

Pétrographie des muddy sandstones ferrugineux du Miocène de Bingerville

[Petrography of muddy sandstones ferruginous of Bingerville's Miocene]

Assalé Fori Yao Paul and Aka Kouamé

Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 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 petrography of Miocene ferruginous muddy sandstones of Bingerville permitted to understand the transformation of muddy sands to muddy sandstones. The muddy sands lithification starts during the rainy seasons which distribute the iron hydroxides in the kaolin of muddy sands. During the evaporation of pore waters during the arid seasons, the iron hydroxides lose their water. These hydroxides are transformed into iron oxides supporting the transformation of muddy sands to muddy sandstones thanks to ferruginous cement. This cement derives from the total oxidation of the ochreous matrix. This matrix is a mixture of kaolinite and iron oxides. These muddy sandstones are quartz wackes with ferruginous cement. There are always nano-vacuums between the grains of quartz and ferruginous cement which surrounds them. These nano-vacuums are the spaces left after the evaporation of pore waters which surrounded the grains of quartz. Quartz of quartz wackes are transformed into iron oxides through their weakness zones. That is supported by the lot of iron oxides in the sedimentation environment. The muddy sands lithification of Miocene took place at Holocene thanks to their exposure in subaerial environment and/or aerial.

KEYWORDS: petrography, quartz wackes, ferruginous cement and nano-vacuums.

RESUME: La pétrographie des muddy sandstones ferrugineux du Miocène de Bingerville a permis de comprendre l'évolution de la grésification des sables argileux en muddy sandstones. La grésification commence pendant les saisons des pluies qui distribuent les hydroxydes de fer dans les argiles kaoliniques des sables argileux. Lors de l'évaporation des eaux interstitielles, pendant les saisons sèches, les hydroxydes de fer perdent leurs eaux. Ces hydroxydes se transforment en oxydes de fer favorisant ainsi la lithification des sables silto-argileux en muddy sandstones grâce au ciment ferrugineux. Ce ciment dérive de l'oxydation totale de la matrice ocreuse. Cette matrice est un mélange de kaolinite et d'oxydes de fer. Ces muddy sandstones sont des quartz wackes à ciment ferrugineux. Il existe toujours des nano-vides entre les grains de quartz et le ciment ferrugineux qui les entoure. Ces nano-vides sont les espaces laissés après l'évaporation des eaux interstitielles qui entouraient les grains de quartz. Certains quartz des quartz wackes se transforment en oxydes de fer à travers leurs zones de faiblesse. Cela est favorisé par la forte concentration d'oxydes de fer dans le milieu de sédimentation. La grésification des sables silto-argileux du Miocène s'est déroulée à l'Holocène grâce à leur exposition en milieu subaérien et/ou aérien.

MOTS-CLEFS: pétrographie, quartz wackes, ciment ferrugineux et nano-vides.

1 INTRODUCTION

1.1 DÉFINITION ET OBJECTIFS

Les muddy sandstones ferrugineux du Miocène de Bingerville sont des grès issus de la lithification des sables silto-argileux grâce à un ciment ferrugineux. Les parties sableuse et silteuse sont constituées de quartz et la partie argileuse de kaolins. On parle également de grès argileux à ciment ferrugineux. Ces grès sont intercalés entre les kaolins bariolés du Miocène [1].

L'objectif principal de cette étude est de comprendre l'évolution de la transformation des sables silto-argileux du Miocène de Bingerville en muddy sandstones ferrugineux. Les objectifs spécifiques attachés à l'objectif principal sont :

- déterminer la minéralogie des muddy sandstones ferrugineux ;
- comprendre l'influence de la ferruginisation sur les quartz ;
- caractériser les différentes phases par contraste atomique que présentent ces muddy sandstones au Microscope Électronique à Balayage.

1.2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOGRAPHIQUE DE BINGERVILLE

Bingerville est une ville du Sud de la Côte d'Ivoire, située dans la région des lagunes. Elle a pour coordonnées géographiques 05°35'N et 3°89'W et elle couvre une superficie de 664 km². Cette ville est constituée par des hauts-plateaux dominant les dépôts quaternaires.

La région de Bingerville se trouve dans le bassin sédimentaire émergé plus précisément au Nord de la faille des lagunes. Elle est constituée par des formations de l'Oligocène, du Miocène et du Plio-pléistocène qui affleurent dans des carrières [1]. C'est dans l'une de ces carrières que la présente étude a été effectuée (Fig. 1). Les formations typiquement quaternaires recouvrent le plus souvent les formations anciennes.

Du point de vue stratigraphique, l'Oligocène est constitué d'argile gris clair à gris sombre à intercalations de sables fins caractérisant des varves. L'environnement de dépôt est de type lacustre. Le Miocène définit un environnement fluvial. Il est composé de kaolins bariolés comportant des paléo-chenaux à sables silto-argileux. Les sables silto-argileux sont grésifiés par endroit formant des muddy sandstones ferrugineux depuis l'Holocène (Fig. 2). Le Plio-pléistocène caractérise des dépôts fluviaux qui sont constitués de sables quartzeux à colorations diverses. Le quaternaire est composé de sables argileux et d'argiles sableuses rubéfiés. Il constitue la terre de barre et caractérise un milieu continental très oxydé [1]. Depuis l'Holocène, toutes les formations qui ont affleuré ont commencé à s'oxyder.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MÉTHODOLOGIE DE TERRAIN

Elle consiste à observer l'évolution de la grésification des sables silto-argileux du Miocène pendant les saisons des pluies et les saisons sèches ivoiriennes. Ces saisons sont constituées de : une grande saison sèche (Décembre à Avril), une grande saison des pluies (Mai à Juillet), une petite saison sèche (Août à Septembre) et une petite saison des pluies (Octobre à Novembre). Pendant ces saisons, on note les différentes couleurs que présentent ces sables silto-argileux.

