

Caractérisation des schistes sombres du bassin de Tafilalet

[Characterization of dark shales of basin Tafilalet]

Abdelmajid Abatalib¹, Najia Gouzouli², Redouane Moussa², and Omar Saddiqi¹

¹Laboratoire de géodynamique et thermochronologie,
Faculté des sciences Aïn Chock, Casablanca, Maroc

²Laboratoire physico-chimie des matériaux inorganiques,
Faculté des Sciences Aïn Chock, Casablanca, Maroc

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The origin of the dark coloration in some Paleozoic shales in Tafilalet Basin was the subject of along geological debate. Is it due to the richness of organic matter? The abundance of dark minerals? Or both of them? This paper consists to characterize some dark shales dating from Paleozoic of the Eastern Anti-Atlas of Morocco. The Thermogravimetric and differential thermalanalysis, X-ray diffraction and scanning electron microscope are experimental tools that have been used in this study. The results of these analyze show that dark shales of Tafilalet basin are rick on organic matter. This study may be useful in oil field exploration.

KEYWORDS: Black shale, organic matter, Basin of Tafilalet, porosity, Mineralogy.

RESUME: L'origine de la coloration sombre de certains schistes paléozoïquesde Bassin de Tafilalet, était le sujet d'un long débat géologique.Celaest-ildû à la richesseen matière organique? A l'abondance des minéraux sombres? Ou les deux à la fois?

L'objectif de ce travail est de caractériser quelques schistes noirs de Paléozoïque provenant de l'Anti-Atlas Oriental du Maroc. L'analyse Thermogravimétrique et Thermique différentielle, la Diffraction des Rayons X, et le Microscope Electronique à Balayage sont des outils expérimentaux qui ont été employé pour réaliser cette étude. Les résultats de ces analyses ont montré que les schistes sombres de Tafilalet sont riches en matière organique. Cette étude pourra être utile dans le domaine de l'exploration pétrolière.

MOTS-CLEFS: Schiste noir, Matière organique, Bassin de Tafilalet, porosité, Minéralogie.

1 INTRODUCTION

Du Cambrien inférieur au Dévonien les schistes marins sont très fréquents au Maroc en raison de la position distale du pays sur le plateau du Gondwana Paléozoïque [1]. Dans l'Anti-Atlas Oriental, les schistes sombres sont souvent de couleur grise foncée à noire, quand c'est inaltéré, en partie due à la présence de matière organique, cependant dans le bassin de Tafilalet, les schistes sombres de Paléozoïque ne reflètent pas forcément la richesse en matières organique, la couleur sombre peut également être produite par des composés sulfurés microcristallines telles que la Pyrite (FeS) indicative de conditions diagénétiques anoxiques et d'autres minéraux noirs tels que les oxydes de Manganèse, issus des processus biologiques comme le métabolisme bactérien appelé Chemolithotrophie qui indique des conditions sous-oxyques [2], [3], [4].

La série sédimentaire Paléozoïque de l'Anti-Atlas Orientale atteint 8 km d'épaisseur à l'Ouest et décroît jusqu'à 4 km à l'Est, la puissance de la couverture décroît également vers le nord. Sur la bordure nord-ouest de la boutonnière du Sahara,

les sédiments Paléozoïques sont masqués par le bassin Cénozoïque de Ouarzazate. Au nord de l'Ougnat, ce sont les roches Crétacées qui recouvrent une partie du Paléozoïque dans la partie Nord-Est du Tafilalt. Toute la série Paléozoïque est dominée par des sédiments déposés dans un environnement de mer peu profonde [5].

A Tafilalet les carbonates ont été le sujet de plusieurs études, cependant, très peu sont les recherches qui se sont intéressées à l'étude des Schistes.

Caractérisés par leur couleur sombre, les schistes des périodes Ordovicien supérieur-Silurien et Silurien-Dévonien de l'Atlas Oriental sont marqués par des Graptolites, des Orthocères et des Crinoïdes planctoniques [6], [7]. Les variations climatiques ont permis un changement de la sédimentologie dans le bassin de Tafilalet, de la fin de l'Ordovicien supérieur au Frasnien moyen. La sédimentation détritique devient graduellement carbonatée, permettant ainsi des dépôts des calcaires massifs intercalés par des schistes sombres. Caractéristique d'un environnement pauvre en oxygène [8].

L'objectif de ce travail est la caractérisation physicochimique des schistes sombres de Tafilalet afin d'en déduire la composition organique et minéralogique, et par conséquent l'intérêt que pourra présenter ce bassin dans le domaine de l'exploration pétrolière.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 LA ZONE D'ÉTUDE

Le secteur d'étude est situé dans la partie Est de l'Anti-Atlas Oriental (figure 1). Il est limité à l'Est par la Hamada de Guir, au Sud par celle de Kem Kem, à l'Ouest par la cuvette du Tazzarine et s'ennuie au Nord sous les bassins crétacés et tertiaires d'Errachidia-Boudenib et de Ouarzazate.

