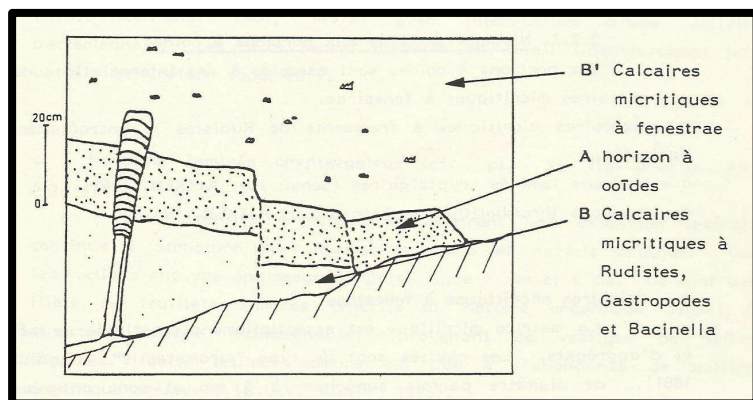
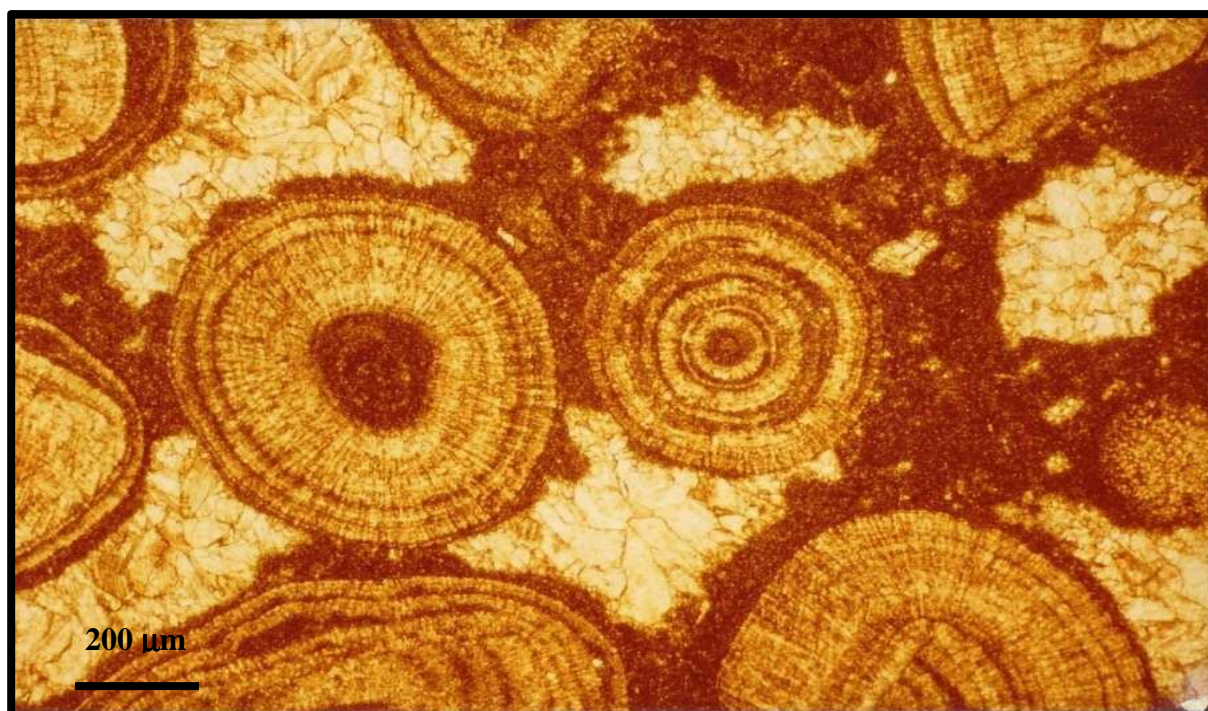


Fig. n° 4 : Horizon à oïdes fracturé en échelon entre un calcaire micritique à bioclastes (rudistes, gastropodes et cyanophysées) et un calcaire micritique à fenestrae (petites cavités alignées dans des sédiments laminés : "laminoïd fenestral fabric"), Secteur d'Agia Anna, Massif du Parnasse, Grèce continentale.

