

CARACTERISATION MULTI-ECHELLE DE L'AQUIFERE CARBONATE FRACTURE EOCENE DU SYNCLINAL DE GOURIGUEUR (REGION DE TEBESSA, ALGERIE NORD ORIENTALE)

BOUZENOUNE AZZEDINE*, HIRECHE SAAD*, MERCIER ERIC, BOUFAA KAMEL***

*Laboratoire de Génie géologique - Université de Jijel, bouzenoune@univ-jijel.fr

**Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique de Nantes - Université de Nantes

Le synclinal éocène de Gourigueur se trouve au nord-est de l'Algérie à environ 50 Km à l'Ouest de la ville de Tébessa. L'Eocène carbonaté fracturé de ce massif constitue l'un des aquifères de la région. Le présent travail vise à caractériser le réseau des fractures de ce réservoir aquifère à partir d'une analyse multi-échelles et à établir une caractérisation microfaciologique et diagénétique des roches carbonatées éocènes constituant le synclinal.

I- Méthodologie

Dans le double but d'une caractérisation microfaciologique et diagénétique d'une part et de l'évaluation qualitative de la porosité matricielle et de fracture des roches carbonatées éocènes du synclinal de Gourigueur d'autre part, une campagne d'échantillonnage a été réalisée. Une quarantaine d'échantillons ont été prélevés selon quatre (04) coupes orientées NW-SE (perpendiculairement à l'orientation de l'axe du synclinal) et espacées régulièrement dans la direction NE-SW. L'orientation des coupes et leur répartition spatiale a été faite de telle sorte à pouvoir suivre les variations des faciès et de la porosité en fonction de la position structurale dans le synclinal (flanc NW, charnière, flanc SE) et également les variations dans la direction NE-SW au sein de la même position structurale.

La fracturation a été observée et étudiée de la lame mince à l'image satellite. L'état de fissuration à l'échelle microscopique a été approché en utilisant les lames minces imprégnées de résine destinées pour l'évaluation de la porosité des roches carbonatées éocènes du synclinal de Gourigueur. A l'échelle de l'affleurement, l'état de fracturation de ces roches a été approché selon deux méthodes : une première méthode par inventaire sur des stations de mesure de 12 m² de superficie réparties sur l'ensemble du massif et une deuxième méthode par traverse ou « scanline » de 15 m de longueur. La première méthode permet de faire l'analyse statistique de l'orientation des fractures, de calculer leur extension latérale et la densité de fracturation. La deuxième méthode permet une caractérisation quantitative des différents paramètres spécifiques à chaque famille de joints (l'espacement, la fréquence, la densité, l'extension latérale) et une analyse statistique plus complète du réseau de fracturation. Les images satellitaires de « Google-earth » montrent clairement le réseau de fracturation du massif de Gourigueur (Fig.1). Ces images nous ont permis d'élaborer des cartes de fracturation ayant servi comme document de base pour l'analyse de cette fracturation selon des « scanlines » et selon une aire rectangulaire (window sampling) en adoptant la technique FraNep développée par Zeeb et al (2013).

II- Caractérisation microfaciologique, diagénétique et évaluation qualitative de la porosité

L'étude microfaciologique menée sur les échantillons prélevés sur l'ensemble du synclinal de Gourigueur, nous a permis d'identifier neuf (09) microfaciès : 1- faciès à Nummulites, 2- faciès gros Gastéropodes, 3- faciès à Foraminifères, 4- faciès à débris d'Echinodermes en baguettes, 5- Faciès à débris de Lamellibranches non dissouts, 6- Faciès à débris de Gastéropodes dissouts, 7- Faciès à petits bioclastes indéterminés plus ou moins dolomités, 8- Faciès à grains phosphatés, 9- Faciès dolomitique

Il y a lieu de signaler que cette distinction s'est faite principalement sur la base du biofaciès. Nous avons, en effet, utilisé la nature et l'abondance des divers bioclastes comme critère majeur de distinction. La majorité des associations faunistiques semblent indiquer un milieu de dépôt de mer intérieure d'une plate-forme carbonatée.