2.2 MÉTHODOLOGIE DE LABORATOIRE

Cette méthodologie consiste à confectionner deux lames minces pétrographiques de 30 microns chacune. L'une des lames est couverte et l'autre non couverte. La lame couverte est analysée au microscope polarisant muni d'une caméra. Les caractéristiques recherchées sont les suivantes :

- la composition minéralogique : consiste à donner par ordre d'abondance les différents minéraux identifiés dans les muddy sandstones ;
- la taille des grains : les très fins (0,063-0,125mm), les fins (0,125-0,250mm), les moyens (0,250-0,500mm), les grossiers (0,5-1mm) et les très grossiers (1-2mm) ;
- le granoclassement : il s'agira d'indiquer s'il y a présence ou non d'un granoclassement dans la roche ;
- le ciment : définir la nature du ciment ;
- le type de porosité : intergranulaire ou intragranulaire. On fera une estimation visuelle de la porosité ;

- le framework : c'est le rapport entre les particules de taille supérieure à 1/16mm (63µm) et les particules primaires (matrice) qui remplissent les pores dont la taille est inférieure à 1/16mm. Le ciment est exempté [2];
- le sorting (classement) : quatre (4) type de classement [3] sont connus à savoir très bien classé (<0,35), bien classé (0,35-0,5), modérément classé (0,5-0,71) et pauvrement classé (1-2) ;
- l'arrondi et la sphéricité : la détermination de ces caractères se fera à l'aide de la charte visuelle de ([4] in [5]) ;
- la maturité : c'est la comparaison d'un sédiment ponctuel avec son équivalent dont il dérive. Il existe deux (2) types de maturité qui sont la maturité minéralogique ou compositionnelle et la maturité textural [3]. La maturité minéralogique est fonction de la présence des composés ultrastables (minéraux lourds), stables et instables dans la roche : zircon, tourmaline (ultrastable), quartz, chert (stable) et feldspath, fragments de roches (instables). Plus la roche est stable, plus elle est composée de minéraux stables. Quant à la maturité texturale, elle dépend de la quantité du liant, du classement et de l'arrondi des grains de sable ;
- le type de grès : la classification utilisée pour caractériser les grès est celle préconisée par ([6] in [3]).

En ce qui concerne la lame non couverte, on fait une rétrodiffusée au microscope électronique à balayage de type FEG Supra 40 VP de Zeiss équipé d'un spectromètre à diffusion d'énergie (MEB-EDS). Elle permet de connaître les différentes phases des grès et la minéralogie semi-quantitative de ces phases.

Pour la confection de lames minces pétrographiques, il s'agit d'abord de réduire les blocs de roches en des sucres de dimension 25*35mm à l'aide d'une tronçonneuse débitrice CARELA 2000.

Ensuite, les sucres de roches sont polis à l'aide d'une polisseuse manuelle ESC 300GT puis déposés dans une moule de diamètre 3 cm contenant de la résine bleutée. Cette résine a pour rôle d'occuper les différents pores que présentent les roches. L'ensemble moules-sucres de roches est imprégné à l'aide de l'appareil d'imprégnation sous vide LI 240. Après séchage à l'air libre, les sucres de roches sont retirés des moules. Cela donne des sucres moulés qui sont à nouveau polis puis séchés sur une platine chauffante.

En outre, ces sucres sont collés sur des lames préalablement polies à l'aide de l'adhésif Loctite 358. Les lames sont polymérisées aux ultra-violet pendant 5min.

Enfin, les sucres de roches collés aux lames sont réduits jusqu'à 30 microns.

Pour l'étude au microscope polarisant, une lamelle est collée sur la lame. Ce qui donne une lame couverte. Toutes ces analyses ont été effectuées au Centre d'Analyses et de Recherche de la PETROCI (Société des Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire).

3 RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

3.1 ÉVOLUTION DE LA GRÉSIFICATION DES SABLES SILTO-ARGILEUX

La grésification débute pendant les saisons des pluies qui distribuent de manière aléatoire les hydroxydes de fer (la goethite et la limonite) dans les sables silto-argileux. La partie argileuse qui est constituée de kaolinite s'imbibe d'eau d'infiltration riche en hydroxydes de fer. Les sables silto-argileux qui étaient préalablement blancs prennent alors diverses colorations qui sont le jaune ocre, le jaune orangé, le jaune brun et le rose (Fig. 3). La couleur jaune ocre traduit un mélange de kaolinite et de goethite tandis que le jaune orangé et le jaune brun montrent un mélange de kaolinite et de limonite. La couleur rose suggère une altération des feldspaths.

Pendant les saisons sèches, les hydroxydes de fer perdent les eaux sous l'effet de la température atmosphérique et se transforment en oxydes de fer (hématites). Les sables silto-argileux étant riches en ciment ferrugineux se consolident alors pour former des muddy sandstones ferrugineux. La couleur de ces muddy sandstones varie du rouge ocre au noir en fonction du degré d'oxydation (Fig. 4). La couleur rouge ocre suggère un mélange de kaolinite et d'hématite. La couleur noire traduit l'étape ultime de l'oxydation. Dans ce cas, toute la kaolinite s'oxyde. Cette grésification ne se déroule uniquement que sur les sédiments affleurés.

3.2 PETROGRAPHIE SEDIMENTAIRE D'UN MUDDY SANDSTONE FERRUGINEUX (BIN 1)

La description macroscopique du muddy sandstone Bin 1 après l'avoir réduire avec la tronçonneuse débitrice CARELA 2000 montre un granoclassement positif répétitif (Fig. 5). Ce granoclassement est constitué de grains grossiers à très grossiers et de grains fins à moyens qui alternent. Ce muddy sandstone est de coloration rouge sombre et gris clair. Il est extrêmement dur et n'est constitué que de quartz.

La description microscopique au microscope polarisant du muddy sandstone Bin 1 en lumière polarisée non analysée et en lumière polarisée analysée donne ce qui suit (Fig. 6) :

- **Minéralogie** : la minéralogie de ce grès est composée uniquement de quartz xénomorphes de type monocristallins. La plupart des grains de quartz présentent des craquelures dues aux chocs lors du transport.
- **Extinction** : elle est uniforme et ondulante
- **Taille des grains** : deux tailles caractéristiques se distinguent dans ce grès à savoir les grès grossiers à très grossiers et les grès fins à moyens.
- **Granoclassement** : le grès Bin 1 présente un granoclassement qui permet de distinguer facilement les grès grossiers à très grossiers des grès fins à moyens.
- **Ciment** : il est ferrugineux (hématite). Le pourcentage est de 30%.
- **Type de porosité** : très peu poreux. Les pores (intragranulaires et intergranulaires) sont remplis par la résine bleutée et/ou le ciment ferrugineux.
- **Framework** : 70%.
- **Sorting** : deux types de classements sont présents dans ce grès. La partie grossière présente un classement modéré tandis que la partie fine est bien classée.
- **Sphéricité** : élevée.
- **Arrondi des grains** : Les grains grossiers sont sub-anguleux à subarrondis et les fins sub-arrondis à arrondis.
- **Maturité minéralogique** : grès stable.
- **Maturité texturale** : grès immature.
- **Type de grès** : quartz wackes à ciment ferrugineux.