L'étude en lame mince a permis de décrire essentiellement des horizons sableux à oïdes (grainstone) présentant des oïdes de forme diverses. Les oïdes sont constituées d'un nucléus simple ou composé entouré d'une structure fibro-radiée et concentrique. Les oïdes de différentes formes ont été piégées par des structures laminées cryptalgaires (L), ou reliées entre elles par des "ponts micritiques". Les cavités sont colmatées par une calcite en mosaïque (Photo n° 5, secteur d'Agia Anna). Des Oïdes entières associées à des "Hémi-oïdes", à nucléus micritisé constituées d'une structure radiaire et d'enveloppes concentriques, ont la paroi externe du cortex enrobée d'une fine pellicule de micrite et reliées par des "ponts micritiques". Les pores inter-granulaires sont colmatés par une calcite en mosaïque (Photo n° 6, secteur d'Artotenta). De nombreuses formes d'oïdes ont été observées : oïdes entières (sphériques ou oblongue) ; hémioïdes (sensu Kalkowsky, 1908) ou hiatus oïdes (sensu Berg, 1944) ; oolithes repliées (Celet, 1962) ; oïdes complexes ou polyoïdes.



Photo n° 5 et 6 : Grainstone à oïdes piégées par des structures laminées cryptalgaires (L)



paléo-environnements

Antoine, Marie CAMINITI

Si on se réfère à la genèse des ooïdes (mode de croissance, de contraintes internes, de différence du milieu inter et intra ooïde), ces horizons n'impliquent pas forcément "une dynamique en environnements agités". La plupart des faciès évoquent plutôt un milieu de dépôt non exondé de faible énergie.

Les horizons à ooïdes peuvent prendre naissance dans différents milieux. De nombreux auteurs considèrent que les ooïdes précipitent dans un milieu à haut niveau d'énergie, haut fond, balancement des marées, alors que des exemples ont été décrits dans des environnements protégés et calmes (Lagons du golfe Arabo-Persique, Loreau et Purser, 1973 ; dans le golfe d'Aqaba, Friedman et *al.*, 1973 ; dans la Laguna Madre du Texas, Freeman, 1962 ; dans le grand lac salé de l'Utah (Sandberg, 1975 ; Halley, 1977) ; dans le lac d'eau douce de Genève, Plee, 2008). L'interprétation systématique de la formation des ooïdes dans un « milieu agité » a été remise en question par Loreau en 1982. Aussi, la nature minéralogique des ooïdes et de la micrite au Jurassique et au Crétacé inférieur était initialement calcitique (Loreau, 1982). Les enveloppes micritiques, les ponts micritiques et les filaments calcifiés, dus à une activité microbienne jouant un rôle important dans les processus de lithification de la roche, stabilisation et cimentation des sables carbonatés, ont été observés dans divers milieux marins subtidaux, intertidaux et des environnements continentaux, zone vadose (Hillgärtner et *al.*, 2001).

Pour le site d'Al Hillal, Jabel Tuwayq en Arabie, les paléo-environnements du Jurassique Supérieur évoquent un milieu peu profond (micrites algaires, ooïdes, bioclastes, dolomie) et des dépôts d'évaporites. Les quartz authigènes donnent une indication d'un milieu à tendance évaporitique (Rouchy et *al.*, 1984 ; Rouchy et *al.*, 1986). Certains grains de quartz ont des inclusions d'anhydrite. La formation de grosses masses d'évaporites et des passées carbonatées à la fin du Jurassique marque une régression généralisée et constituée la couverture des réservoirs géants en Arabie (Le Nindre et *al.*, 1987). Fin du Jurassique est une période majeure de dépôts d'évaporites dans l'histoire de la Terre, et notamment en Afrique du Nord et en Arabie, attribués à des milieux divers marins, peu profonds, lagons, en eau profonde ou dans des lacs éphémères (Wilson, 1975).

Pour le site d'Ali Sabieh, les paléo-environnements du Jurassique Terminal correspondent à des dépôts sédimentaires de haut fond de plate forme (grès, sédiments oolithiques et bioclastiques à matrice carbonatée). La présence de quartz, et accessoirement de muscovite, d'épidote et de feldspaths (microcline) au sein de ces dépôts évoquent la proximité de terres émergées.