Les processus diagénétiques les plus importants ayant eu des effets négatifs ou positifs sur les propriétés pétro-physiques observés dans les roches carbonatées éocènes du massif de Gourigueur sont représentés par : la lithification et la compaction, la précipitation chimique, la silicification, la dolomitisation, la phosphatisation, la dissolution et la compaction fracturation.

La majorité des microfaciès identifiés à partir de l'étude microfaciologique est caractérisée par des textures du type packstone traduisant un degré de compaction assez poussé au point de développer des « pseudo-sthyrolites » au niveau des contacts entre les particules. Elle traduit un enfouissement assez conséquent qui d'une part, a directement contribué à réduire la porosité originelle de la roche et d'autre part est à l'origine

d'autres processus diagénétiques (précipitation chimique, recristallisation...) ayant également contribué à la réduction de la porosité originelle (Fig.2).

A la lumière de cette étude microfaciologique et diagénétique, il apparaît que ces roches sont, à cette échelle microscopique, caractérisées par une faible porosité matricielle (intra- et interparticulaire). Etant donné que ces roches forment l'un des aquifères alimentant les centres urbains, notamment celui de la région de Chéria, il est alors logique de conclure à un contrôle étroit par la fracturation des capacités réservoirs de ces formations carbonatées éocènes.

III- Caractérisation du réseau de fracture

De direction atlasique (NE-SW), le synclinal de Gourigueur s'étend sur une vingtaine de kilomètres du SW au NE et sur environ cinq kilomètres du NW au SE (Fig.1.1). La projection stéréographique des pôles des plans de stratification donne un axe du pli orienté N34°E et incliné de 4°SW (Fig.3.1). A son extrémité nord-orientale, il se termine par une fermeture péri-synclinale alors que vers le SW il s'ennoie sous les formations quaternaires ; ces dernières constituent l'aquifère poreux superficiel le plus important de la région.

Les mesures des directions prélevées dans les formations carbonatées éocènes ont permis de mettre en évidence deux familles de fractures principales (d1 et d2) dont les orientations moyennes sont respectivement N43E77NW et N132E81SW et deux familles de fractures secondaires (d3 et d4) de directions obliques par rapport aux deux premières respectivement ENE-WSW à ESE-WNW et SSE-NNW (Fig.3.2).

Le tableau 1 récapitule quelques caractéristiques des fractures des deux familles principales d1 et d2.

L'**espacement** des fractures, analysé par le coefficient de variation qui est défini par l'écart-type de l'espacement divisé par l'espacement moyen (Odling et al., 1999), montre que leur distribution est modérément régulière à modérément anti-groupée et rarement groupée.

	d1	d2
Direction	N43E77NW	N132E81SW
Coefficient de variation	0,24-0,77	0,18-1,27
Fréquence (valeurs moyennes)	Charnière : 1,56 Flanc NW : 1,27 Flanc SE : 1,43	Charnière : 1,63 Flanc NW : 1,3 Flanc SE : 1,05
Intensité (valeurs moyennes)	0,25-7,77	0,15-5,08
Densité surfacique (valeurs moyennes)	Charnière : 1,02 Flanc SE : 0,84 Flanc NW : 0,97	Charnière : 1,16 Flanc SE : 0,88 Flanc NW : 0,82
Connectivité	0,14-4,38	

Dans l'ensemble, les fractures présentent une **fréquence**, exprimée par le nombre de fractures par mètre, plus importante dans la charnière que dans les deux flancs. Cependant, les fractures de la famille d2 montrent des fréquences légèrement plus élevées au niveau de la charnière et du flanc NW que celles de la famille d1 alors que c'est l'inverse qui est constaté pour le flanc SE. Il apparaît également que l'épaisseur et le pendage du banc porteur des fractures n'ont pas d'effet significatif sur la fréquence des fractures.