L'extinction ondulante traduit une origine éruptive qui a subi un métamorphisme [7]. Les quartz présents dans les muddy sandstones étudiés proviennent des roches magmatique et métamorphique. Cela est en accord avec les études réalisées par [8] qui a montré que le domaine Baoulé-Mossi du socle précambrien est caractérisé par une présence abondante de roches magmatiques. On retrouve aussi des roches magmatiques qui ont été métamorphisées. Ce domaine en question est situé en amont de la zone d'étude.

3.3 RETRODIFFUSEE DU QUARTZ WACKES BIN 1

Cette étude a permis de retenir trois phases essentielles dans ce grès. Il s'agit de la phase quartzeuse (couleur grise), de la phase ferrugineuse (couleur blanche) et de la phase poreuse (couleur noire). La phase quartzeuse est composée de quartz. Sur ces quartz se trouvent des traces de fer, de strontium, de thallium, de potassium et de calcium (Fig. 7 et Tableau 1).

La phase ferrugineuse constitue le ciment ferrugineux (Fig. 8 et Tableau 1). Elle comprend une grande abondance de fer et une présence de silicium, d'aluminium et de phosphore. On rencontre dans cette phase des dissimulations de sodium, de magnésium, de calcium, de strontium, de dysprosium et de cobalt. On y retrouve également par endroit des concentrations de zircon auxquelles sont associés l'or et l'hafnium.

La phase poreuse qui est représentée par la couleur noire est occupée par la résine bleutée.

Les quartz sont entourés par des nano-vides sous formes d'auréoles qui sont bien visibles sur la figure 7C (couleur noire). Ces nano-vides sont les espaces laissées par l'eau interstitielle après leur évaporation dans laquelle baignaient les quartz. Cela montre que dans les quartz wackes à ciment ferrugineux, il existe toujours des vides créés après l'évaporation des eaux interstitielles avant l'oxydation finale du ciment ou de la matrice ocreuse. Les quartz présentent souvent des craquelures, des cavités intragranulaires et des corrosions. Lorsque ces traces mécaniques sont occupées par le fer, alors les quartz s'oxydent.

La Figure 9 illustre un quartz très oxydé. Sa composition en pourcentage d'oxyde est donnée dans le tableau 2. On remarque un pourcentage très élevé de fer par rapport au silicium dans le quartz oxydé et une proportion non négligeable d'aluminium. L'oxydation du quartz se déroule dans les zones de faiblesses (cavités intragranulaires, craquelures, zones corrosives) laissées par le quartz lors de son transport et de sa dissolution par les solutions pour donner des oxydes de fer qui seront à la longue une partie intégrante du ciment ferrugineux. Cette oxydation du quartz n'est possible qu'en présence d'une forte concentration d'oxydes de fer.

4 DISCUSSION

Avant la ferruginisation, un grès peut avoir au départ un framework 70% ou 80% ou même 90%. Après la ferruginisation, le framework peut passer à 100% lorsque toute la matrice s'oxyde pour donner du ciment ferrugineux. Une attention particulière doit donc être portée sur les sédiments non encore grésifiés afin de mieux caractériser le framework.

Il existe une évolution entre les arkoses et les quartz wacks. Les arkoses qui contiennent plus de 25% de feldspaths peuvent être appelées des quartz wacks lorsque ces feldspaths s'altèrent en kaolinites. L'oxydation des kaolinites transforme la matrice argileuse en ciment ferrugineux. On obtient alors des quartz wacks ferrugineux.

Les quartz wacks étudiés dérivent d'anciennes arkoses dont tous les feldspaths se sont altérés en kaolinites. C'est ce qui explique la coloration rose identifiée dans les sédiments.

5 TABLEAUX ET FIGURES

5.1 TABLEAUX

Tableau 1 : Minéralogie semi-quantitative du quartz wacke Bin1

Phases	Code	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	FeO	SrO	Ti ₂ O	Dy ₂ O ₃	CoO	ZrO ₂	HfO ₂	Au ₂ O ₃
Quartzeuse	A	0	0	0	98,13	0	0	0	0,71	1,15	0	0	0	0	0	0
	B	0	0	0	97,60	0	0,11	0,14	0,93	0,94	0,27	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	98,56	0	0	0	0,72	0,72	0	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	99,57	0	0	0	0,43	0	0	0	0	0	0	0
Ferrugineuse	A	0	0	4,50	2,95	3,82	0	0	86,29	0,54	0	1,90	0	0	0	0
	B	1,08	0,77	9,08	13,65	2,43	0	0,59	71,84	0	0	0	0,41	0	0	0
	C	0	0	0	32,76	0	0	0	1,50	0	0	0	0	62,95	1,18	1,61
	D	0	0	6,12	3,62	3,64	0	0	84,10	0	0	2,53	0	0	0	0

Tableau 2 : Minéralogie semi-quantitative d'un quartz oxydé du quartz wacke Bin 1

Echantillon	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	Total
spectrum 1	0,64	13,93	24,69	0,57	0,59	0,3	0,8	58,5	100