Pour les ooïdes du Parnasse de la Grèce, d'âge Crétacé Inférieur, aucun indice géométrique de haute énergie n'a été relevé ni dans le secteur d'Agia Anna attribué à un bassin interne (lagon), ni dans le secteur d'Artotenta interprété comme une bordure et haut fond du lagon (Combes, 1978). Le caractère primaire de la structure fibro-radiée calcitique, la brisure des ooïdes (hémiooïdes) pendant leur croissance liée à des tensions internes et la présence de structures de laminites cryptalgaires, permettent d'avancer que les ooïdes des deux secteurs se sont développées dans un milieu marin calme plus ou moins profond à salinité anormale.

Réservoirs pétroliers attribués à ces niveaux

Lors de leur dépôt, les sédiments carbonatés ont des porosités primaires très importantes allant de 35 à 75 %.

Les meilleures porosités primaires des carbonates se trouvent dans les niveaux à grainstones (sables carbonatés) et particulièrement les faciès à oïdes avec 35 à 45% de porosité initiale. Lors de l'enfouissement des sédiments, une grande partie de cette porosité disparaît, du à la compaction des dépôts carbonatés pouvant aller à plus de 30% sur quelques centaines de mètres enfouis. La disparition de cette porosité est d'autant plus importante si les grains ne sont pas cimentés entre eux. L'abondance du carbonate de calcium dans ces milieux permet une cimentation quasi permanente de calcite sparitique.

Des réservoirs potentiels peuvent ne pas fournir des hydrocarbures, absence de migration.

En France, le réservoir producteur du champ pétrolier de Chailly correspond aux faciès à oïdes du Dogger, Jurassique Moyen (Cussey and Friedman, 1977), avec la présence ou l'absence de ciment et des espaces vides originels. Un autre champ, celui-ci non productif de St. Brice-Villeneuve, à faciès à oïdes est du à la compaction de la charge ou d'une déformation tectonique, et à la dissolution. Les oïdes se sont tassées provoquant la dissolution du ciment aciculaire, et un second ciment calcitique à bloquer tous les pores donnant une porosité nulle.

En Iraq, de très bons réservoirs ont été répertoriés dans la "Formation Yamama" d'âge Crétacé, constitués de calcaire à oïdes avec une porosité en moyenne entre 6 et 12% et une très bonne perméabilité de plus de centaines de millidarcies. Les porosités sont de type intergranulaire et intragranulaire, et accessoirement une porosité secondaire (Mazeel, 2011).

En Arabie Saoudite, les principaux réservoirs du système pétrolier Mésozoïque appartiennent au Jurassique Supérieur de la Formation "Arab" et du Crétacé Inférieur des Formations "Safaniya" et "Khafji". La Formation "Arab" d'âge Kimméridgien-Tithonique Inférieur renferme les réservoirs pétroliers les plus productifs dans le Monde (Powers, 1962 ; Powers & *al.*, 1966 ; Hughes, 1996 ; 2004 ; Cantrell & *al.*, 2014) dont le champ pétrolier de Ghawar (Alsharhan & Kendall, 1986 ; Mitchell & *al.*, 1988 ; Saudi Arabia Oil Company, 1996). Ce sont des dépôts complexes de rampes, talus, corps récifaux, lagons, constitués de bancs cycliques de micrites, de dépôts graveleux de bivalves, des biostromes, des récifs et des monticules de boue à stromatopores ou à coraux, des horizons de grainstones/packstones à oïdes et bioclastes. La Formation "Hith", épaisse série d'anhydrite couvrant la Formation "Arab", représente la couche imperméable des réservoirs Jurassique. La porosité des réservoirs est de type inter-granulaire, vacuolaire, intra-particule, et d'une microporosité. La perméabilité est surtout due aux vides inter-particules, vacuolaires et les grains dolomités (Cantrell & *al.*, 2014).

