

Étude de la surface des grains de quartz au nord de la faille des lagunes par approche exoscopique

Affoué Rachel KOUASSI*, Yao Paul Fori ASSALE et Akoua Clarisse KRA

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Géologie Marine et de Sédimentologie, BPV 34, Abidjan 01, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : rachelkoffi@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude est d'identifier les traces d'action chimique et les traces d'action mécanique à la surface des grains de quartz pour déterminer le milieu et l'environnement de dépôt des sédiments. Les grains de quartz proviennent des déblais de forage situés au nord de la faille des lagunes dans le bassin onshore. Ils sont lavés à l'acide chlorhydrique. Un tamisage à sec permet d'obtenir les grains de quartz moyens (0,5 - 0,25 mm). Les grains de quartz sélectionnés sont observés au microscope électronique à balayage. Les traces d'action mécanique obtenues sont constituées de traces de choc, de cassures conchoïdales, de coups d'angle, de croissants de choc. Nous enregistrons également des figures de frottement des grains les uns contre les autres. Ces figures sont les figures de frottement gravées, les traînées de choc et les stries parallèles. Les traces d'action chimique identifiées sont des figures de dissolution et la fleur de silice. La superposition de ces microstructures permet de découvrir l'histoire sédimentaire de la zone. Les grains de quartz ont subi un transport fluvial torrentiel. Ils ont ensuite évolué en milieu marin (transgression) suivi d'une régression. Ils s'altèrent enfin en milieu continental. L'exoscopie de la surface des grains de quartz permet ainsi de reconstituer le paléoenvironnement.

Mots-clés : *exoscopie, paléoenvironnement, bassin onshore, faille des lagunes.*

Abstract

Study of the quartz grain surface north of the lagoon fault by Exoscopic approach

The objective of this study is to identify the traces of chemical action and the traces of mechanical action on quartz grains surface to determine the environment in which the sediments are deposited. The quartz grains studied come from drill cuttings located north of the lagoon fault in the onshore basin. They are washed with hydrochloric acid. Dry sieving produces the medium quartz grains (0.5 - 0.25 mm). The Selected quartz grains are observed under a scanning electron microscope. The traces of mechanical action obtained consist of traces of shock, conchoidal break, nails, croissant of shock. We also record abrasion figures of grain against each other. These are the engraved abrasion figures, the shock draw, the parallel striates. The traces of chemical action identified are figures of dissolution and silica flower. The superposition of these microstructures reveals the sedimentary history of the area. These quartz have undergone torrential fluvial transport. They then evolved in the marine environment (transgression) followed by a regression. Quartz finally deteriorated in continental environment. Exoscopy of quartz grains surface makes it possible to reconstruct the paleoenvironment.

Keywords : *exoscopy, paleoenvironment, onshore basin, lagoon fault.*

1. Introduction

Les travaux de recherche dans le bassin sédimentaire ivoirien sont nombreux. Ils ont permis d'établir la stratigraphie du bassin et de mettre en évidence la microfaune et la microflore par les études biostratigraphiques [1, 2]. La biostratigraphie est étudiée pour dater les strates ainsi que pour reconstituer le paléoenvironnement. Ainsi les kystes de dinoflagellés *Lejeunecysta pulchra*, *L. lata* associés à *Selenopemphix nephroides* ont mis en évidence un environnement de dépôt marin à l'Oligocène dans la région de Bingerville (Côte d'Ivoire) [3]. Aussi, l'Albien inférieur à moyen est caractérisé par une microfaune pauvre en foraminifère planctonique constituée de Ticinelles associée à des débris charbonneux en présence de pyrite traduit un milieu marin peu profond et réducteur [4]. Cependant outre la biostratigraphie il existerait d'autres études susceptibles de reconstituer les environnements du passé parmi lesquelles l'exoscopie. En effet selon le principe de l'exoscopie chaque environnement naturel est caractérisé par des facteurs d'origines diverses (physiques, chimiques, mécaniques, biologiques), qui laissent à la surface des grains de quartz des traces de forme et de taille caractéristique des facteurs qui les ont générées [5]. La forme et l'aspect de surface des grains de quartz traduisent leurs conditions de genèse, de transport et de sédimentation [6]. L'Analyse exoscopique des grains de quartz des plages ivoiriennes au sud de la faille des lagunes a permis de reconstituer les environnements de dépôts quaternaires [7]. Au nord de la faille des lagunes [8], l'exoscopie des grains de quartz de la « Terre de barre » a montré que celle-ci s'est mise en place au cours des deux dernières périodes interglaciaires. Plusieurs études ont montré que le nord de la faille des lagunes était en grande partie couvert des formations du tertiaire avec une forte présence du Mio-pliocène [9]. L'environnement de dépôt des formations du Mio-pliocène n'est pas bien défini dans cette zone. Est-il possible de mettre en évidence le paléo-environnement de cette zone à partir d'une analyse exoscopique bien détaillée. Cette étude permettra de mettre en évidence les microstructures observées sur les grains de quartz de la région. L'interprétation de ces microstructures permettra de déduire les environnements de dépôts des sédiments afin de reconstituer l'histoire sédimentaire de la zone.

2. Méthodologie

2-1. Cadre géologique

La Côte d'Ivoire couvre une superficie de 322.462 Km². Elle se situe dans la zone intertropicale entre les longitudes 2° et 9° W et les latitudes 4° et 11° N. Sa géologie est constituée d'un socle ancien qui couvre 97,5 % du pays et un bassin sédimentaire secondaire et tertiaire qui occupe 2,5 % du territoire. Le bassin sédimentaire forme une mince frange littorale (2,5 %) en bordure de l'Océan Atlantique dans le golfe de Guinée septentrional. Il se divise en deux zones que sont le bassin côtier émergé ou onshore au Nord et le bassin profond immergé offshore au Sud. La partie terrestre forme un bassin monoclin à pente inclinée vers la mer. La **Figure 1** présente une faille importante dite « accident majeur des lagunes », elle sépare cette partie en deux zones. Une zone nord caractérisée par une sédimentation peu épaisse et une zone sud marquée par une sédimentation très épaisse, supérieure parfois à 5000 m de profondeur sous la mer [9]. La zone Nord couvre une superficie d'environ 5000 Km². La couverture sédimentaire varie de 200 m à 300 m, atteint rarement 400 m de profondeur. Deux affleurements de terrains marins très anciens y sont connus : l'un à Fresco près de l'extrémité Ouest du bassin est d'âge Paléocène et l'autre à Anwiafutu au Ghana à l'Est d'âge Cénomanién [10].