5.2 FIGURES

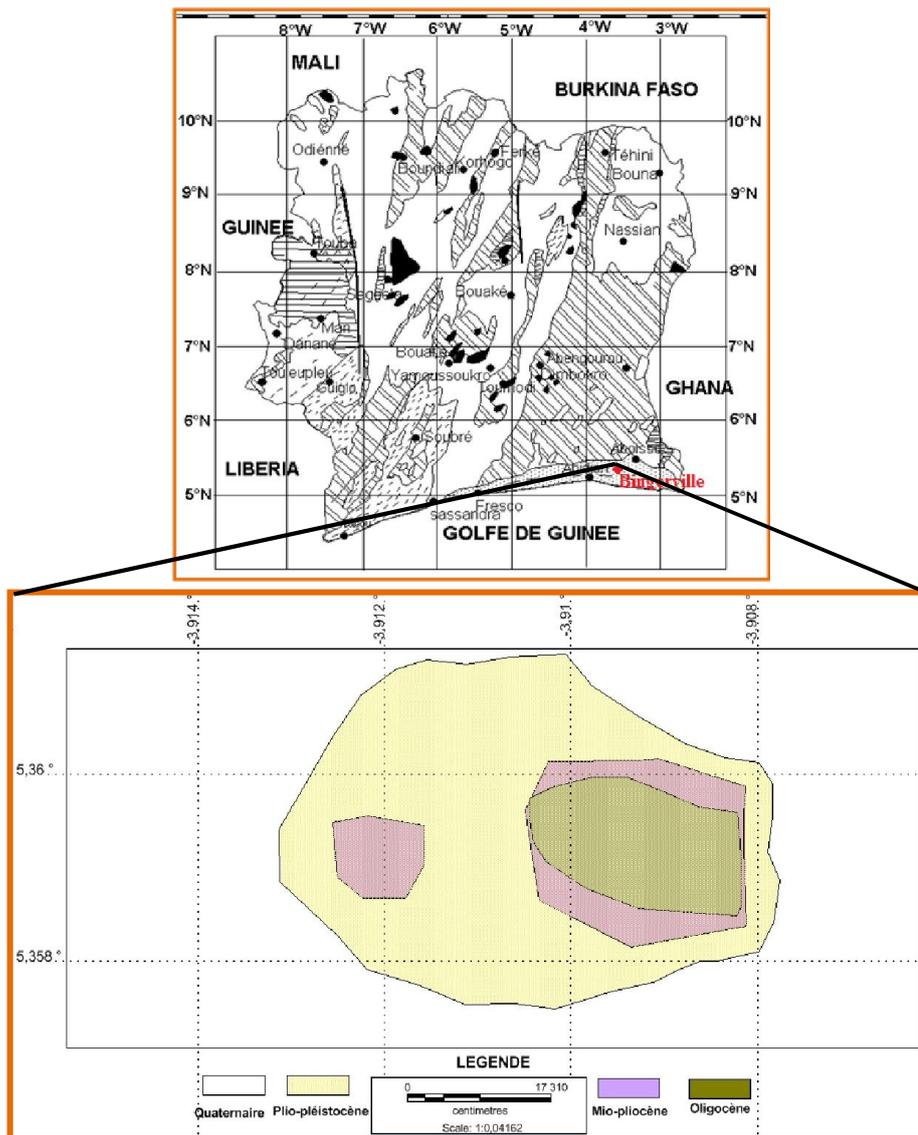


Fig. 1. Localisation de la carrière d'étude

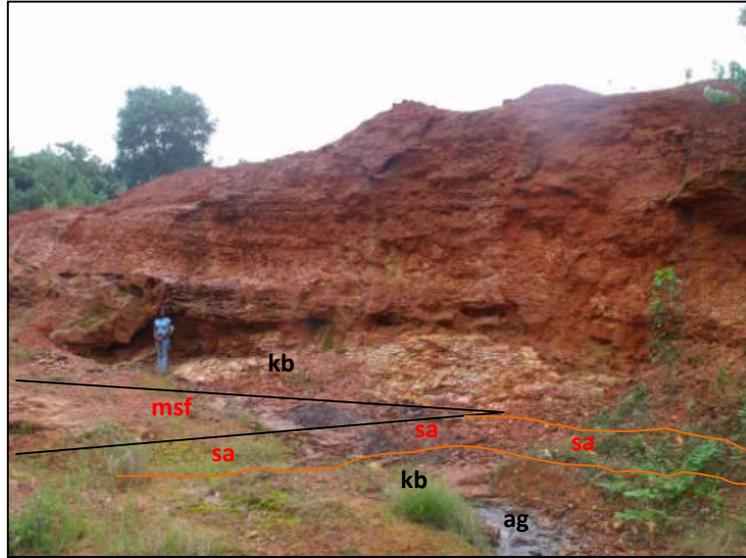


Fig. 2. Sables silto-argileux en partie grésifiés intercalés dans les kaolins bariolés (kb : kaolins bariolés ; msf : muddy sandstones ferrugineux en biseau ; sa : sables silto-argileux non grésifiés en chenal ; ag : argile gris clair à gris sombre



Fig. 3. Diverses colorations des sables silto-argileux. A : sables silto-argileux jaune ocre ; B : sables silto-argileux jaune orangé ; C : sables silto-argileux humidifiés jaune orangé à lamine de couleur jaune brun (ljb)



Fig. 4. Sables silto-argileux jaune ocre se transformant en muddy sandstones ferrugineux