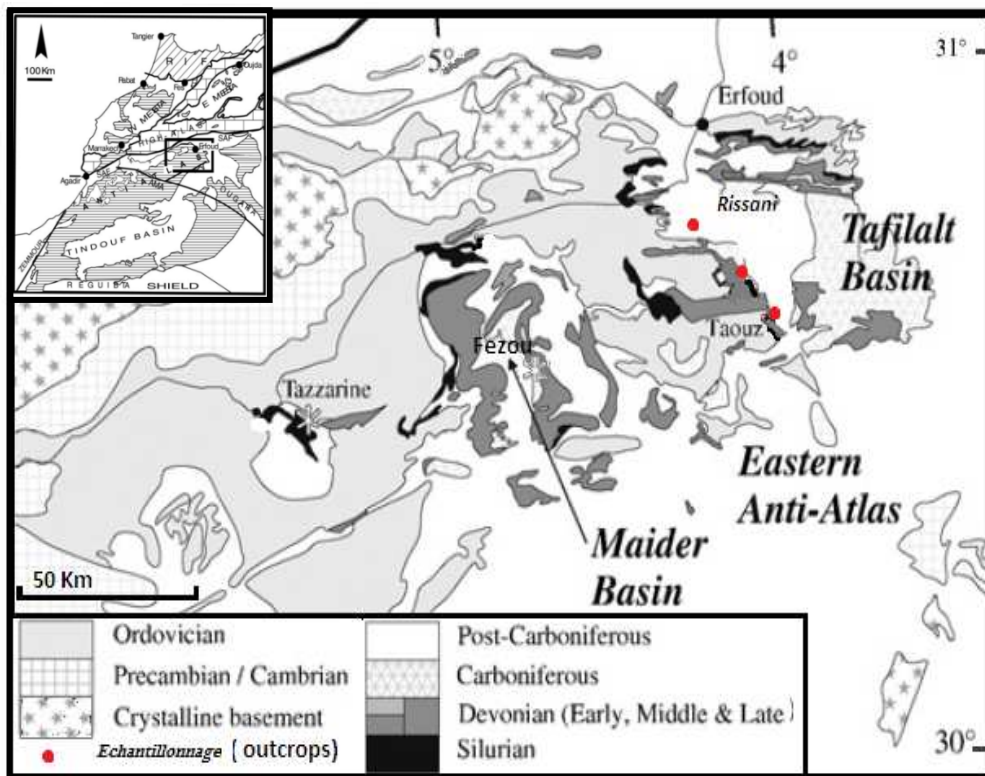


Figure 1. Schéma géologique montrant la couverture sédimentaire du Bassin de Tafilalet-Maïder et les lieux d'échantillonnage.

2.2 APPROCHE MÉTHODIQUE

Des échantillons de schistes sombres paléozoïques datés de l'Ordovicien, Silurien et Dévonien ont été récupérés (figure 2) afin de réaliser une série des analyses pour caractériser les propriétés physicochimiques de ces matériaux.

Les matériaux ont été observés par microscope optique de type *Nikon*, pour une description générale et la recherche des microfossiles. L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X a été effectuée par un diffractomètre à poudre *Siemens*

D500 à anticathode de nickel ($\lambda K\alpha = 1,5406 \text{ \AA}$), couplé à un micro-ordinateur qui permet un pilotage automatique de la rotation du goniomètre ainsi que l'acquisition et le traitement des données. La puissance utilisée est de 30KV et l'intensité est de 20 mA.

Dans le but de quantifier les espèces minérales et/ou organiques potentiellement présentes dans la matrice d'étude, des analyses thermogravimétriques ATG, des analyses thermiques différentielles ATD et des analyses par perte au feu ont été réalisées. Les observations ont été centrées sur la gamme de températures comprises entre 180 et 560 °C, le domaine de combustion de la matière organique.

La méthode (ATD) consiste à mesurer la différence de température ΔT entre l'échantillon à étudier et un échantillon de référence inerte, tous deux soumis aux mêmes conditions. Cette différence est liée à la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par le matériau étudié. On enregistre ainsi ΔT en fonction de la température. Ceci permet de détecter des pics de transformations endothermiques et exothermiques. L'appareil utilisé est de type **Linseis L62 ATD**, il permet de travailler dans un intervalle de température allant de 25°C à 1250 °C. La vitesse de chauffage que nous avons adoptée est de 10°C/mn. L'échantillon de référence étant l'Alumine.

Des observations par Microscope Electronique à Balayage (MEB) ont été réalisées sur des fragments de 0,5 cm de diamètre pour la détermination minéralogique et la caractérisation texturale ou morphologique des matériaux, Le MEB peut également fournir une analyse minéralogique (dispersion d'énergie spectrométrie : EDS), ainsi que des images rétrodiffusées sur des échantillons prélevés. L'appareil utilisé dans cette étude est un microscope de type **Philips XL-30**, fonctionnant sous une tension de 20KV.

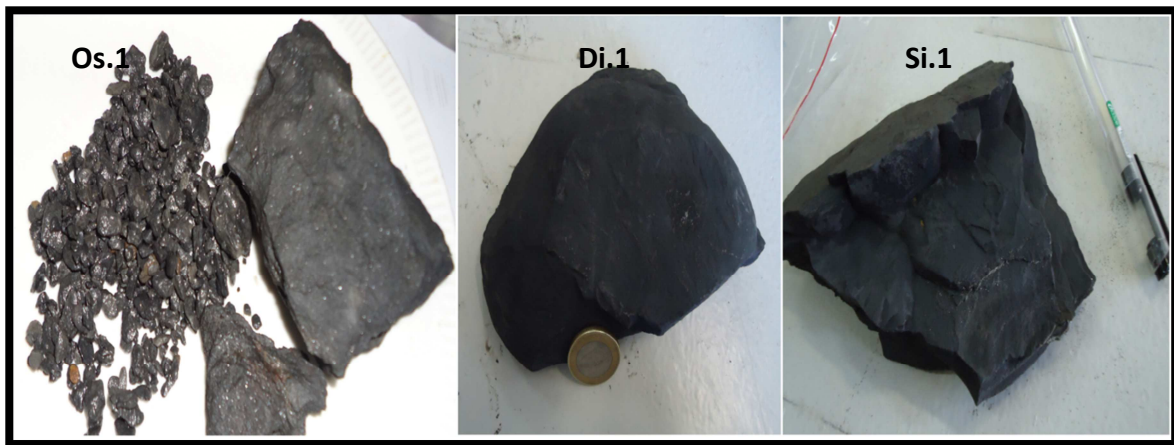


Figure 2. Les schistes paléozoïques de Bassin de Tafilalet.

Os.1 : Schiste Ordovicien, **Di.1** : schiste marneux du Dévonien, **Si.1** : Schiste Silurien inférieur

3 RESULTATS

L'observation des matériaux par microscope optique (Tableau 1) montre dans les plans perpendiculaires au sens de litage des schistes Siluriens, un aspect stratifié et des textures plutôt isotropes. Sur le plan de la granulométrie, ces schistes sont généralement grainstone ou des silts fins à ciment siliceux, on note aussi la présence des fossiles du genre Graptolites, des oxydes de Fer et des framboïdes de Pyrite piégés dans les plans de la stratification, le test acide est négatif.

Pour les schistes du Dévonien, ils présentent une texture généralement wackstone à mudstone rarement grainstone à ciment calcaireux, quelques traces des tiges de crinoïdes sont opérés, la stratification n'est pas toujours claire, et présente dans certains échantillons des structures de bioturbations, le test acide est positif.