2-1-1. Structure de la faille des Lagunes

L'accident tectonique majeur affectant le bassin à terre s'étend de l'Ouest à l'Est. Cet accident est appelé « Faille des Lagunes » [11]. Cette faille est le prolongement de la fracture Saint-Paul [12]. Son rejet atteint 3500 à 5000 m avec un pendage sud d'environ 30°. Elle est accompagnée de failles satellites parallèles et de failles méridiennes (*Figure 1*) de direction sensiblement Nord-Sud. Les failles satellites divisent chaque compartiment en « marches d'escaliers » (graben et horst). La faille des lagunes est décalée par une faille méridienne dans la région du Comoé.

2-1-2. Zone d'étude

La zone d'étude représentée sur la *Figure 2* est située au Nord de la Faille des lagunes entre les longitudes 4° et 4,5° Ouest et les latitudes 5° et 5,40° de Nord. Les puits ont été réalisés dans les localités suivantes : Abobo Ndotré, Abadjin Kouté, Anyama, Yassap, Toupah résumé dans le *Tableau 1*.

2-2. Principe et méthodes

L'exoscopie est l'étude, au microscope électronique à balayage, des traces d'origine mécanique, chimique et biologique qui apparaissent à la surface des grains de quartz. Cette technique a pour objectif de déterminer le milieu de dépôt et les principales phases de l'histoire sédimentaire des grains de quartz. Dans la nature, il est rare de se trouver confronter avec des évolutions simples. Le cas le plus général est celui de sables composés de grains ayant subi une histoire plus ou moins complexe avant le stade final de dépôt [13 - 15]. L'examen exoscopique des quartz entraîne les manipulations suivantes appliquées à la fraction sableuse : rinçage, destruction de la matière organique, décarbonatation à l'acide chlorhydrique à 10 %, rinçage à l'eau distillée puis filtrage et séchage. Un tamisage à sec sépare les sables grossiers (1 - 0,5 mm), moyens (0,5 - 0,25 mm) et fins (0,25 - 0,125 mm) pour une analyse morphoscopique préalable. L'étude exoscopique est pratiquée préférentiellement sur les grains moyens de 250 à 400 µm, taille pour laquelle les actions chimiques et mécaniques agissent simultanément [16]. Les éléments grossiers sont plus rapidement façonnés que les moyens, ce qui réduit souvent leur intérêt historique. Les plus petits éléments portent très peu de traces des actions, à cause de leur faible poids qui réduit les conséquences des chocs et des frottements sur leur forme et leur état de surface [17]. Les prises de vue des grains de quartz se font au MEB. L'appareil utilisé est le MEB/EDS de type FEG (canon à émission de champ) à pression variable (VP) couplé à un microanalyseur de rayon-X et à la Spectrométrie par Dispersion d'Énergie (EDS) de la Direction du Centre d'Analyse et de Recherche de la PETROCI (D.C.A.R.). L'examen de la surface des quartz a mis en évidence des figures très variées comparables à celles décrites par plusieurs auteurs [12, 14, 18 - 26].

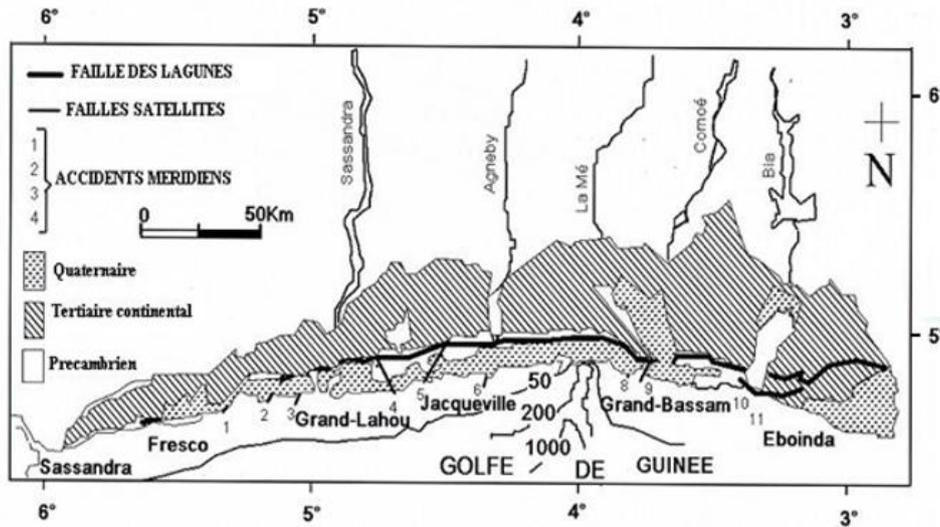


Figure 1 : Bassin sédimentaire de la Côte d'Ivoire montrant la faille des lagunes et les failles satellites