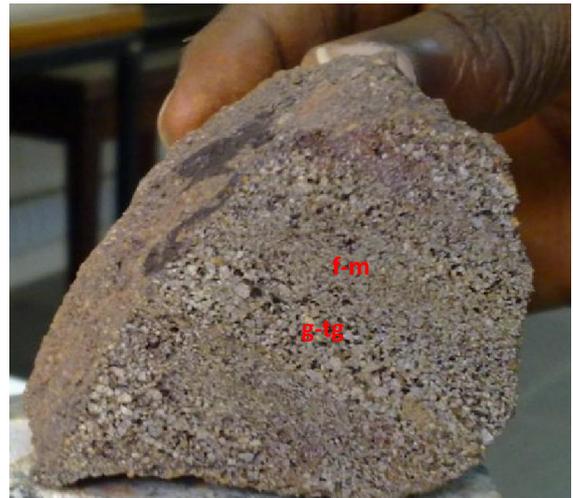
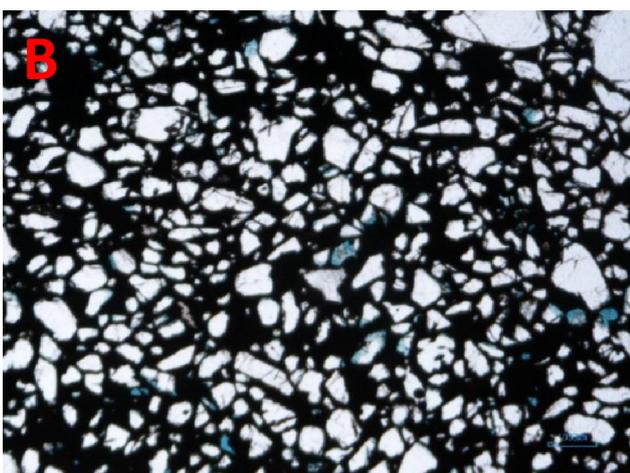
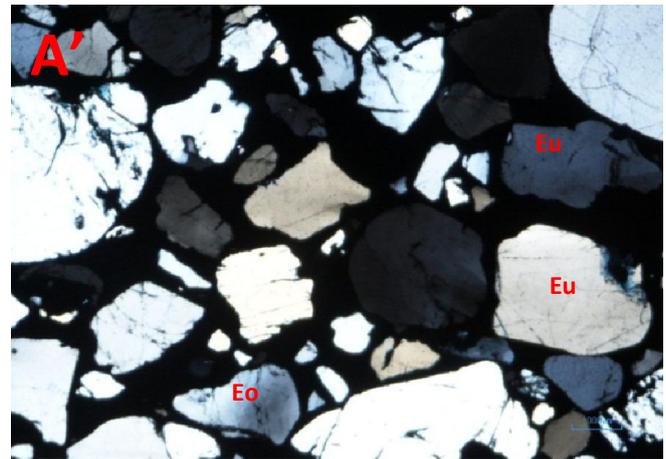
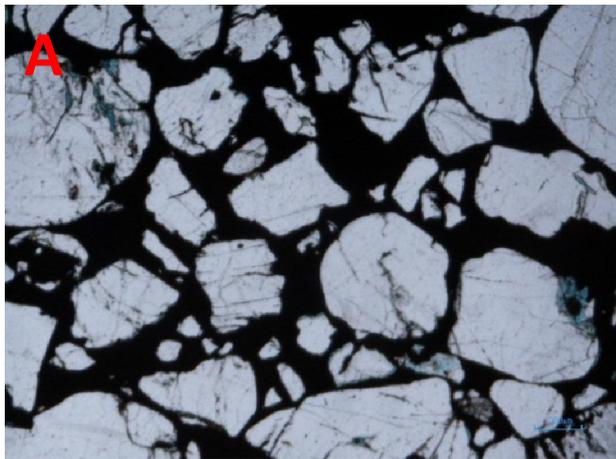


Fig. 5. Alternance de granoclassement positif du