Les affleurements du Jurassique d'Ali Sabieh sont très affectés par des intrusions volcaniques postérieures (Daoud, 2008 ; Le Gall & *al.*, 2010), calcaires recristallisés, légèrement métamorphisés, empêchant ainsi d'évaluer correctement le système pétrolier de Djibouti. Néanmoins, les horizons à oïdes de la Formation "Grès et Calcaires gréseux" semblent avoir conservés grâce aux divers ciments entre les grains une porosité intra-granulaire et pourrait être, en profondeur, un réservoir potentiel.

Conclusion

L'étude pétrographique des niveaux à oïdes sur les trois sites étudiés confirme dans un premier temps l'origine de leur dépôt dans un milieu calme et non agité. Les ciments précoces aciculaires, les ponts micritiques et les laminites cryptalgaires ont permis de stabiliser et de préserver ces horizons. La présence d'une porosité intra-granulaire et d'une microporosité dans les oïdes et les stromatolithes dans ces sables peuvent constituer de bons réservoirs comme c'est le cas en Arabie Saoudite.

L'origine microbienne des oïdes est actuellement admise par la majorité des spécialistes en sédimentologie et en microbiologie. La plupart des oïdes sont associées à des lamines stromatolithiques et prendraient naissance en sein de ces tapis, en milieu non agité et à substrats organiques riches. D'un point de vue morphologique, de nombreux et divers types d'oïdes pourraient faire penser à des souches diversifiées de micro-organismes et correspondraient à divers stades de minéralisation ou de croissance.

Les oïdes doivent être considérées comme des objets biologiques à part entière, une entité spécifique de l'époque et de l'écologie donnée.

Les grains de quartz détritiques (République de Djibouti) ou authigènes (Arabie Saoudite) sont sensiblement antérieur à la formation des oïdes. Ils sont pris soient comme nucléus soient en grains piégés.

Au même titre que les formations gréseuses du Jurassique et du Crétacé de la République de Djibouti et d'une manière régionale, les horizons à calcarénites, à bioclastes, à oïdes et les récifs à stromatopores ou coraux pourraient être des niveaux favorables en tant que réservoirs pétroliers. Des études plus spécifiques mériteraient d'être menées étant donné l'importance de ces niveaux.

Bibliographie

Alsharhan A.S. & Kendall C. G. St. C., 1986. Precambrian to Jurassic Rocks of Arabian Gulf and Adjacent Areas: Their Facies Depositional Setting and Hydrocarbon Habitat. *A.A.P.G. Bull.*, V. 70, #8.

Augustithis S.S., 1982. Atlas of the Sphaeroidal textures and structures and their genetic significance. *Theophrastus publ.* Athens, 329 p.

Bathurst R.G.C., 1975. Carbonate sediments and their diagenesis. *Elsevier*, 2nd large edition, 658 P.

Berg G., 1944. Vergleichende petrographische oolithischer Eisenerze. *Arch. Lagerstättenforsch.*, 76, Berlin.

Bernet-Rollande M. C., Mercadier G., Maurin A.F., 1984. Sedimentological and stratigraphical bearing of Urgonian (Barremian-Aptian) ooids from France and Tunisia. *5th Eu. Congr. Sedim. I.A.S.*, Marseille (Abstr.).

Caminiti A.M., 1988. Mesozoic Facies and Microfacies from Jabal Tuwayq and Eastern area of Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia. *Rapport Interne TOTAL*.

Caminiti A.M., 1985a. Le Crétacé Supérieur de la Plate-Forme carbonatée du Parnasse-Ghiona, et de la formation carbonatée-détritique de Koulovate (zone béotienne), Grèce

Continentale. Thèse-Doctorat, 3 tomes, 13 novembre 1985, Université de Provence (Aix-Marseille 1).

Caminiti A.M., 1985b. Etude de quelques microfaciès du Jurassique Supérieur de la région d'Ali Sabih (République de Djibouti). *Rapport Interne TOTAL*.

Cantrell D.L., Nicholson P.G., Hughes G.W., Miller M.A., Buhllar A.G., Abdelbagi S.T. and Norton A.K., 2014. Tethyan Petroleum Systems of Saudi Arabia, in L. Marlow, C. Kendall and L. Yose, eds., Petroleum systems of the Tethyan region: *AAPG Memoir* 106, p. 613-639.