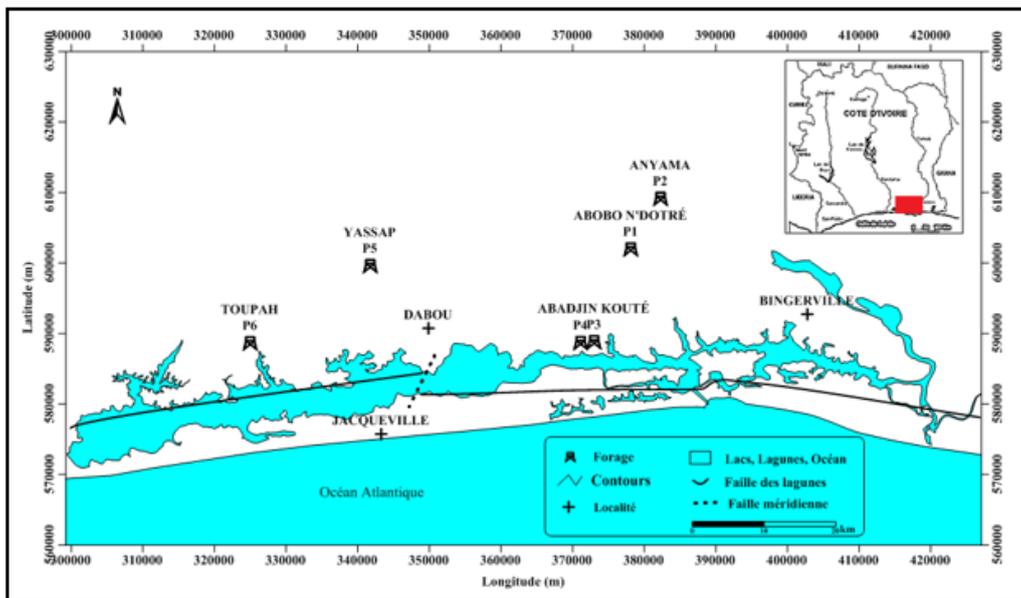


Figure 2 : Situation géographique des forages

Tableau 1 : Coordonnée géographique des puits

Localité	Longitude (W)	Latitude (N)	Profondeur (m)	Puits (P)
Abobo ndotré	W 04° 06' 0,4446"	N 05° 26' 40,2971"	77	P1
Anyama	W 04° 03' 45,657"	N 05° 30' 33,7793"	93	P2
Abadjin kouté1	W 04° 08' 45,6705"	N 05° 18' 36,8488"	41	P3
Abadjin kouté2	W 04° 08' 51,6086"	N 05° 18' 33,3212"	44	P4
Yassap	W 04° 25' 42,1802"	N 05° 25' 20,5262"	90	P5
Toupah	W 04° 34' 45,9772"	N 05° 19' 22,4015"	123	P6

3. Résultats

3-1. Analyse des grains de quartz de la planche 1

Les quartz des images A et B de la *Planche 1* proviennent du puits P4 à 17 m de profondeur dans la localité d'Abadjin Kouté 2. Les quartz des images C, E et F ont été échantillonnés à Toupah dans le puits P6 à 77 m de profondeur. Les quartz des images D, G et H sont prélevés du puits p2 à 21 m de profondeur pour D et C et à 5 m de profondeur pour H dans la localité d'Aynama. La surface du grain de quartz A montre des figures géométriques dont les arêtes sont visibles. Ce quartz présente très peu de traces d'action mécanique. Le détail du quartz A révèle une figure hexagonale en B. Cette figure est la base d'un prisme hexagonal dans le plan (001) du système rhomboédrique de la molécule de quartz. Il s'agit de l'altération du quartz suivant les axes cristallographiques. Les cavités tétraédriques en C et D sont des microstructures d'origine chimique. Elles résultent de la dissolution de la surface du grain de quartz au contact avec le fluide sous-saturé en silice dissoute. Ces fluides corrodent les cristaux de quartz. Ces triangles en creux correspondraient à des molécules de silice disparues, rongées par la corrosion dans l'eau sous saturée en silice [14]. Les images E et F mettent en évidence des surfaces fraîches de quartz formées de pointes pyramidées. L'image G montre les crêtes des Pointes pyramidées ayant subi une dissolution chimique. L'attaque chimique est matérialisée par une desquamation des pointes pyramidées en petites écailles. Le quartz de l'image H est bien arrondi, sa surface montre des croissants de choc, des traînées de choc (image I et J) et des chocs en coups d'angle caractéristiques de transport éolien sous un climat aride.

3-2. Analyse des grains de quartz de la planche 2

La *Planche 2* présente les quartz des images K, M, O. Les grains de quartz K et M ont été échantillonnés à Abadjin Kouté 1 à 21 m de profondeur dans le puits P3. Les grains de quartz K et M présentent le même degré de polissage au niveau des surfaces planes et des surfaces anguleuses. L'absence de dépôt dans les dépressions (L) indique un milieu très agité. Ces grains de quartz sont déposés dans un environnement marin infratidal dynamique. Dans ce milieu, les quartz sont constamment baignés dans un milieu très sous-saturé par rapport aux formes cristallines de la silice, les grains de sable seront soumis à une dissolution d'autant plus prononcée que le brassage des sédiments sera violent [6]. Dans ce milieu, les grains de quartz sont soumis aux actions des vagues, de la houle et des courants côtiers, qui les brassent de moins en moins vigoureusement à mesure que l'on s'éloigne de la côte. Le brassage provoque le décapage de la zone superficielle. L'attaque du quartz bien cristallisé se traduit par l'apparition d'un réseau de dissolution puis de figures de dissolution géométriques caractéristiques. Ces figures de dissolution apparaissent d'abord sur les sommets des grains, puis sur les faces planes et les dépressions [6]. Les microstructures recensées à la surface des quartz de la localité de Yassap (P5) à 77 m sont observées sur le quartz O *Planche 2*. Les grains de quartz présentent une surface polie sans dépôt de silice. Les sédiments ont subi un transport en milieu turbulent. Ils sont dépourvus de trace d'action chimique comme les triangles de dissolutions et les grands V. Les sédiments ont subi une altération pédogénétique sous l'action de la percolation des eaux. La solution n'étant pas renouvelée, la saturation en silice a produit une cristallisation qui a formé une fleur de silice (image Q *Planche 3*). La dissolution de la fleur de silice avec polissage et égalisation de ces dernières montre que les grains subissent une évolution fluviale [23]. La sursaturation de l'eau fluviale en silice limite la dissolution de la surface du quartz à la silice amorphe ou à la silice héritée de l'altération pédologique. Le dernier stade de sédimentation identifié est l'altération pédologique.

3-3. Analyse des grains de quartz de la planche 3

La **Planche 3** regroupe les quartz d'Abobo N' Dotr  (P1)  chantillonn  à 23 m de profondeur (images R, U, V) et   77 m de profondeur (image S). Le quartz de l'image T provient d'Anyama à 5 m de profondeur et celui de Yassap (P5)   16 m de profondeur (images W, X). Les cassures conchoïdales de tailles variées observées sur le quartz de l'image R résultent de l'action d'un transport en régime torrentiel. Les sables subissent un épisode éolien très violent avec la présence de choc en V (images S et T). C'est une des marques de façonnement éolien [27]. Les traces d'actions mécaniques observées sur les images V et X sont des traces de frottement entre les grains de quartz acquis au cours d'un brassage en milieu fluvial de haute énergie. Le milieu de haute énergie est lié à un transport torrentiel. Les quartz de ce milieu présentent de nombreuses traces de choc de grande taille quand le grain de quartz est bien évolué, avec un gradient de polissage souvent peu marqué [28].