muddy sandstone ferrugineux Bin 1 (f-m : fin à moyen et g-tg : grossier à très grossier)



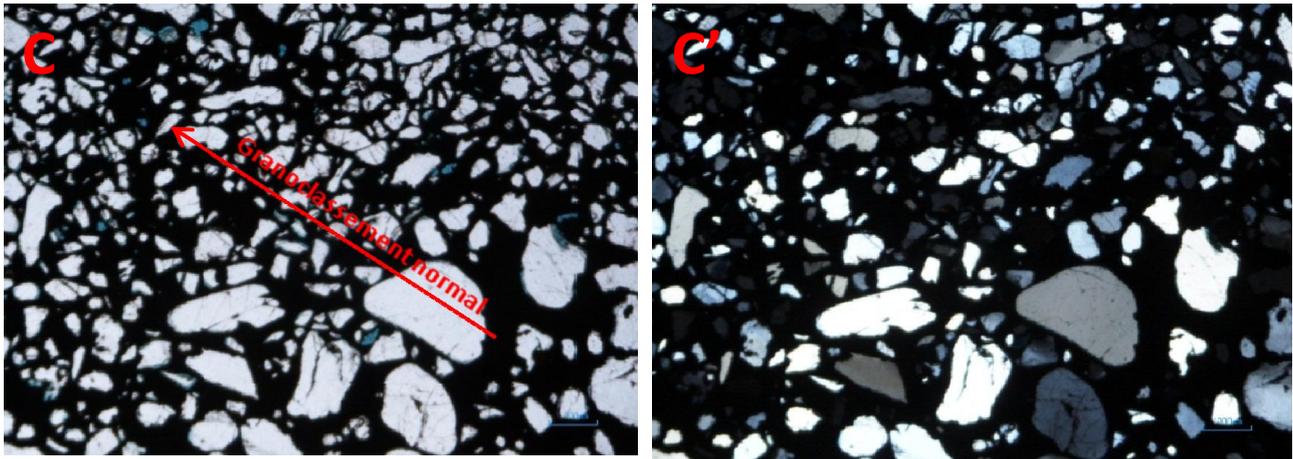
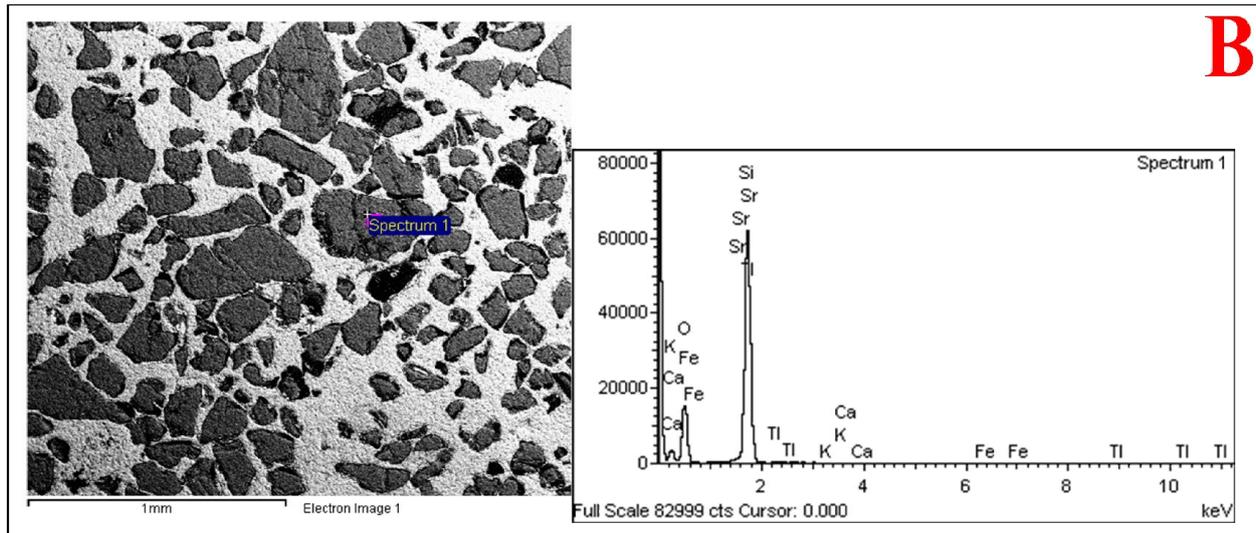
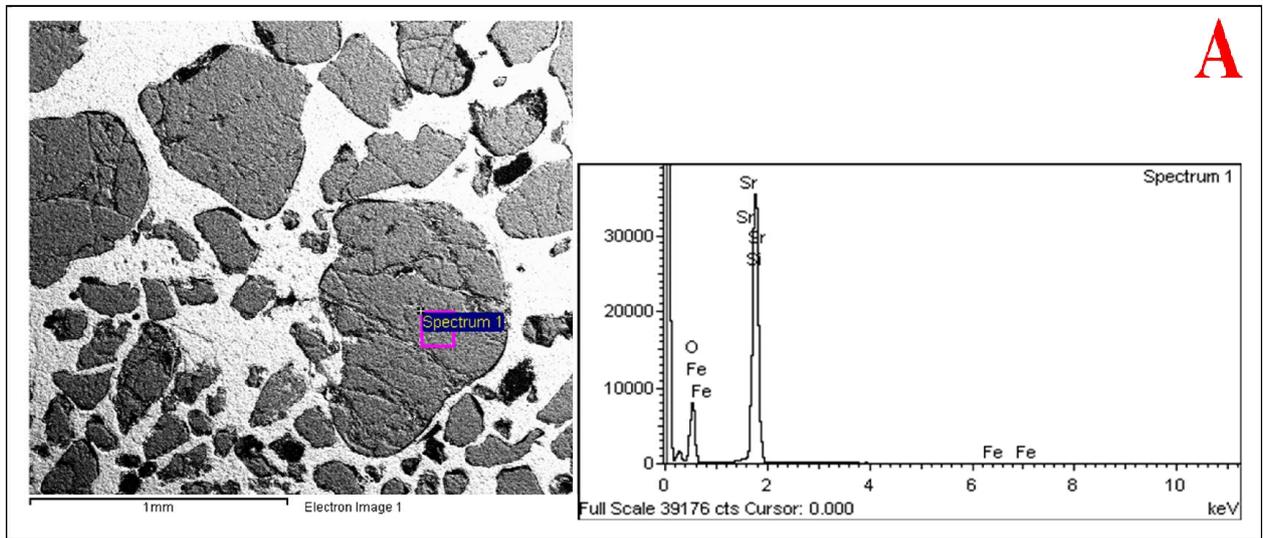