Sur la base de l'**intensité**, représentée par le rapport de la fréquence des fractures par la fréquence des bancs, la fracturation induite par ces deux familles peut être classée dans la catégorie de « forte fracturation » (Ruhland, 1973). La **densité surfacique**, correspondant à la somme des longueurs cumulées pour chaque famille de fractures par unité de surface (Mauldon and Dershowitz, 2000), varie d'une station à l'autre de 0,63 à 4,75 (Hireche, 2014). En moyenne elle est de l'ordre de 2,3. Cette variation est contrôlée par la position structurale (flancs et charnière), elle est globalement plus élevée au niveau de la charnière (1,75 à 4,75 avec une moyenne de 1,02 pour d1 et 1,16 pour d2) que sur les deux flancs (Tab. 1). Les fractures étudiées sont généralement béantes, parfois conjuguées et montrent une **connectivité** plus développée au niveau des flancs.

L'examen des images satellitaires a donné des résultats montrant une certaine correspondance avec ceux du terrain notamment en ce qui concerne les familles de fractures, leur orientation et leur densité, bien que la connectivité ait diminué.

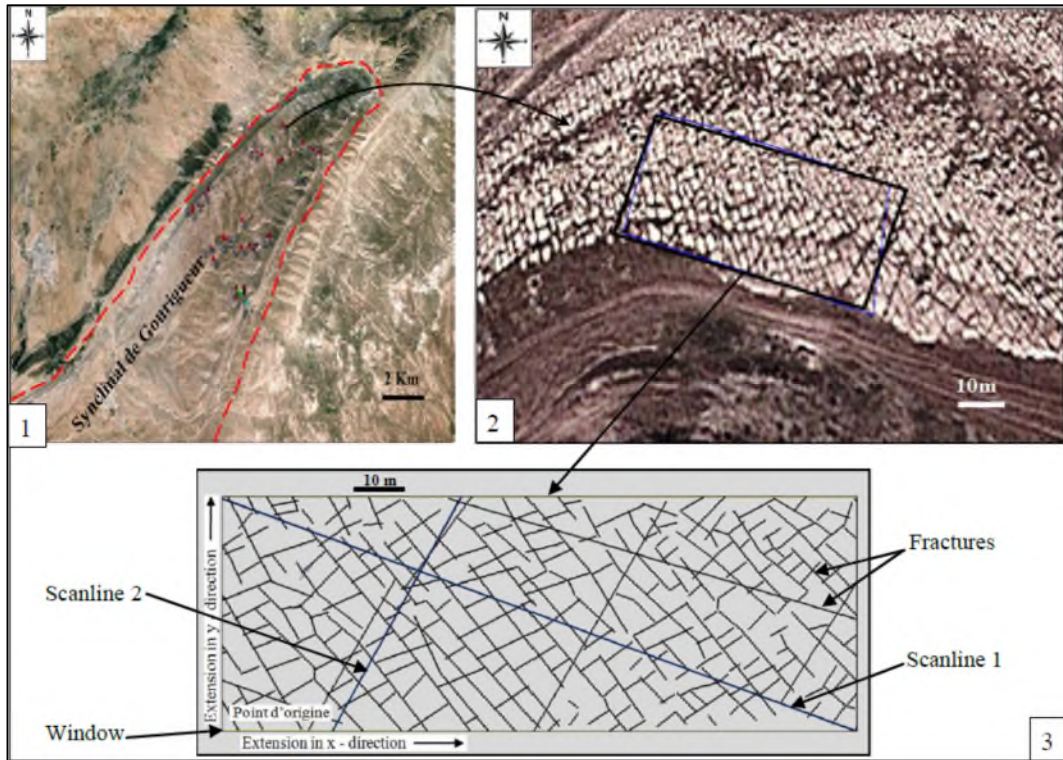


Fig.1- Extraction et élaboration d'une carte de fracturation à partir des images «Google earth». 1) Allure d'ensemble du synclinal de Gourigueur. 2) Localisation, géométrie et dimensions de la fenêtre « windows » utilisée. 3) Carte de fracturation extraite de l'image «Google earth» et situation des « scanlines » utilisées.