Quant aux schistes Ordoviciens, ils sont durs, très micacés à grains de Quartz fins et arrondis bien granoclassés, ciment argileux à hématites, le test acide est négatif.

Tableau 1 : Description lithologique des schistes sombres de Tafilalet avec coordonnées, âges et formations géologiques

Echantillon	Coordonnées	Âge / Périodes	Description Lithologique	Groupe / Formation géologique
Os.1	N 30'49 19 W 05'39 08	Ordovicien Supérieur (Katien)	Gris foncé à Noire, dure, pas de fissures visibles, pyriteux, Micacé. traces de Feldspath. Test acide négatif.	Groupe de Ktaoua
Si.1	N 31'09 58 W 5' 01 11	Silurien moyen (Wenlock)	Silt Noire, non plastique, friable, graptolitique, fissuration visible. Test acide négatif.	Formation de Tamaghrouit
Di.1	N 31'12 35 W 4' 18 58	Dévonien inférieur (Emsien)	Noire, peu plastique, moyennement dure à friable, Test acide positif, trace d'Oxyde de fer.	Formation de Saheb El Rasse

3.1 LES SCHISTES ORDOVICIENS

3.1.1 ANALYSE MINÉRALOGIQUES

Le diffractogramme de L'échantillon (**Os.1**) nous montre une phase argileuse représentée par la muscovite ($K Al_2 Si_3 Al O_{10} (OH)_2$), et une phase non argileuse représentée par du Qz détritique (SiO_2). Ce schiste est constitué seulement par deux minéraux clairs, le Quartz et le Muscovite (figure 3). La couleur noire de ce schiste est donc due, fort probable, à la présence de la matière organique.

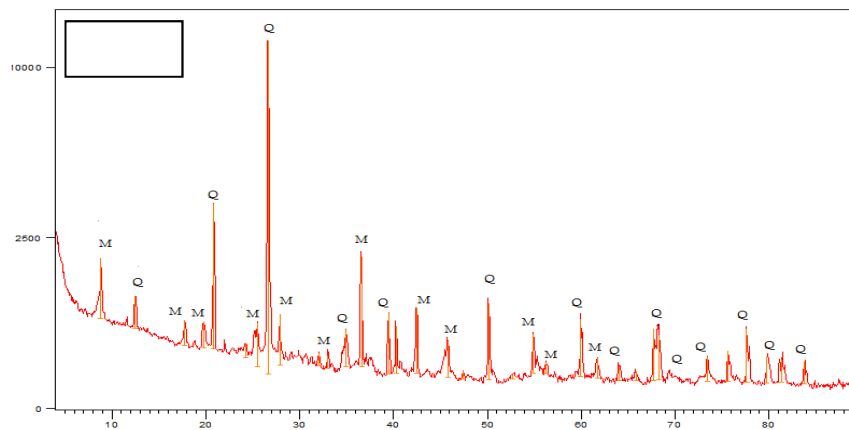


Figure 3. Spectre DRX de l'échantillon (**Os.1**) sur poudre (Angle 2θ)

Q : Quartz, M: Muscovite

3.1.2 ANALYSES THERMOGRAVIMÉTRIQUES ET THERMIQUE DIFFÉRENTIELLES ATD/ATG

Le thermogramme ATD-ATG (Figure 4) des poudres crues du schiste **Os.1** présente :

- Entre 50°C et 260°C, trois pics endothermiques associés à une première perte de poids. Ces pics sont attribués à la perte d'eau libre et adsorbée.
- Un pic exothermique à 350°C lié à la désagrégation de la pyrite et l'augmentation du soufre lié à la matière organique [9].
- Entre 260°C et 850°C, on observe une série de pics exothermiques liés à des pertes de 5% de la masse total de l'échantillon. Ces pertes sont dues à la décomposition de la matière organique [10].
- Vers 500°C de faibles crochets endothermiques caractérisant la présence du quartz.
- De faibles pics endothermiques au voisinage de 850°- 900° indiquant la destruction du mica de type muscovite, qui constitue avec l'eau et le potassium, le minéral de l'illite [11].

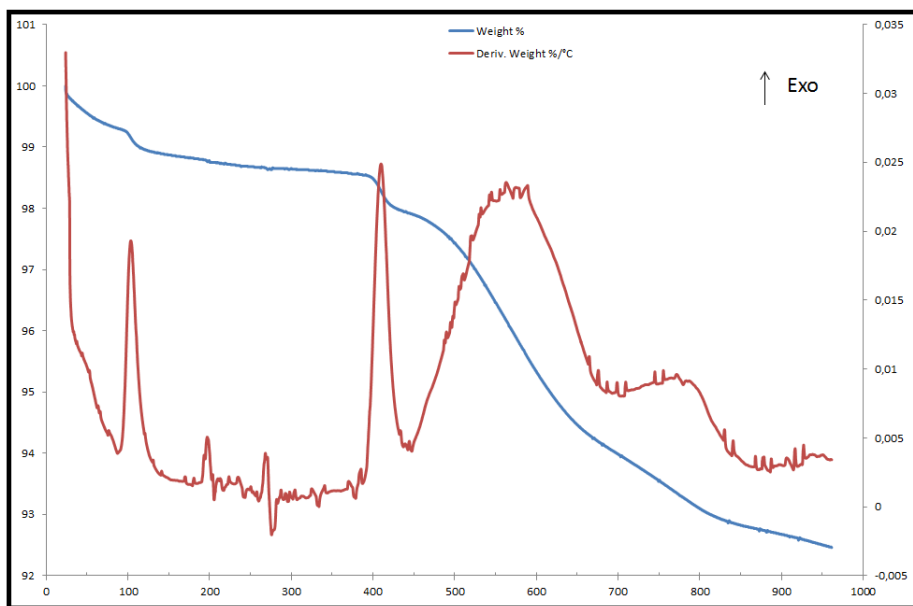


Figure 4. Thermogrammes ATD-ATG des poudres crues du schiste (Os.1).

3.1.3 OBSERVATION PAR MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE

Le MEB dévoile d’importantes données organiques, minéralogiques et texturales (Figure 5).