Castanier S., Perthuisot J-P., Rouchy J-M., Maurin A. & Guelorget O., 1992. Halite ooids in Lake Asal, Djibouti: Biocrystalline Build-Ups. *Geobios*, n° 25, fasc. 6, p. 811 - 821.

Celet P., 1962. Contribution à l'étude géologique du Parnasse-Ghiona et d'une partie des régions méridionales de la Grèce continentale. *Ann. Géol. Pays Hél.*, t. XIII.

Combes P.J., 1978. Nouvelles données sur les relations entre la paléogéographie et la gîtologie des bauxites du 3^{ème} horizon dans la zone du Parnasse (Grèce). *4th Intern. Congr. ICSOBA*, Athens, 1, p. 92 - 100.

Cussey R. & Friedman G.M., 1977. Patterns of Porosity and Cement in Ooid Reservoirs in Dogger (Middle Jurassic) of France. *A.A.P.G. Bul.*, V. 61, N° 4, p 511 - 518.

Daoud M. A., 2008. Dynamique du rifting continental de 30 Ma à l'Actuel dans la partie sud-est du Triangle Afar. Tectonique et magmatisme du rift de Tadjoura et des domaines Danakil et d'Ali Sabieh, République de Djibouti. Thèse Université de Bretagne Occidentale, Brest, 190 pp.

Deelman J.C., 1978. Experimental ooids and grapestones : carbonate aggregates and their origin. *J.S.P.*, 48, n° 2, p. 503-512.

Dunham R.J., 1971. Meniscus cement. *In: Carbonate cements*, O.P. Bricker (Ed.), John Hopkins Univ. Studies Geology, n° 19, p 297-300.

Dunham R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *In: Classification of carbonate rocks*, Ham (Ed.), Am. Ass. of Petrol. Geol., Tulsa, p 108 – 121.

Embry A.F & Klovan J.E., 1971. A late Devonian reef tract on Northeastern banks Islands, N.W.T.. *Bull. Can. Petrol. Geol.* 19, 4, p 730 - 781.

Flugel E., 1982. Microfacies Analysis of limestones. *Springer-Verlag*, Berlin, 610 p.

Freeman T., 1962. Quiet water oolites from Laguna Madre, Texas. *J. Sedim. Petrol.*, 32, 5, p 475 - 483.

Friedman G.M., Amiel A.J., Braun M. & Miller D.C., 1973. Generation of carbonate particles and laminites in algal mats, example from sea-marginal hypersaline pool, Gulf of Aqaba, Red Sea. *A.A.P.G. Bull.*, 57, p 541 - 557.

Halley, 1977. Ooids fabric and fracture in the Great Salt Lake and geologic record. *J. Sedim. Petrol.*, 47, 3, p 1099 - 1120.

Hillgärtner H., Dupraz Ch., Hug W., 2001. Microbially induced cementation of carbonate sands: are micritic meniscus cements good indicators of vadose diagenesis ?. *Sedimentology*, V. 48, p. 117 - 131.

Kalkowsky E., 1908. Oolith and Stromatolith in norddeutschen Buntsandstein. *Z. Dent. Geol. Ges.*, 60, p. 68-125.

Le Gall B., Daoud M. A., Rolet J., Maury R., Guillou H. & Sue C., 2010. Magma-driven anti-form structures in the Afar rift: The Ali Sabieh range, Djibouti. *J. Struct. Geol.*, 32, p 843 - 854.

Le Nindre Y.M., Manivit J. et Vaslet D., 1987. Histoire géologique de la bordure occidentale de la Plate-Forme Arabe du Paléozoïque inférieur au Jurassique Supérieur. Thèse d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 4 livres.

Loreau J.P., 1982. Sédiments aragonitiques et leur genèse. *Mém. Du Museum Nat. d'Hist. Nat.*, Paris, série C, 47, 312 p.