Planche 1

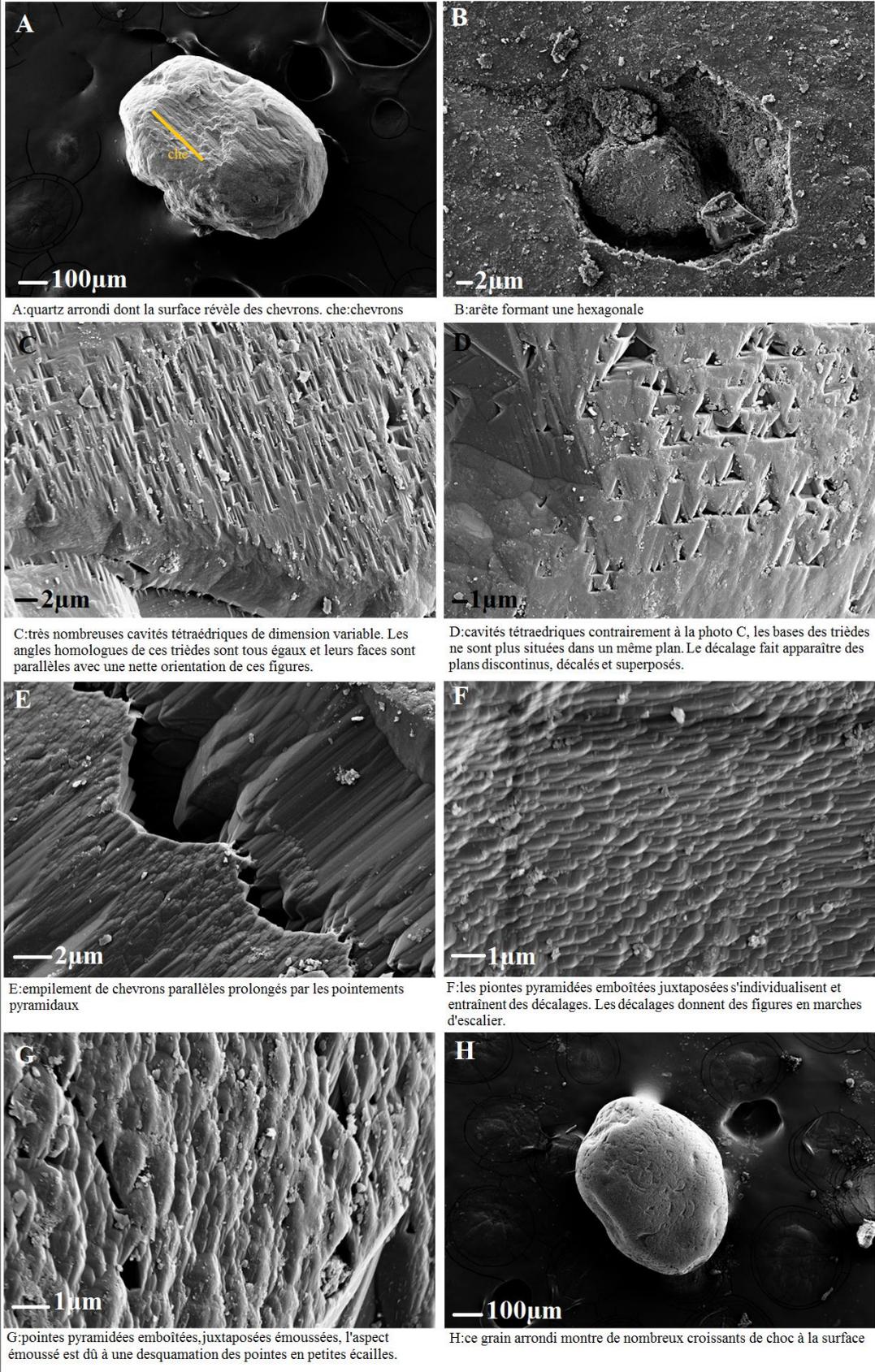
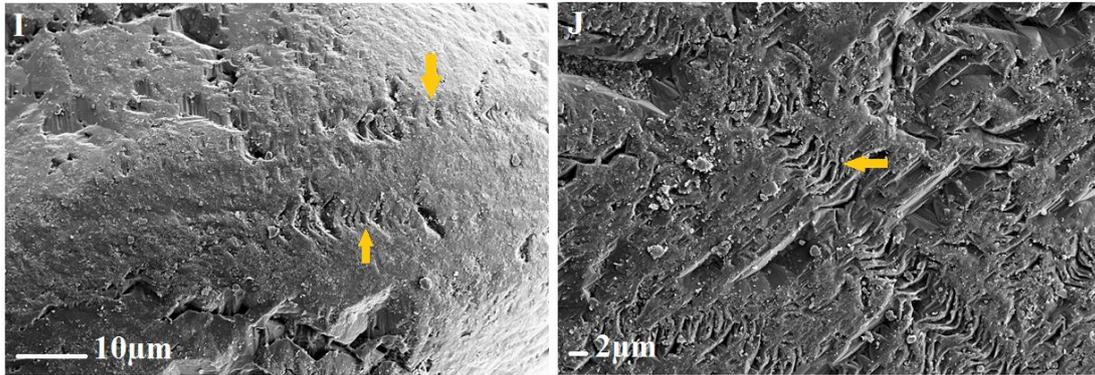
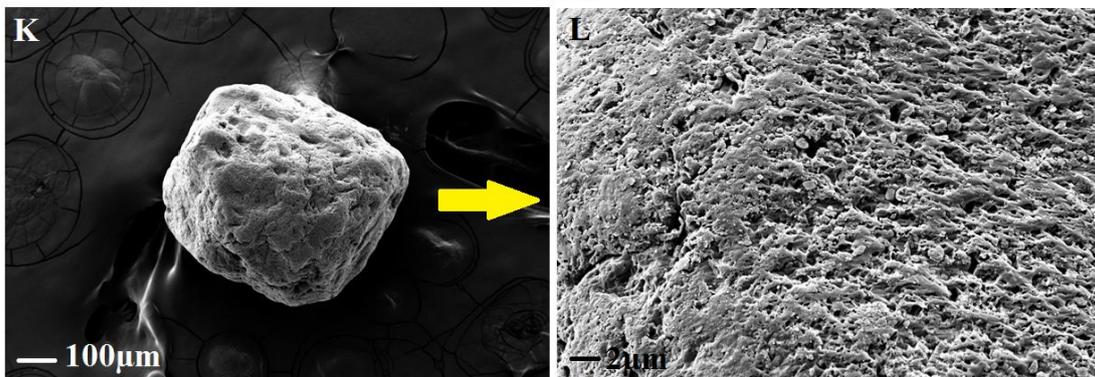