Fig. 6. Quartz wackes Bin 1 de Bingerville (GX40). A et A' : quartz wackes grossiers à très grossiers (Eu : extinction uniforme et Eo : extinction ondulante). B et B' : quartz wackes fins à moyens. C et C' : quartz wackes montrant le grano-classement. (A, B et C : lumière polarisée non analysée et A', B' et C' : lumière polarisée analysée).



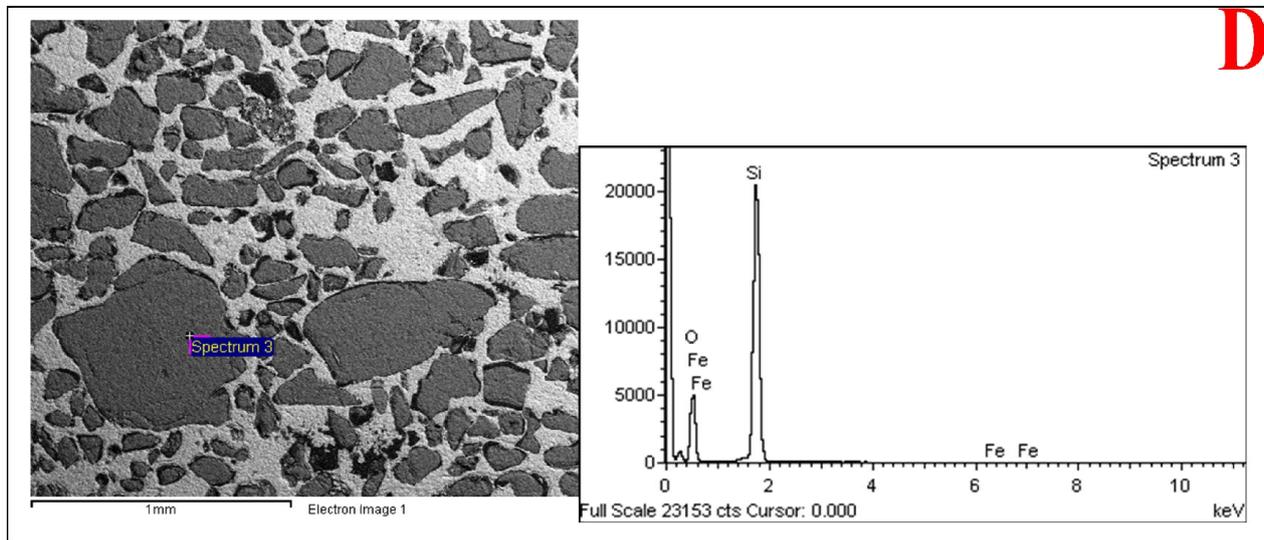
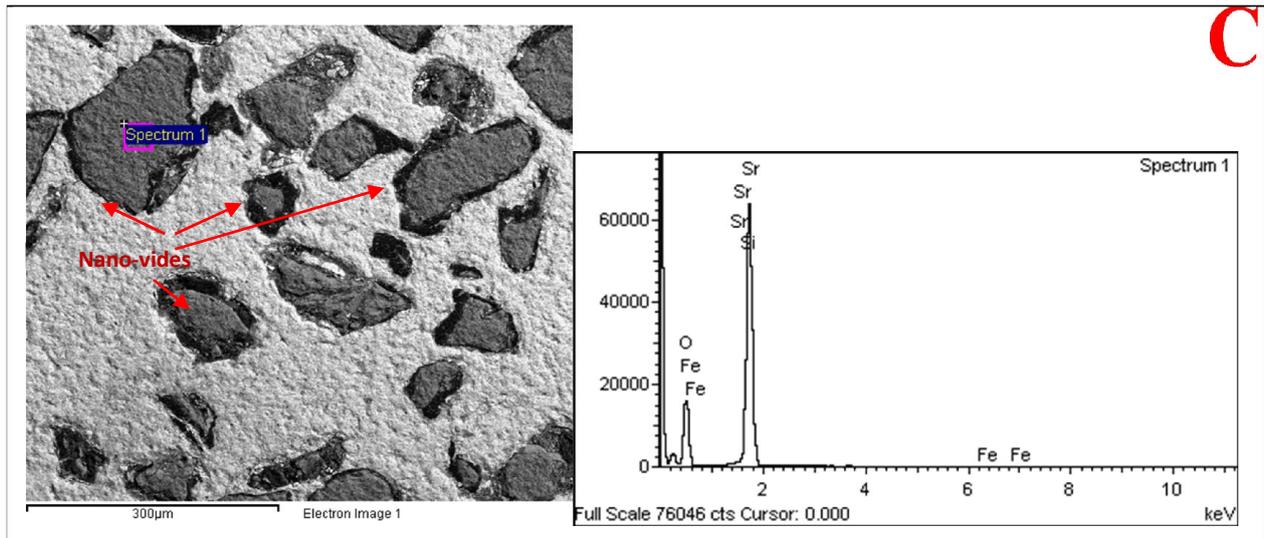
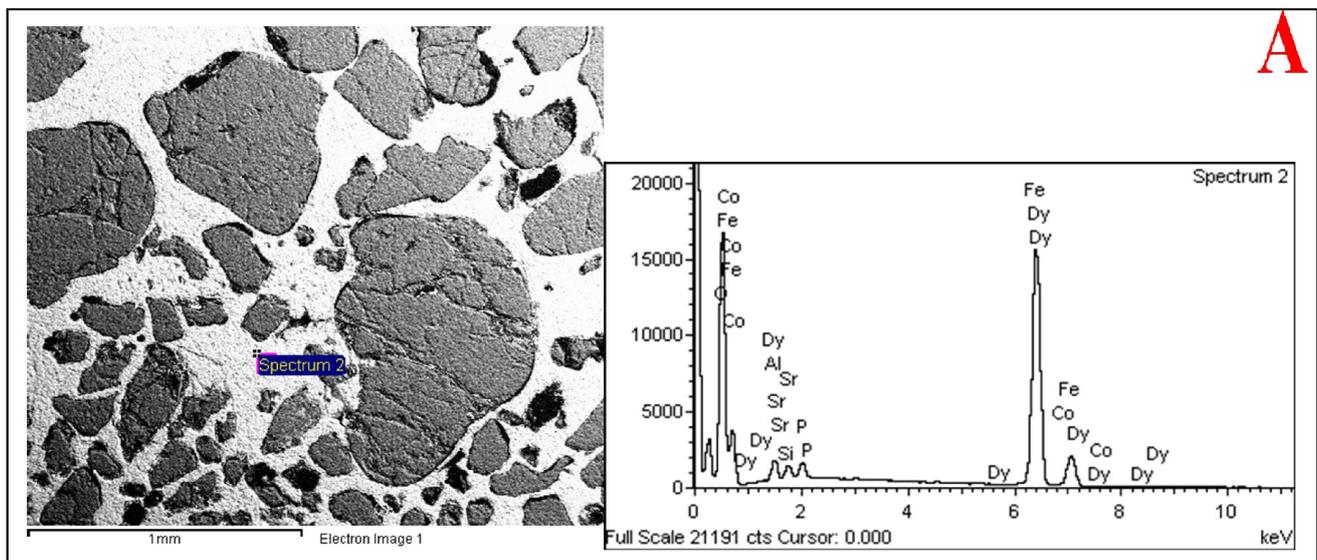