- Loreau J.P., 1973.** Nouvelles observations sur la genèse et la signification des oolites. *Sci. Terre*, 18, p. 213-244.
- Loreau J.P. & Purser B.H., 1973.** Distribution and ultrastructure of Holocene ooids in the Persian Gulf. *In: The Persian Gulf* (Ed by B.H. Purser) p 279 - 328, Springer-Verlag, Berlin.
- Mazeel, M., 2011.** "Hydrocarbon potential, reservoir development estimated for western Iraq's Akkas gas field," *OGJ*, Oct. 3, 2011, p. 86.
- Mitchell J.C., Lehmann P.J., Cantrell D.L., Al-Jallal I.A. and Thagfay M.A.R., 1988.** Lithofacies, Diagenesis and Depositional Sequence : Arab-D member, Ghawar Field, Saudi Arabia, SEPM Core Workshop #12, Houston, 1988.
- Monty et Van Laer (1984),
- Perthuisot J-P., Castanier S., Rouchy J-M., Maurin A. & Guelorget O., 1993.** Le role des bactéries dans la precipitation du sel, exemple du Lac Asal (Djibouti). *In Jevade du sel (Ed.)*, Actes Coll Int. du Sel, Salier de Bearn, pp. 199-144.
- Plee K., 2008.** Geomicrobiological investigation of ooid cortex formation in a freshwater environment - Lake Geneva, Switzerland. Thèse de doctorat: Univ. Genève, 2008, no. Sc. 4043.
- Powers R.W., 1962.** Arabian upper Jurassic carbonate reservoir rocks. A.A.P.G., Mem. 1, pp. 122-192.
- Powers R.W., Ramirez L.F., Redmond C.D. & Elberg E.L., 1966.** Geology of the Arabian peninsula : Sedimentary geology of Saudi Arabia. U.S.G.S. Prof. Paper, 560-D, 147 p., 14 fig., 1 tabl., 10 pl. h.t.
- Purser B.H., 1980.** Sédimentation et diagenèse des carbonates néritiques récents. *Technip*, Paris, Tome 1, 366p.
- Richter D.K., 1983.** Calcareous ooids: a synopsis. *Springer-Verlag*, Coated grains, Ed. T.M. Peryt, p. 71-99, Berlin Heidelberg.
- Rothpletz A., 1892.** On the formation of oolite. *Amer. Geologist*, 10, p. 279-282.
- Rouchy J.-M., Bernet-Rollande M.C. & Maurin A.F., 1986.** Pétrographie descriptive des évaporites - Applications sur le terrain en subsurface et au laboratoire. *Ed. Technip*, Paris, *Les séries à évaporites en exploration pétrolière, Tome 1 : Méthodes géologiques*. Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et du Gaz Naturel, Comité des Techniciens et GRECO 52 (CNRS), p 73 - 122.
- Rouchy J.-M., Groessens E. & Laumondais A., 1984.** Sedimentologie de la formation anhydritique viséenne du sondage de Saint-Ghislain (Hainaut, Belgique) - Implications paléogéographiques et structurales. *Bull. Soc. Belge Géol.*, T 93, fasc. 1-2, p 105 - 145, Brux.
- Sandberg P.A., 1975.** New interpretation of great salt lake ooids and ancient non skeletal carbonate mineralogy. *Sedimentology*, 25, p 673 - 702.
- Saudi Arabian Oil Company, 1996.** Impact of 3-D Seismic on Reservoir - Characterization and Development, Ghawar Field, Saudi Arabia. A.A.P.G. Studies in Geology, #42 and SEG Geophysical Development Series #5, AAPG/SEG, Tulsa.
- Simone L., 1981.** Ooids: a review. *Earth Sci. Rev.*, 16, p. 319-355, 25 fig.
- Sorby H.C., 1879.** The structure and origin of limestones. *Prac. Geol. Soc. Lond.*, 35, p.56-95.
- Takezaki H., Dennis B., Akbar M. & Petricola M., 2003.** Intrinsic Potential. *Middle East & Asia Reservoir Review*, N° 4, p 5-9.
- Tebbutt G.E., Conley C.D. & Boyd D.W., 1965.** Lithogenesis of a distinctive carbonate rock fabrics. *Contributions to Geology*, R.B. Parker (Ed.), University of Wyoming, Laramie, p 1-13.
- Teichert C., 1970.** Oolite, oolith, ooid: discussion. *A.A.P.G. Bull.*, 54, p. 1748-1749.
- Wilson J.L., 1975.** Carbonate facies in Geologic History. *Springer Verlag*, Berlin, 471 p.