Sur le plan textural le schiste (**Os.1**) présente trois types de porosités :

- Une porosité organique qui se trouve à l’intérieur de la matière organique (Figure 5: C), cette porosité de diamètre qui varie entre 10 à 20 μm . Une étude antérieure a montré que dans certains schistes organiques, cette porosité varie de 2 à 50 nm [12].
- Une porosité intragranulaire d’ordre nanométrique qui se localise entre les grains et les minéraux constituant le matériau.
- Une porosité fissurale qui reste difficile à détecter à cause de la matrice argileuse dense. Ce type de porosité se localise autour des pores organiques.

Minéralogiquement, on a pu mettre en évidence de la muscovite (Figure 5 : B et C) qui se présente souvent en grandes paillettes (60 à 100 μm), par contre les grains de quartz, souvent de petites tailles, sont difficile à repérer et restent couverts par la matrice et/ou la matière organique.

Du point de vu organique, et grâce à la technique d’extraction de l’élément de carbone, on a pu observer des tissus organiques de 100 μm de diamètre. En effet, le spectre EDS (figure 5 : C’) a montré un pourcentage de carbone organique de l’ordre de 4.85%, cette valeur confirme le pourcentage donné par les Analyses Thermogravimétriques et Thermique différentielles (5%).

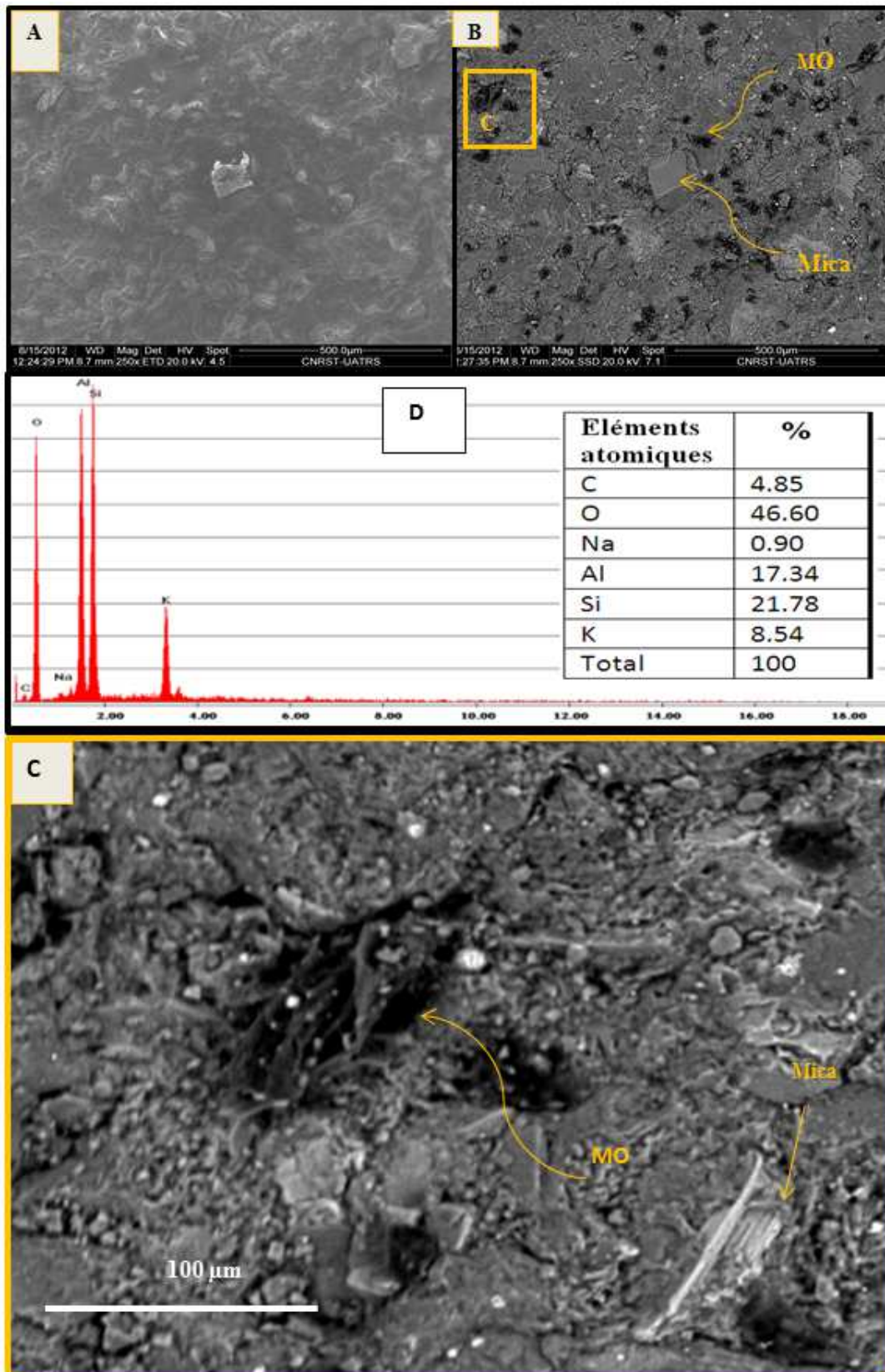


Figure 5. Images du MEB de l'échantillon (Os.1).

A : Vue d'ensemble d'une surface fraîche, B : Extrapolation du carbone organique. C : Tissu Organique, D : Spectres EDS associés à la vue B.

3.2 LES SCHISTES SILURIENS

3.2.1 ANALYSES MINÉRALOGIQUES

Le diffractogramme de (*Si.1*) identifie une phase argileuse représentée par de l'illite, déterminée par un ensemble de pics entre 10 et 15 Å. D'autres phases non argileuses telles les oxydes de Fer présentés ici sous forme de Goethite ($Fe^{+3}O(OH)$) et le Quartz y sont aussi présent, à noter que le quartz est le minéral le plus abondant dans ce matériau. Cette composition minéralogique fait de ce matériau une argile non gonflante vis-à-vis de l'eau (Figure 6).