Planche 1 suite



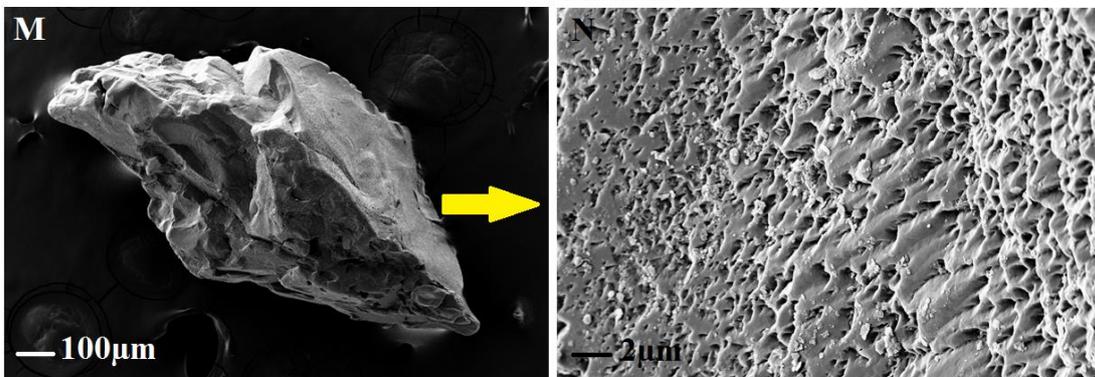
I, J: détail du quartz H montrant plusieurs trainées de choc.

Planche 2



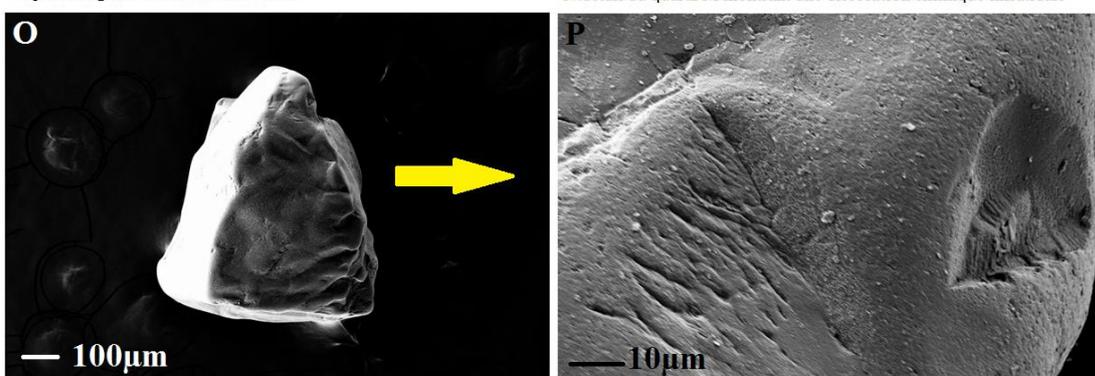
K: quartz arrondi à surface émoussée avec des traces de chocs

L: détail du quartz K présentant une dissolution chimique en milieu marin infratidal



M: quartz anguleux à surface émoussée

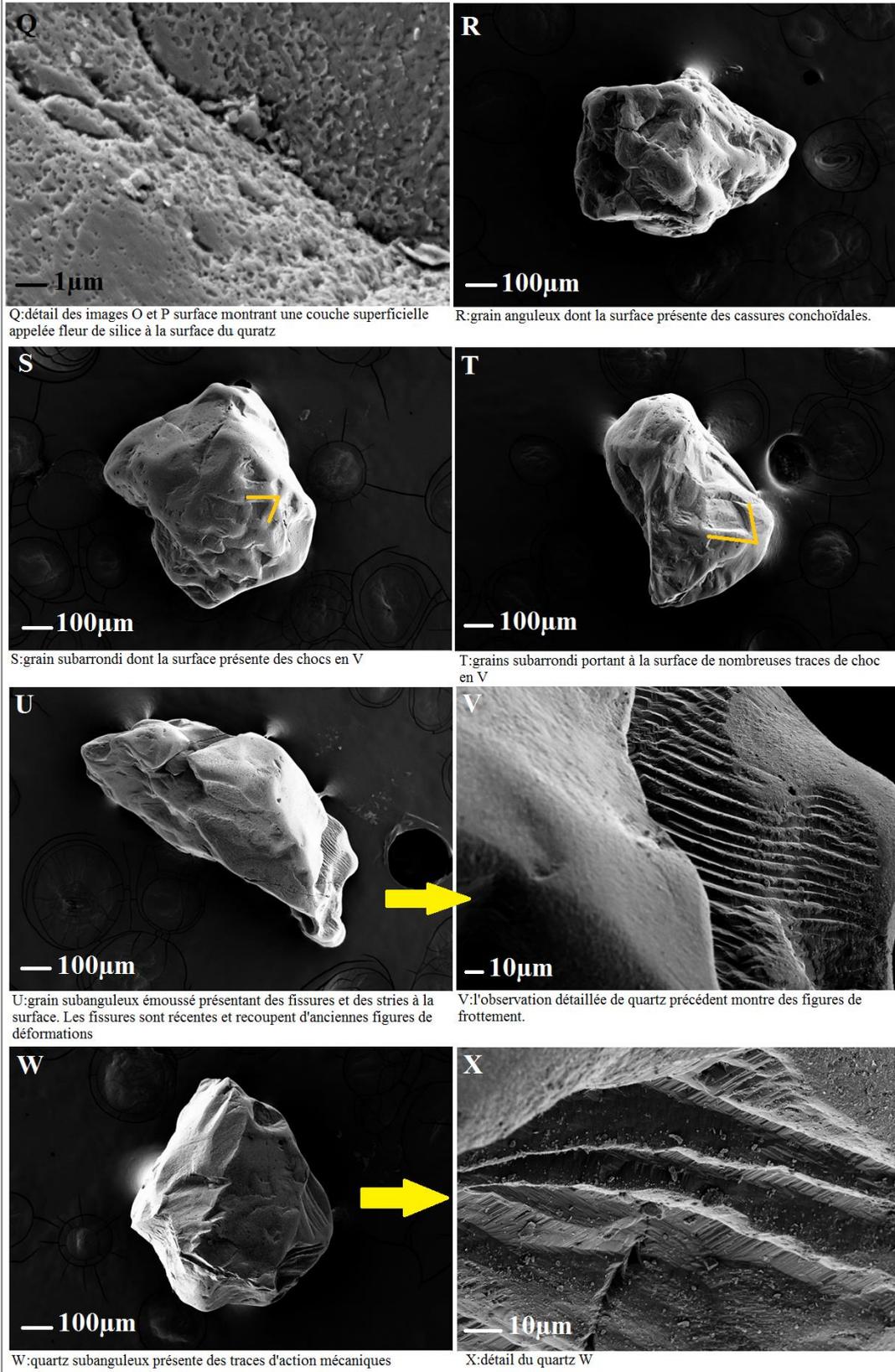
N: détail du quartz M montrant une dissolution chimique infratidale