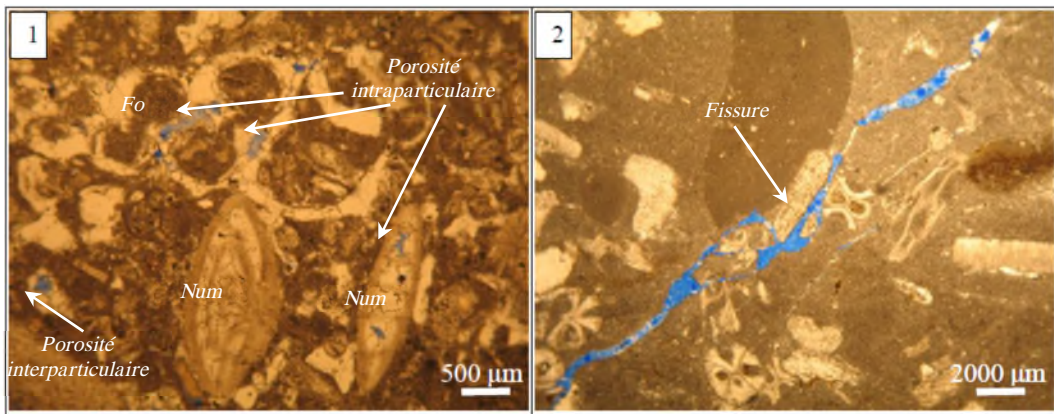


Fig. 2 : Photos illustrant des exemples de porosités affectant les roches carbonatées éocènes du synclinal de Gourigueur. **Photo 1**- porosité matricielle intra- et interparticulaire colorée en bleu. Les particules sont représentées par des nummulites (Nu) et des foraminifères (Fo). **Photo 2**- Microfissure colmatée à porosité fissurale résiduelle (colorée en bleu).

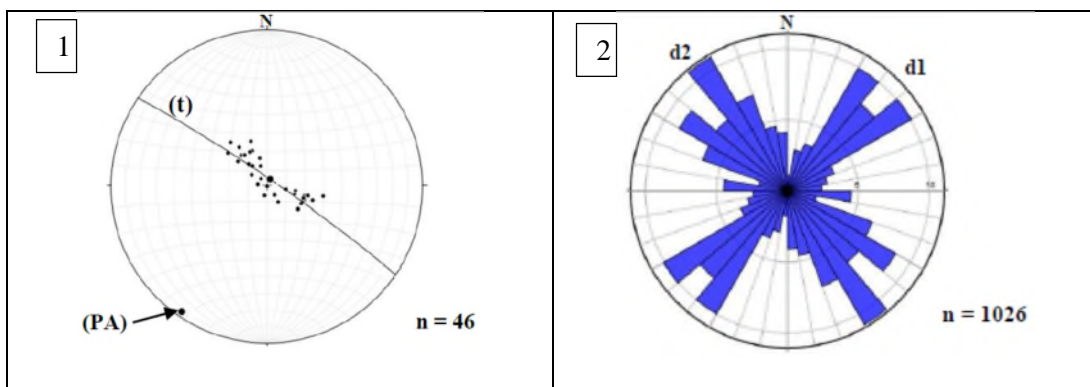


Fig. 3 : 1) Orientation de l'axe du synclinal de Gourigueur à partir des pôles des plans de stratification. (n) : nombre de mesures. (t) : trace cyclographique à travers les pôles des plans de stratification. (PA) pôle déterminant l'axe du pli. 2) Rosaces des directions de fractures dans l'ensemble du synclinal de Gourigueur.