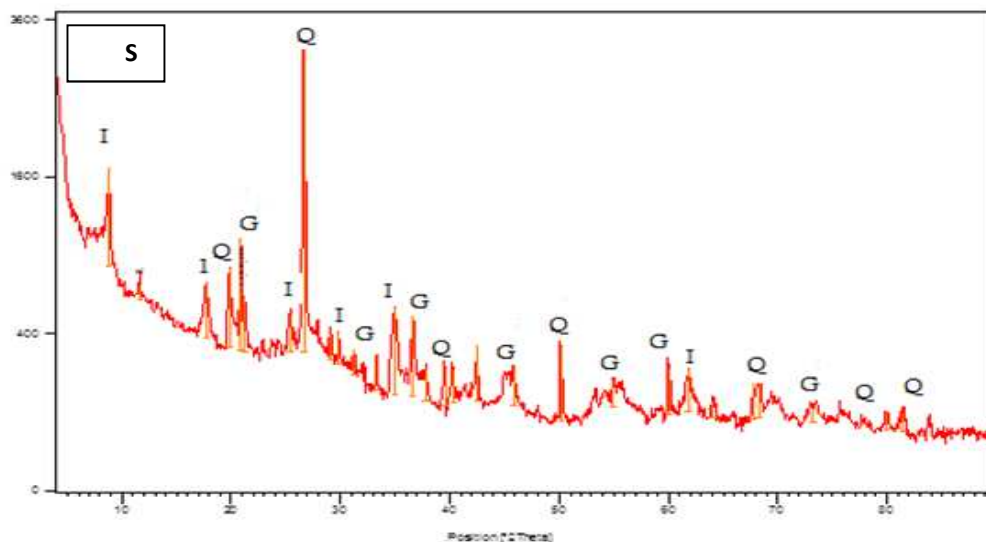


Figure 6. Spectre DRX de l'échantillon (*Si.1*) sur poudre, (Angle 2θ)

I: illite, Q: quartz, G: goethite.

3.2.2 ANALYSES THERMOGRAVIMÉTRIQUES ET THERMIQUE DIFFÉRENTIELLES ATD/ATG

Le thermogramme ATD-ATG (Figure 7) des poudres crues du schiste (*Si.1*) présente :

- Trois pics endothermiques associés à une première perte de poids entre 50°C et 200°C. Ces pics sont attribués à la perte d'eau libre et adsorbée.
- Un pic débutant à 400°C caractéristique de l'élimination de l'eau de constitution résultant de la libération des hydroxydes appartenant au réseau de l'illite.
- Entre 180 et 560 °C, des pics exothermiques liés à des pertes de 7% de la masse total de l'échantillon, due à la décomposition de la matière organique.
- Un pic endothermique vers 92°C et un autre exothermique vers 300°C mettent en évidence la présence de la goethite.
- Vers 500°C un faible crochet endothermique qui est caractéristique de la présence du quartz.
- De faibles pics endothermiques au voisinage de 850°- 900° indiquant la destruction du mica de type muscovite, qui constitue avec l'eau et le potassium, le minéral de l'illite [11].

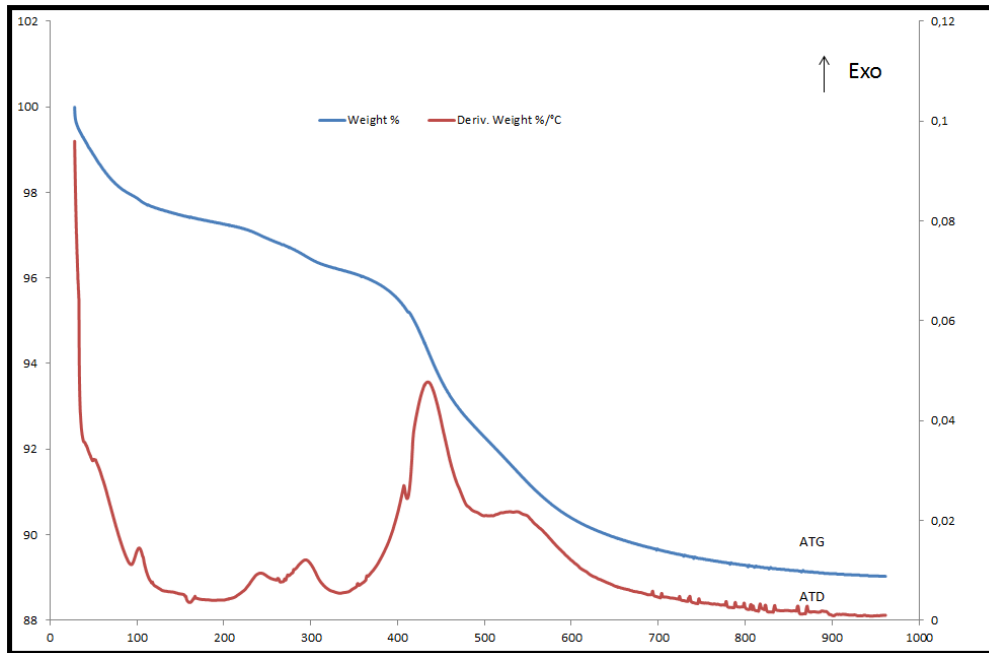


Figure 7. Thermogrammes ATD-ATG des poudres crues du schiste (Si.1).

3.2.3 OBSERVATION PAR MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

L'Observation par le MEB nous a permis de dévoiler les données suivantes (Figure 8):

Structuralement on note trois types de porosité :

- Une porosité intragranulaire, qui se localise entre les grains et prend différentes tailles nanométriques à micrométriques.
- Une porosité fissurale démontré par des lignes sombres (Figure 8 : D).
- Une porosité lamellaire entre les feuillets des schistes.

La plupart des échantillons de Silurien ont une matrice constituée principalement par des particules argileuses (plaquettes d'Argiles) comme le prouve les données des analyses DRX et EDS. La taille de ces plaquettes est comprise entre 10 et 25 μm , assemblées avec un ciment siliceux. Des minéraux non argileux (possible Pyrite) de petites tailles pouvant être parfois moulés dans la matrice sous forme de petits glomérules (figures 8 : B).

Le pourcentage des éléments atomiques obtenue par le spectre EDS (figure 8 : C) montre une valeur de 7% du carbone organique, cette valeur est compatible avec celle donnée par les Analyses Thermogravimétriques et Thermique différentielles (figure 7).