O: les grains de quartz sont subanguleux avec une surface émoussée

P: détail du quartz O montrant une surface polie, affectée par de petites fissures

Planche 3



4. Discussion

Le quartz appartient aux minéraux silicatés, il représente environ 95 % de la croûte terrestre d'où son importance. Le motif élémentaire des silicates est le tétraèdre de silice sous forme de SiO_4 [29]. Le faciès des cristaux de quartz est très variable, les plus fréquents sont sous trois formes, le faciès prismatique, le faciès bipyramidal et le faciès rhomboédrique. Le faciès prismatique est le plus fréquent. Il présente un prisme hexagonal à faces plus ou moins striées horizontalement. La surface horizontale est observée sur l'image B planche 1. Au niveau du faciès rhomboédrique le prisme n'est pas observé sur les planches, mais les cristaux sont allongés selon l'axe C et décrivent des faces de rhomboèdres peu inclinées sur l'axe. Ce faciès est représenté sur l'image C de la planche 1. Les images B et C montrent que les quartz de la zone ont conservé des caractères prismatiques. Ces quartz sont non évolués, car ayant subi un transport relativement court. Ils ont été déposés à faible distance de la roche mère [30]. La source génératrice de ces éléments sableux est donc proche de leur environnement de dépôt. Cela s'expliquerait par le contact du socle avec le bassin sédimentaire dans les régions de Bingerville, d'Alépé et de Samo [30]. Le détritisme sableux provenant du socle en contact avec le bassin côtier n'a donc pas été usé par l'action mécanique du transport avant le dépôt [31]. Les quartz subarrondis et anguleux de la localité d'Abadjin Kouté présentent les mêmes figures de dissolution. La zone met en évidence une population sableuse aux origines diverses ayant vécu les mêmes phénomènes géologiques après leur dépôt.

Les éléments sableux subarrondis et arrondis proviennent de l'arrière-pays continental. Ils ont été transportés sur une distance relativement longue [32]. Après le dépôt de ces sédiments, la zone a subi un épisode transgressif. En effet le polissage très poussé des quartz (image N) et les phénomènes de dissolution ont lieu en milieu infratidal [33]. Ces quartz ont séjourné dans un milieu sous saturé en silice qui est le milieu marin infratidal. En effet, dans un milieu fortement sous saturé en silice dissoute (milieu infratidal), les grains de quartz sont progressivement dépourvus de tous les dépôts siliceux qui les recouvrent. La surface des grains de quartz devient alors propre. Les grains de quartz sont attaqués, faisant apparaître des figures de dissolution à forme géométrique en creusant les traces de choc héritées des épisodes sédimentaires antérieurs [33]. Les travaux de datation palynologique ont attribué un âge Miocène-inférieur aux formations qui font l'objet de cette étude [2, 8]. La transgression marine est l'événement majeur enregistré au Miocène inférieur. La transgression est une avancée du trait de côte sur le continent, provoquée par une élévation relative du niveau de la mer [34]. Elle a été reconnue dans plusieurs bassins sédimentaires côtiers africains [35] et européens [36]. Les traces de dissolution d'origine marine (zone intertidale et infratidale) ont été observées sur les sédiments de Tabou, Sassandra et Abidjan. Certains quartz sont marqués par des impacts des environnements fluviaux ou lacustres [37, 38].

Après le retrait de la mer à la régression, le paléoclimat devient aride. L'aridité est marquée par une insuffisance de l'alimentation en eau due à une conjoncture météorologique défavorable. Les précipitations pluviales sont infimes, mais partout les rosées matinales sont fréquentes et les déserts brumeux sur les littoraux. Cette eau, qui arrive au sol, est sujette à des pertes immédiates : forte évaporation, stimulée par une atmosphère sèche [39]. Le Miocène inférieur apparaît comme une période sèche. Avant le Quaternaire, le climat était souvent chaud et humide avec de brèves périodes froides [40]. Cette action éolienne s'est manifestée de façon plus ou moins importante depuis le Mio-Pliocène [41]. Les traces d'éolisation observées sur les quartz sont les traînées de choc, les croissants de choc et les traces de choc en V. Au MEB, les caractères des quartz désertiques évoluant sous un climat chaud sont les traces de choc d'origine éolienne (V, croissant). Elles sont masquées par une pellicule écailleuse de silice amorphe. L'origine de cette pellicule est due à l'action conjuguée des chocs mécaniques et de la rosée nocturne [27]. Au cours des tempêtes de sable les impacts répétés conduisent à une amorphisation de la partie superficielle du quartz. Lorsque le grain s'immobilise, la rosée nocturne dissout les zones désorganisées puis au cours de la journée, la silice précipite sous forme d'une pellicule écailleuse qui recouvre progressivement toute la surface du grain [42]. Cet épisode

éolien est identifié à Anyama et à Bonoua [21] aussi dans la zone Abidjan-Bassam [12]. L'étude exoscopique de la localité de Yassap (P5) révèle des grains immobilisés dans un environnement de très basse énergie entraînant la formation de la fleur de silice. En effet, les fleurs de silice se forment généralement sur les portions de surface protégées où les solutions qui s'infiltrèrent dans le sol sont difficilement renouvelées et tendent à une sursaturation en silice. Dans un tel micro milieu confiné, ces sursaturations aboutissent à la cristallisation de la silice sous forme de fleur plus ou moins bien formée en groupe nettement délimité. La dissolution de la fleur de silice avec polissage et égalisation (image P) de ces dernières montre que les grains subissent une évolution fluviale [22]. La sursaturation de l'eau fluviale en silice limite la dissolution de la surface du quartz à la silice amorphe ou à la silice héritée de l'altération pédologique. Les principaux caractères acquis à la surface des grains sont liés à la pédogenèse et plus particulièrement à des phénomènes de dissolution en profondeur, couplés vers la surface à des remaniements in situ et périodiquement à des phénomènes de réprécipitation de silice [43]. Les cassures conchoïdales, les traces de frottement observées décrivent une érosion fluviale torrentielle. Ce régime torrentiel est une des conséquences de la structure particulière du bassin sédimentaire ivoirien. En effet, il est affecté d'une faille majeure de direction Est Ouest à cet accident majeur sont associés des failles satellites qui lui sont parallèles et qui déterminent avec les failles méridiennes une structure en marche d'escalier [11]. Cette architecture générale détermine la distribution des unités morphosédimentaires (haut plateau, bas plateau, cordons dépression et lagunes). Ce régime torrentiel serait également lié à une élévation du bassin ainsi qu'à une instabilité tectonique au niveau de la marge continentale [11]. Ces résultats indiquent que les textures de surface du quartz dépendent de la source géologique, du processus de transport et de l'environnement de dépôt, à savoir les paramètres géomorphologiques et géologiques [44].