L'analyse comparative avec les massifs éocènes de la région de Tébessa (Dyr et massifs de la région de Chéria) ainsi que ceux de Tunisie (Ousselat entre autres) a montré que certains paramètres surtout qualitatif à l'image des orientations se retrouvent dans la plupart des massifs. Il en est de même pour certains paramètres quantifiés tels que la fréquence et l'espacement qui sont sensiblement similaires alors qu'ils présentent des valeurs différentes pour d'autres paramètres quantifiés comme la densité de fracturation. Les principales familles de fractures identifiées dans le massif de Gourigueur se retrouvent également dans la plupart des autres massifs (Benabbes, 2006 ; Baali, 2007 ; Chamekh, 2011). Les espacements moyens relatifs aux différentes familles de fractures sont dans leur ensemble du même ordre de grandeur que ceux retrouvés dans les calcaires éocènes du massif d'Ousselat (Boukadi, 2000). Il en est de même pour la fréquence linéaire bien que les valeurs paraissent légèrement plus élevées dans le massif de Gourigueur. La densité de fracturation apparaît également sensiblement plus élevée dans le massif de Gourigueur par rapport à celle du massif d'Ousselat. L'inverse est constaté pour les longueurs moyennes bien que l'échelle d'observation n'est pas la même.

En conclusion il apparaît clairement que l'aquifère carbonaté éocène de Gourigueur est caractérisé par une très faible porosité matricielle. La fracturation constitue le paramètre principal contrôlant la porosité et la perméabilité et par conséquent les propriétés hydrodynamiques et le développement des phénomènes karstiques dans ce réservoir. A l'échelle du massif, cette fracturation est hétérogène, la charnière est relativement plus fracturée par rapport aux flancs. Les différents paramètres structuraux déterminés et analysés dans cette étude peuvent offrir une bonne qualité au réservoir carbonaté, que ce soit en termes de porosité ou de perméabilité. En effet, l'organisation de cette forte fracturation en différentes familles, la dispersion de leurs orientations sur les différentes positions structurales, la répartition spatiale de sa densité, et sa connectivité idéale ont été confirmés à différentes échelles. Afin de simuler les écoulements dans le réservoir fracturé il faut relier ces propriétés géométriques aux propriétés d'écoulement du milieu.

Mots clés : Fracturation, Réservoir, Gourigueur.

References bibliographiques

- **Baali F. (2007)**- Contribution à l'étude Hydrogéologique, Hydrochimique et vulnérabilité à la pollution d'un système aquifère karstique en zone semi-aride. Cas du plateau de Cheria (NE algérien). *Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba, Algérie, 177 p.*
- **Benabbas Ch. (2006)**- Evolution mio-plio-quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord orientale : apport de la photogéologie et analyse morphostructurale, *Thèse de Doctorat, Sciences de la terre, Université Mentouri – Constantine, Algérie. 256p.*
- **Boukadi N., El Ayeb S. et Kharbachi S. (2000)**- Analyse de la fracturation des calcaires yprésiens en tunisie : exemple de djebel Ousselat, Tunisie. *Bull. Soc. Géol. Fr. n° 3, pp. 309-317.*
- **Chamekh K. (2011)**- Relation fracturation-morphologie, implications hydrogéologiques, exemple des calcaires fissurés de la région de Cheria (Nord-Est algérien). *Mémoire Magistère. Sciences de la terre, Université Larbi Tebessi, Tébessa, Algérie. 197p.*
- **Mauldon and Dershowitz, (2000)**- A multi-dimensional system of fracture abundance measures. *Geological Society of America Annual Meeting, 28 p.*
- **Hireche, S. (2014)**- Analyse multi-scalaire de la fracturation du réservoir carbonaté éocène du synclinal de Gourigueur (Région de Tébessa, Algérie Nord orientale). *Mémoire de magister, Université Mohamed Seddik Benyahia, Jijel, Algérie, 140 pages.*
- **Odling, N.E., Gillespie, P. et al. (1999)**- Variations in fracture system geometry and their implications for fluid flow in fractured hydrocarbon reservoirs. *Petroleum Geoscience, 5, 373–384.*
- **Ruhland M. (1973)**- Méthode d'étude de la fracturation naturelle des roches associées à divers modèles structuraux, *Bull. Sci. Géol. 26. Strasbourg. 91-113.*
- **Zeeb C., Gomez-Rivas E., Bons P D., Virgo S., Blum P (2013)**- Fracture network evaluation program (FraNEP): A software for analysing 2D fracture trace-line maps. *Computers & Geosciences, pp. 11-22*