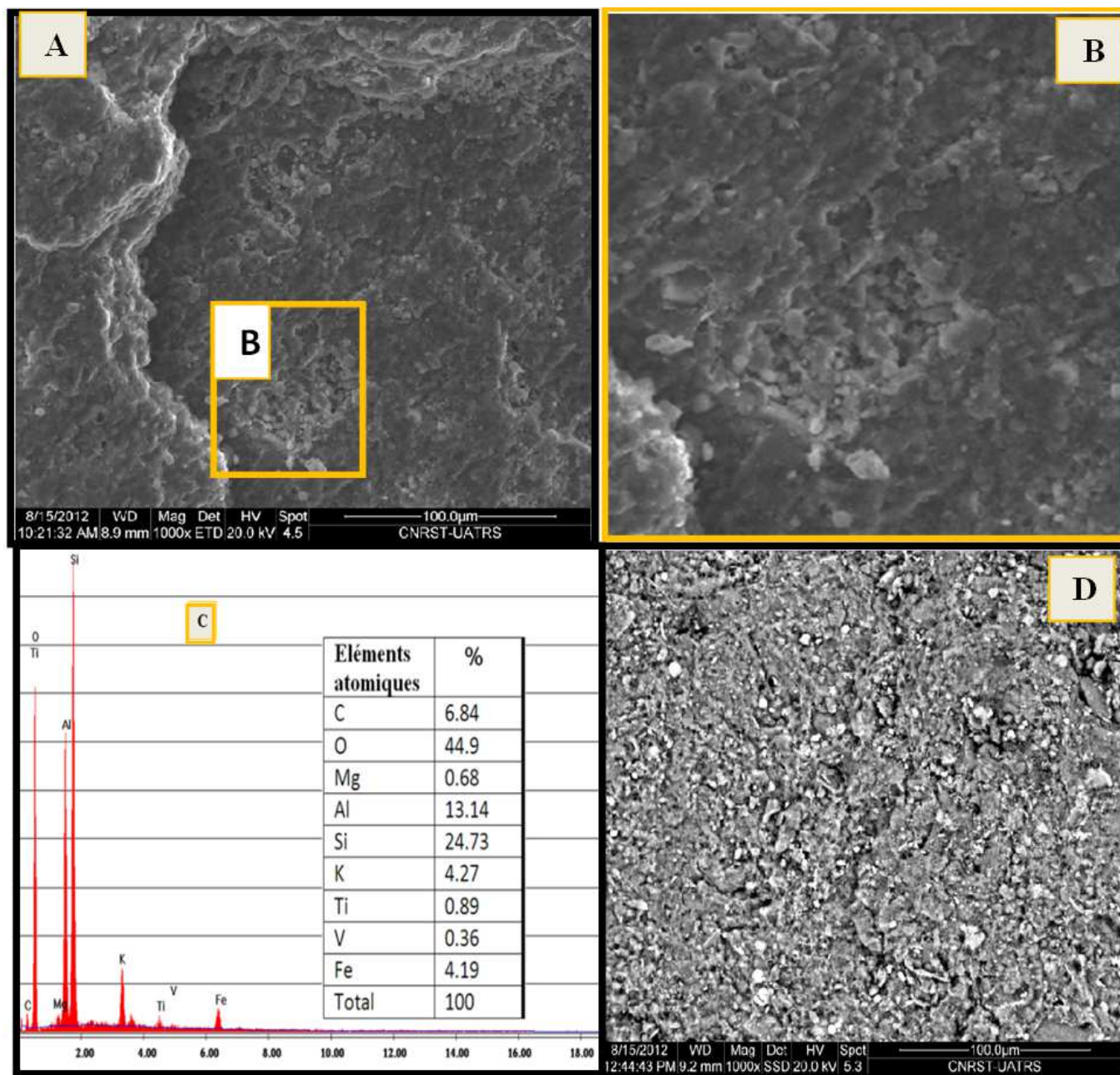


Figure 8. Images par MEB de l'échantillon (Si.1).

A: Vu d'une Surface fraîche, montrant : B: Porosité intragranulaire, C : Spectres EDS associés à la vue B, D : Extrapolation de la porosité de la vue A.

3.3 LES SCHISTES DÉVONIENS

3.3.1 ANALYSES MINÉRALOGIQUES

Le diffractogramme de l'échantillon **Di.1** (figure 9) présente une phase argileuse caractérisée par la présence de la muscovite (de raie 3,1Å et 3.5Å) et du Clinochlore ($(Mg, Fe)_6 (Si, Al)_4 O_{10} (OH)_8$), tous les deux représentent la partie phylliteuse de ce matériau. La phase non argileuse est représentée par le quartz de raie caractéristique (3,34 Å), et la calcite **Ca** (CO_3).

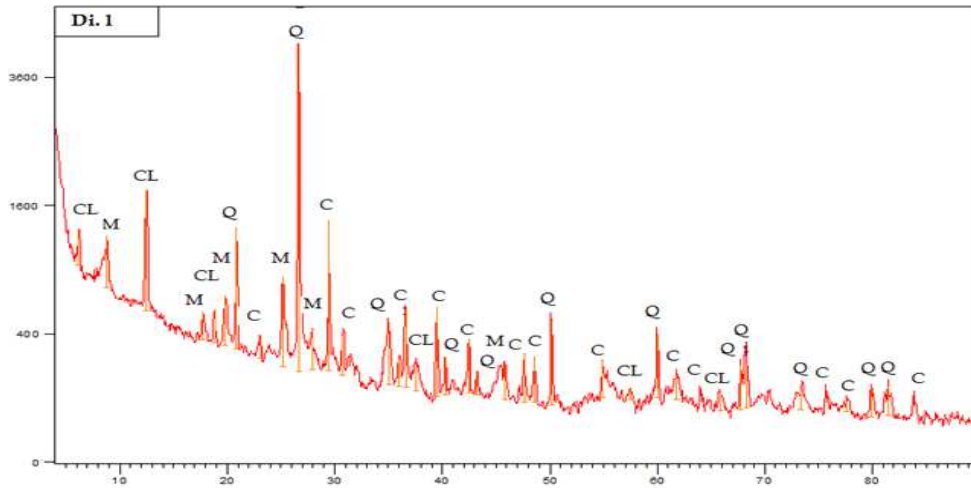


Figure 9 .Spectre DRX de l'échantillon (Di.1) sur poudre.(Angle 2θ)

Q : Quartz, C: Calcite, M: Muscovite, Cl: Clinocllore.