5. Conclusion

L'étude exoscopique montre que la surface du grain de quartz est un enregistreur naturel. Il peut être utilisé pour la reconstitution des environnements passés. Les traces d'actions mécaniques observées sur les grains de quartz de la zone sont : les traces de choc, les traces de choc en V, les cassures conchoïdales, les coups d'ongles, croissants de choc, les traînées de choc et les figures de frottement. Ces microstructures sont liées au dynamisme du milieu. Les microstructures chimiques identifiées sont constituées de triangle de dissolution, de pellicule siliceuse, d'écaillage de silice, de figure de dissolution anastomosée ainsi que les fleurs de silice. La formation des microstructures chimiques est liée à l'interaction entre le quartz et l'eau continentale saturée en silice dissoute d'une part et d'autre part entre le quartz et l'eau de mer sous saturée en silice amorphe suite aux pulsations marines. L'interprétation des traces d'action mécaniques et chimiques a permis de retracer l'histoire sédimentaire de la zone. Ces quartz pour la plupart, ont subi un transport fluviale torrentiel. Ensuite, ils ont évolué en milieu marin. Les microstructures d'origine éolienne mettent en évidence une sécheresse du milieu entraînant une régression. Après la régression, les sables s'accumulent en milieu continental où ils sont soumis à une altération pédologique avec formation de fleur de silice pour certains.

Références

- [1] - G. R. BIE, " Evolution des microflores du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire (marge d'Abidjan) au cours du Cénozoïque : Palynostratigraphie, Paléobotanique, Evolution des environnements de dépôt et Maturation de la matière organique ", Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, (2012) 236 p.
- [2] - N. J-P. YAO, " Caractérisation sédimentologique, minéralogique, géochimique et biostratigraphique des falaises vives de Fresco : région de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire) ", Thèse de Doctorat, Université de Cocody, (2012) 188 p.
- [3] - Z. B. DIGBEHI, M. DOUKOURE, Y. J. TEA, K. R. YAO, N. J-P. YAO, K. D. KANGAH ET I. TAHI, " Palynostratigraphy and palaeoenvironmental characterization and evidence of Oligocene in the terrestrial sedimentary basin, Bingerville area, Southern Côte d'Ivoire, Northern Gulf of Guinea", *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol 5, N°10 (2012) 28 - 42
- [4] - M. K. BAMBA, B. Z. DIGBEHI, B. C. SOMBO, T. E. GOUA et L. V. N'DA " Foraminifères planctoniques, biostratigraphie et paléoenvironnement des dépôts alboturonien de la Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest ", *Revue de Paleobiologie*, Vol. 30, (2011) 1 - 11
- [5] - L. LE RIBAUT, " L'exoscopie, méthodes de détermination des évolutions subies par les grains de quartz au cours de leur histoire géologique, par l'étude de leurs aspects superficiels au Microscope Electronique à Balayage ", Thèse de Doctorat Université de Paris-Sud, (1973) 62 p.
- [6] - P. LEGIGAN, " Apports de la morphologie des grains de quartz à l'interprétation des environnements sédimentaires ", CNRS, Centre de recherches archéologiques, Doc. Formation, N° 27 (1991) 11 p.
- [7] - K. E. KONAN, G. H. C N'DOUFOU, Y. A. N'GUESSAN, K. P. KOFFI et S. B. BAMBA " Contribution des analyses morphoscopique et exoscopique des grains de quartz des plages ivoiriennes à la reconstitution des environnements de dépôts quaternaires " *Science de la vie, de la terre et agronomie REV. RAMRES*, Vol 06, N°01 (2018) 23 - 29
- [8] - F. Y. P. ASSALE, " Caractérisation sédimentologique palynologique géochimique et paléoenvironnementale des formations de l'est du bassin onshore de Côte d'Ivoire ", Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, (2013) 361 p.
- [9] - K. AKA, " La sédimentation quaternaire sur la marge de Côte d'Ivoire: Essai de Modélisation ", Thèse de Doctorat d'Etat, l'Université de Cocody (Abidjan), (1991) 320 p.
- [10] - B. C. SOMBO, "Étude de l'évolution structurale et sismo — stratigraphique du bassin sédimentaire offshore de Côte d'Ivoire, marge passive entaillée d'un canyon ", Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Cocody, (2002) 304 p.
- [11] - J. P. TASTET, " Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Benin) ", Thèse Doctorat d'Etat, Université de Bordeaux I, (1979) 175 p.
- [12] - J. R. DELTEIL, " Histoire géologique des bassins côtiers de l'Ouest africain; Gabon - Congo - Côte d'Ivoire ". *Bulletin du Centre de Recherche Exploration et Production Elf Aquitaine*, Vol. 1, N°1 (1977) 257 - 258
- [13] - L. LE RIBAUT, " L'exoscopie, méthode et application ", *Notes et Mémoires, Comp. Franç. Pétr.*, N°12 (1975) 232 p.
- [14] - L. LE RIBAUT, " L'exoscopie des quartz ", *Masson et C^{ie} éditeurs, Paris*, (1977) 150 p.
- [15] - P. LEGIGAN, " Application de l'exoscopie de quartz à la reconstitution des environnements sédimentaires ", In Miskovsky J.-C (Ed.), *Géologie de la Préhistoire, Géopré*, Presses universitaires de Perpignan, (2002) 571 - 587
- [16] - E. DEBARD, " Exoscopie des grains de quartz ". In: *Nouvelles archives du Muséum d'histoire naturelle de Lyon*, tome 25, (1987) 97 - 100
- [17] - J. P. PINOT, " Manipulations sédimentologiques courantes ", *M.W.Turga/(Edit.)*, (1994) 118 p.