Fig. 7. Spectrums donnant la composition semi-quantitative de la phase quartzreuse (A à D)



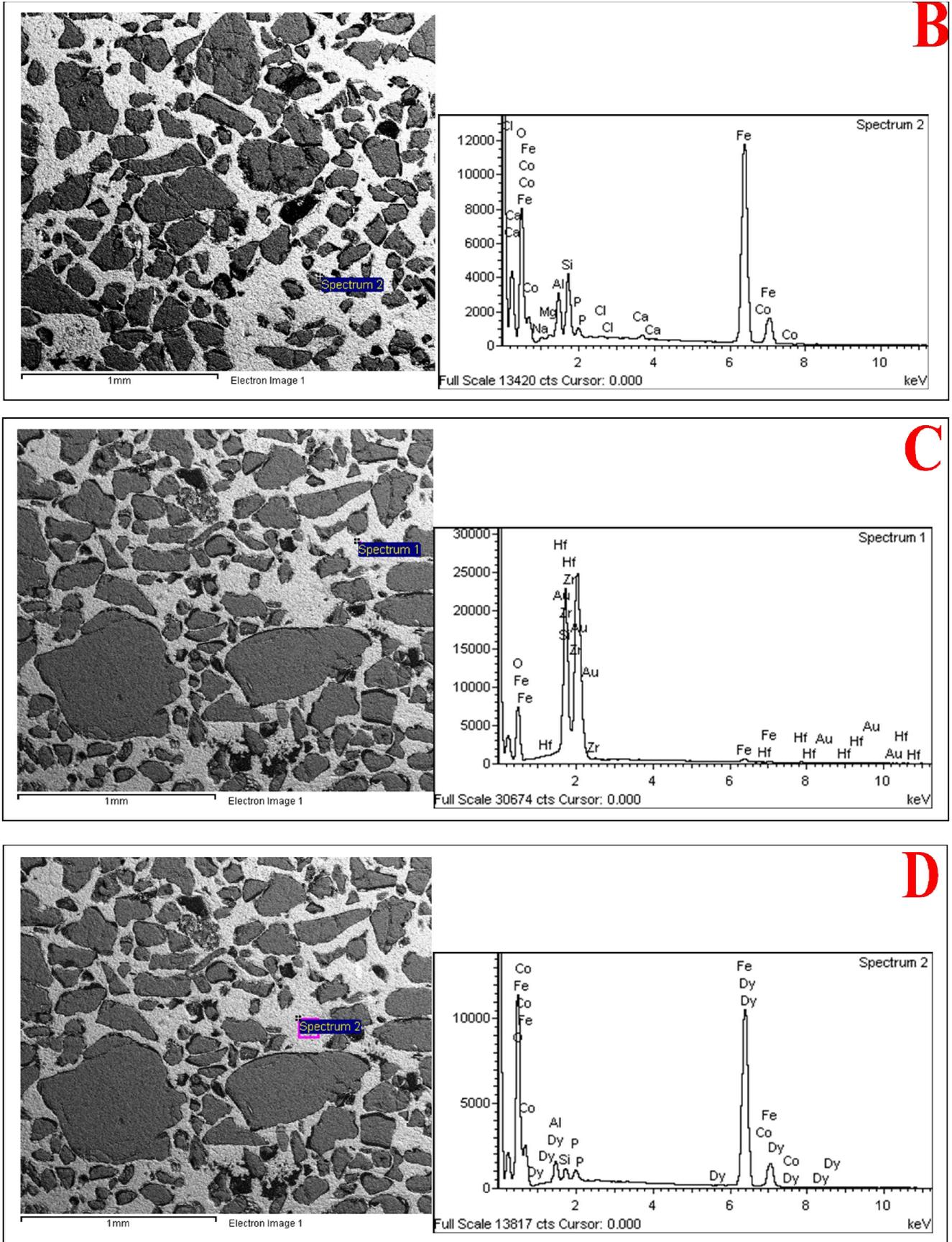


Fig. 8. Spectrums donnant la composition semi-quantitative de la phase ferrugineuse (A à D).

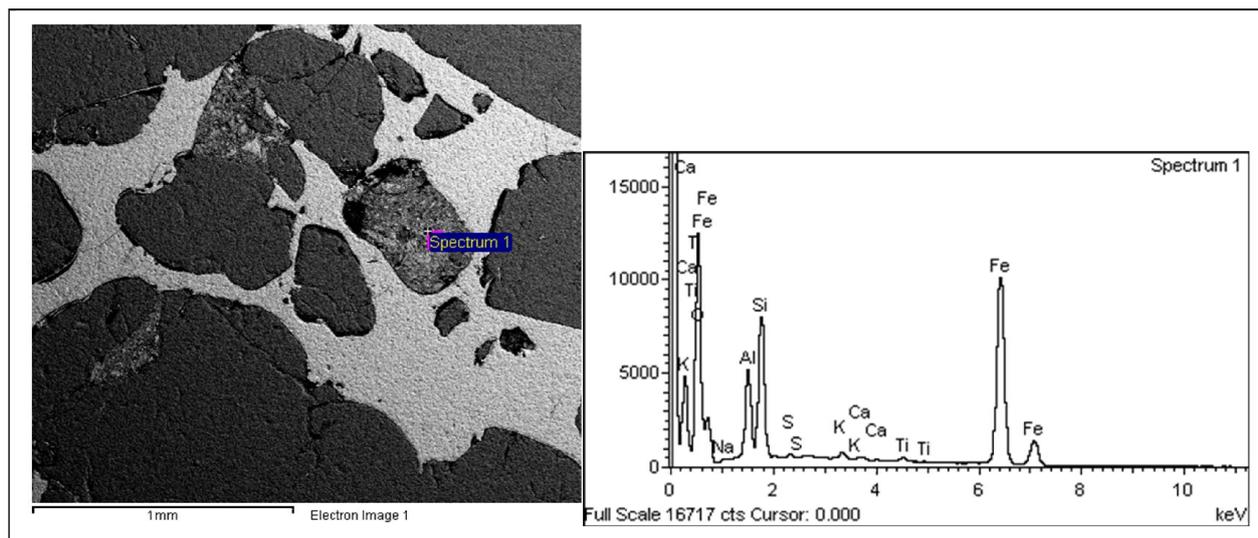


Fig. 9. Quartz oxydé (spectrum 1)

6 CONCLUSION

La pétrographie des muddy sandstones ferrugineux du Miocène de Bingerville montre que ce sont des quartz wackes à ciment ferrugineux. Ces quartz wackes dérivent de la grésification de sables silto-argileux au cours de l'Holocène. La grésification débute pendant les saisons pluvieuses où les argiles kaoliniques des quartz wackes piègent les hydroxydes de fer contenus dans les eaux d'infiltration. La grésification devient effective au cours des saisons sèches qui entraînent une évaporation des eaux interstitielles sous l'effet de la température atmosphérique. Cela favorise la transformation des hydroxydes de fer en oxydes de fer par la perte de leurs eaux. Les sables silto-argileux se consolident alors pour donner les quartz wackes à ciment ferrugineux. Ce ciment provient de l'oxydation totale de la matrice ocreuse qui est un mélange de kaolinite et d'oxyde de fer. Cette grésification se déroule en milieu subaérien à aérien. L'évaporation des eaux interstitielles crée des nano-vides autour des grains de quartz sous forme d'auréoles. Ceci permet de comprendre qu'il existe toujours un vide entre les grains de quartz et le ciment ferrugineux qui les entoure. Trois phases s'individualisent dans les quartz wackes du Miocène de Bingerville à savoir : la phase quartzreuse, la phase ferrugineuse et la phase poreuse. La forte concentration d'oxydes de fer occasionne la transformation de certains quartz en oxydes de fer à travers leurs zones de faiblesse.

REFERENCES

- [1] Assalé F. Y. P., 2013. Caractérisation sédimentologique, palynologique, géochimique et paléoenvironnementale des formations connexes à la faille des lagunes (Est du bassin onshore de Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat univ. Univ. F.H.B, Côte d'Ivoire, 361p.
- [2] Robert K. M., 2012. Descriptive lithology : Analysis of cuttings and cores. American Stratigraphic Company. 268p.
- [3] Gary N. S., 2009. Sedimentology and stratigraphy. Second edition. Wiley-Blackwell: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication 111 River Street, Hoboken, NJ 07030-5774, USA, 419p.
- [4] Pettijohn F., 1949. Sedimentary Rocks – Happer Frères. In Sedimentology. With 177 figures and 17 tables. Translation Thomas Reimer. Chamley H. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona, 285p.
- [5] Chamley H., 1990. Sedimentology. With 177 figures and 17 tables. Translation Thomas Reimer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona, 285p.
- [6] Pettijohn F.J., Potter P.E. et Siever R., 1987. Sand and Sandstone. In Sedimentology and stratigraphy. Second edition. Gary N. S. Wiley-Blackwell: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication 111 River Street, Hoboken, NJ 07030-5774, USA, pp. 5-86.
- [7] Adams A. E., Mackenzie W. S. et Guiford C., 1984. Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Low-priced Edition. Longman Group UK Ltd, Longman House, Burnt Mill, Harlow, Essex CM 20 2JE, England, 104p.
- [8] YACE I., 2002. Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. Edition CEDA, Abidjan, Côte d'Ivoire, 183p.