3.3.2 ANALYSES THERMOGRAVIMETRIQUES ET THERMIQUE DIFFERENTIELLES ATD/ATG

Le thermogramme ATD-ATG (Figure 10) des poudres crues du schiste **Di.1** présente :

- Trois pics endothermiques associés à une première perte de poids entre 50°C et 200°C. Ces pics sont attribués à la perte d'eau libre et adsorbée.
- Entre 150°C et 800°C on observe une série de pics (de très petits amplitudes) exothermiques liés à des pertes de 8% de la masse totale de l'échantillon, et qui correspondent à la décomposition des composés organiques.
- Vers 535°C, un faible crochet endothermique caractéristique de la présence du quartz.
- Un pic endothermique 800°C caractéristique de la décarbonatation de la calcite.
- Un pic exothermique à 837°C correspond à la transformation du clinocllore en olivine.
- Un accident endothermique situé entre 800 et 900°C, lié à la déshydroxylation de la muscovite (qui se transforme graduellement en orthose entre 1000 et 1140°C).

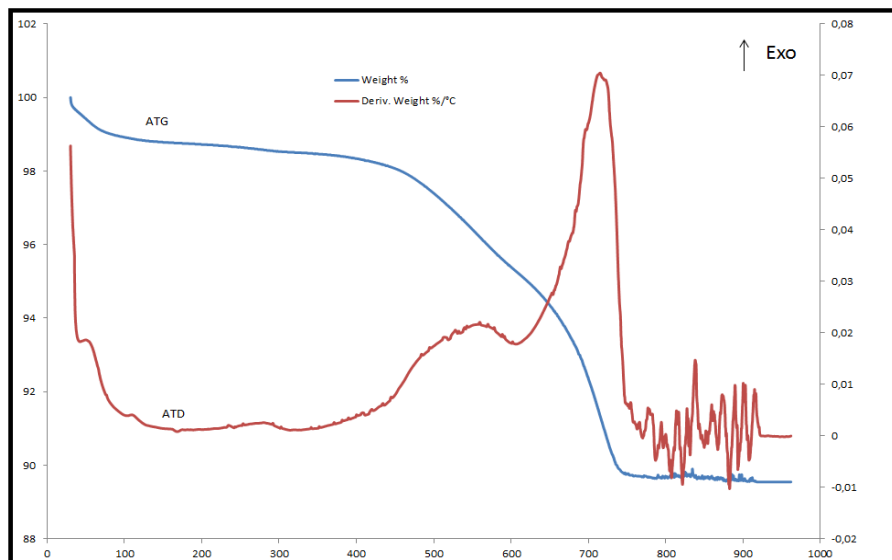


Figure 10. Thermogramme ATD-ATG des poudres crues du schiste (Di.1).

3.3.3 OBSERVATION PAR MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE

La texture du schiste **Di.1** (figure 11) est un peu identique à celui observé dans les schistes **Os.1** et **Si.1**, c'est-à-dire ; une porosité intragranulaire, une porosité fissurale et une porosité lamellaire, mais avec un degré moins important. Ceci est dû à l'homogénéité minéralogique qui rend les liaisons intercrystallines plus fortes dans cet échantillon carbonaté.

Les plages de silice sont intimement imbriquées dans la matrice carbonatée, les grains de quartz sont rarement détectés, de même les minéraux argileux tel le clinochlore et la muscovite sont difficilement repérable, ceci est confirmé par les pourcentages faibles des éléments d'Aluminium, Silicium et potassium, obtenu par spectre d'analyses à la sonde EDS (Figure 11: C).

En outre, le pourcentage du carbone organique (**3.74%**) montré par la sonde EDS, n'est pas compatible avec le pourcentage de la matière organique (**8%**) déduit à partir des analyses Thermogravimétriques et Thermique différentielles ATD/ATG.

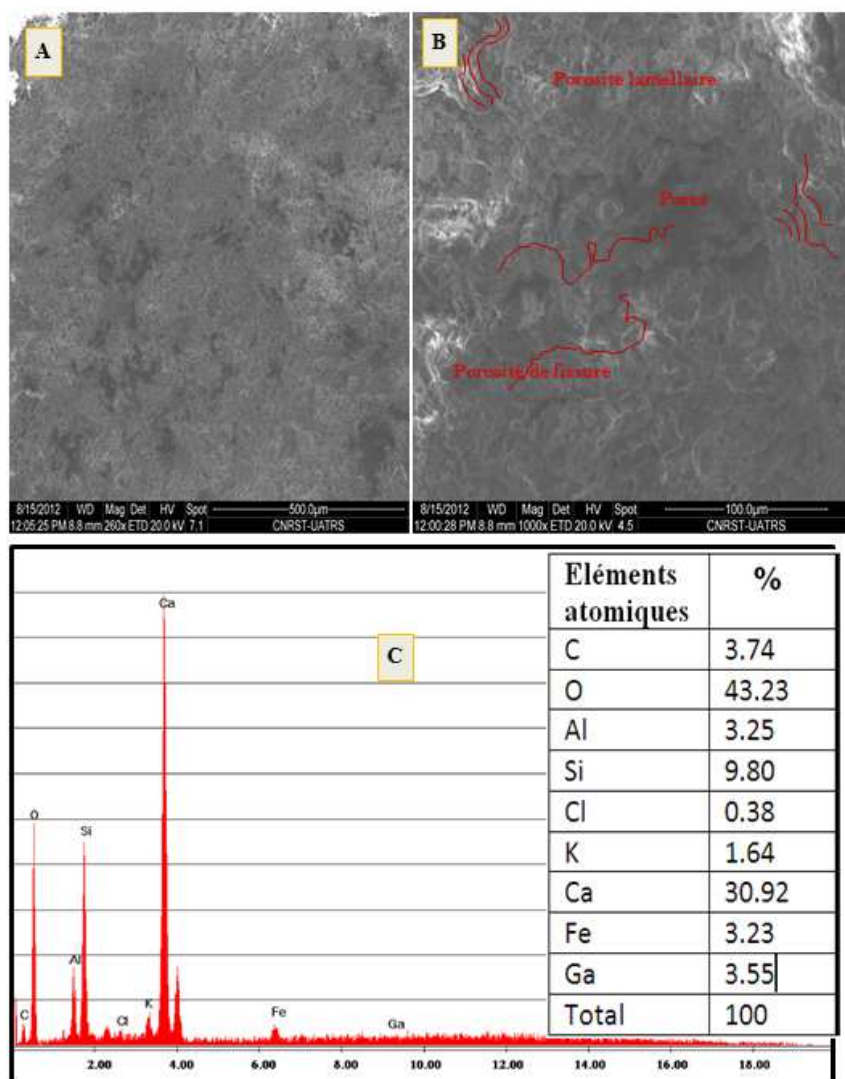


Figure 11. Images par MEB de l'échantillon (Di.1).

A : Vu d'une surface perpendiculaire au sens de litage, B : Porosité lamellaire et porosité de fissure, C : Spectre EDS associés à la vue A.

4 DISCUSSION

L'observation de l'intervalle thermique [180°C - 600°C], domaine de la combustion de la matière organique des courbes ATD/ATG, montre par des pics exothermiques l'existence de la matière organique qui peut aller jusqu'à 8% de la masse total de la roche. Cette matière organique se trouve piégée dans différents types de porosité, fissurales, intragranulaires et lamellaires, observées par le microscope électronique à balayage MEB.

Minéralogiquement, les schistes sombres paléozoïque de Tafilalet sont généralement constitués par des phases argileuses représentées par de l'illite, de la Muscovite et du Clinocllore. Les phases non argileuses sont formés par le quartz, la goethite et la Calcite.

L'élément du Manganèse n'a pas été détecté dans les schistes étudiés. Cependant, des études antérieures ont rapporté l'existence des oxydes de Manganèse, issus d'un métabolisme bactérien appelé Chemolithotrophie [13], [14] sur certains facies carbonatés dans le même bassin.

Selon les pourcentages de l'élément du Carbone Organique donné par les spectres EDS, il paraît que les schistes de Bassin de Tafilalet datés de l'Ordovicien supérieur et du Silurien inférieur sont plus organiques que les schistes du Dévonien inférieur.

5 CONCLUSION

La caractérisation physico-chimique des schistes sombres paléozoïques de Tafilalet par les analyses Thermogravimétrique et Thermique différentielle, la Diffraction des Rayons X, et le Microscope Electronique à Balayage, montre que les schistes argileux de l'Ordovicien supérieur et du Silurien inférieur peuvent présenter un grand intérêt pétrolier, vu leur teneur non négligeable en carbone organique (jusqu'à 7%).

Les schistes calcaireux du Dévonien inférieur sont relativement moins riches en carbone organique (3%).

CONFLIT D'INTÉRÊTS

Aucun.

REFERENCES

- [1] Destombes, J., Hollard, D. and Willefert, S. Lower Palaeozoic rocks of Morocco, In: C.H. Holland (ed), Lower Palaeozoic rocks of North-Western and West-Central Africa. John Wiley, Chichester, 91-336, 1985.
- [2] M.S. Quinby-Hunt and P. Wilde. Thermodynamic zonation in the black shale facies based on iron-manganese-vanadium content. *Chemical Geology*. Vol. 113, p. 297-317, 1994.
- [3] Curtis, C.D, Cope, J.C. Plant, D. and Macquaker, JHS. Instantaneous sedimentation, early microbial sediment strengthening and a lengthy record of chemical diagenesis preserved in Lower Jurassic ammonitiferous concretions from Desert. *Journ. Geol.Soc.* Vol. 157, p. 165-172, 2000.
- [4] Papier, S. Baele, J.M, Gillan, D. Barriquand, L. and Barriquand, J. Manganese geomicrobiology of the black deposits from the Azé Cave, Saône-Et-Loire, France, *Quaternaire, Hors-série*, (4), p. 297-305, 2011.
- [5] Burkhard, M. Caritg, S. Helg, U. Robert-Charrue, C. and Soulaïmani, A. Tectonics of the Anti-Atlas of Morocco. *C. R. Geoscience*. Vol. 338, p. 11-24, 2006.
- [6] Haude, R. Scyphocrinoiden, die Bojen-Seelilienimhohen Silur-tiefen Devon. *Palaeontographica, Abteilung A*, 222 (4-6), p. 141-187, 1992.
- [7] Klug, C. Korn, D. Naglik, C. Frey, L. and De Baets, K. The Lochkovian to Eifelian succession of the Amessoui Syncline (Southern Tafilalet). *International Field Symposium "The Devonian and Lower Carboniferous of northern Gondwana"*. Morocco. P. 51-60, 2013.
- [8] Kriz, J. Recurrent Silurian-lowest Devonian cephalopod limestones of Gondwanan Europe and Perunica. In Landing, E. & Johnson, M.E. (eds) *Silurian cycles: Linkages of dynamic stratigraphy with atmospheric, oceanic, and tectonic changes*. New York State Museum, 491, pp. 183-198, 1998.
- [9] Vieillefon, J. Chantret, F. and Trichet, J. Caractérisation des formes de soufre dans les sols de mangrove : Mise en évidence d'une fraction liée à la matière organique. *Acad. Sc. Paris CR, Série D*, p. 2629-2631, 1973
- [10] Critter, S.A.M. and Airoidi, C. Thermal analysis of brazilian tropical soils originating from different sources. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 17(7), p. 1250-1258, 2006.

- [11] Guggenheim, S. Chang, Y. H. and Van Groos, A.F.K. Muscovite dehydroxylation: High-temperature studies. *American Mineralogist*, 72, p. 537-550, 1987.
- [12] Chalmers, G. Bustin, R. M. and Powers, I. A Pore by Any Other Name Would Be as Small: The Importance of Meso- and Microporosity in Shale Gas Capacity. In American Association of Petroleum Geologists Annual Convention and Exhibition, Denver. p. 7-10, 2009
- [13] Hilali, A., Lachkhem, H. and Boulvain, F. Comparaison des Kess-Kess de HmarLakhdad (Emsien, Maroc) et des monticules micritiques de l'anticlinorium de Philippevill (Frasnien, Belgique). *Geologica Belgica* 1, p.17-31, 1998.
- [14] Cavalazzi, B. Barbieri, R. Ori, G.G. Chemosynthetic microbialites in the Devonian carbonate mounds of HamarLaghdad (Anti-Atlas, Morocco). *Sedimentary Geology* 200, p. 73–88, 2007.