- [18] - G. CLAISSE, " Etude de l'altération du quartz en milieu tropical humide ", C. R. Académie Sciences Paris, 274 (1972) 2956 - 2959
- [19] - R. FAUCK, " Evolution des quartz dans les sols rouges ferrallitiques développés sur roches sableuses et gréseuses de l'Afrique Occidentale ", C.R. Académie Sciences, Paris, 271 (1970) 2273 - 2276
- [20] - R. HIGGS, " Quartz grain surface features of Mesozoic-Cenozoic sand from the Labrador and western Greenland Continental Margins ", *J. Sed. Petrol.*, Vol 2, N°49 (1979) 599 - 610
- [21] - A. C. KRA, " Exoscopie des quartz pour la reconstitution paléogéographique des formations de l'Est du bassin onshore de la Côte d'Ivoire : cas des localités d'Anyama et de Bonoua ", Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, (2016) 143 p.
- [22] - P. LEGIGAN, J. L. TURON et O. WEBER, " Evolution des dépôts littoraux au cours d'un cycle climatique sur la côte nord-aquitaine ", Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine Bordeaux, N°39 (1986) 135 - 147
- [23] - P. LEGIGAN, " Apports de la morphologie des grains de quartz à l'interprétation de environnements sédimentaires ", CNRS, Doc. formation n° 27, Centre de recherches archéologiques, (1991) 11 p.
- [24] - L. LE RIBAUT, " Présence d'une pellicule de silice amorphe à la surface de cristaux de quartz des formations sableuses ", C. R. Ac., 272 (1971) 1933 - 1936
- [25] - L. LE RIBAUT, " L'exoscopie, méthode de détermination de l'histoire géologique des quartz détritiques ", *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, Vol. 16, N°2, fasc. 1 (1974) 119 - 130
- [26] - C. VINCHON, J. C. GOURRY, G. FARJANEL, D. HERVIEUX, L. VAN VLIET & C. BAETEMAN, " Evolution géologique du système côtier picard entre Berck et Merlimont (62) au quaternaire. Scénarios géoprospectifs de l'évolution dunaire ", Rap. BRGM/RP-50039-FR, (2000) 89 p.
- [27] - A. HOUTMANN, L. LE RIBAUT, R.S.M. TEMPLETON, R. F. DESPRAT, " Évolution des quartz, exoscopi / Evolution of quartz grains, Exoscopic examination ". In: *Géologie Méditerranéenne. La mer pélagienne. Tome 6, N°1* (1979) 130 - 138
- [28] - PH. LEGIGAN, L. LE RIBAUT et S. MONTRON, " Exoscopie des quartz fluviatiles. Délai d'acquisition des caractères de la surface des grains au long du cours d'une rivière ". *C. R. Acad. Sc.*, Paris, t. 309, série II, (1989) 575 - 578
- [29] - Site web : futura-sciences.com/planete/dossiers/geologie-cœur-silex-wafer-567/page/2/ consulté le 27 janvier 2020 à 15h 25
- [30] - A. C. AKOBE, A. S. COULIBALY, A. V. WOGNIN, S. MONDE et AKA KOUAME, " Caractérisation pétro-sédimentaire des formations gréseuses du bassin onshore de la Côte d'Ivoire ", *BIOTERRE Rev. Inter. Sci. De la Terre*, Vol. 14, (2014) 15 - 28
- [31] - A. C. AKOBE, " Caractérisation des grès de la Côte d'Ivoire et du Ghana (Golfe de Guinée) : Environnement de dépôt, maturité et potentialité énergétique (réservoirs à hydrocarbure) ", Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, (2010) 167 p.
- [32] - A. C. AKOBE, E. M. AMANI, M. TOURE, S. MONDE, K. AKA et K. AFFIAN " Étude comparative des caractères pétrosédimentaires des grès du bassin sédimentaire de côte d'Ivoire ", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 31 (2018) 138 - 160
- [33] - G. DANDURAND, G. DEVES, R. MAIRE, R. ORTEGA, D. GENTY et B. GHALEB, " Étude morphosédimentaire d'un remplissage endokarstique de la grotte du Bois du Clos (Charente, France) : contraintes géométriques et dynamiques hydrologiques ", *Quaternaire*, Vol. 22, N° 4 (2011) 285 - 306
- [34] - M. RODRIGUEZ, " L'enregistrement sédimentaire des variations du niveau marin " https://rodriguezgeologie.files.wordpress.com/2015/04/enregistrement_sed.pdf, (Mai 2020)
- [35] - J. CABOT, " Les bassins sédimentaires du littoral africain, Travaux du symposium de New Delhi ", Vol. 80, N° 437 (1971) 112 - 113
- [36] - D. XAVIER, Cours de sédimentologie (Geol-F-204) département des sciences de la terre et de l'environnement (DSTE) Université libre de Bruxelles (ULB), (2009) 27 p.

- [37] - G. H. C. N'DOUFOU, " Contribution de l'étude morphosédimentologique et exoscopique à la compréhension de l'évolution du secteur du littoral ivoirien entre Sassandra et Abidjan ", Thèse de Doctorat, Univ. Felix Houphouët Boigny, (2012) 193 p.
- [38] - K. S. YAO, " Etude de la dynamique sédimentaire du littoral occidental ivoirien entre Tabou et Sassandra : Approches morpho-bathymétrique, sédimentologique et Exoscopique ", Thèse de Doctorat Univ. Felix Houphouët Boigny, (2012) 187 p.
- [39] - F. JOLY, " Les eaux sauvages des régions arides. Notions de base sur l'hydrologie des désert ", Géomorphologie : relief, processus, environnement, Vol. 12, N° 4 (2006)
- [40] - J.-J. MACAIRE, S. BELLEMLIH, C. DI GIOVANNI, P. DE LUCE, L. VISSET and J. BERNARD, " Sediment yield and storage variations in the Negron river catchment (South western Parisian Basin, France) during the Holocene period ", *Earth Surface Processes and Landforms*, 27 (2002) 991 - 1009
- [41] - J. HERVIEU, " Témoins paleoclimatiques et environnement préhistorique dans le Massif de Termit (Niger Oriental) ". *Cahiers de O.R.S.T.O.M., Série géologie*, 9/1-2 (1977) 3 - 14
- [42] - E. DEBARD, " Exoscopie des grains de quartz ". In: *Nouvelles archives du Muséum d'histoire naturelle de Lyon*, tome 25, (1987) 97 - 100
- [43] - E. FRITSCH, " Morphologie des quartz d'une couverture ferrallitique dégradée par hydromorphie Pédologie " *Cah. ORSTOM, & Pédol.*, Vol. 24, N° 1 (1988) 3 - 15
- [44] - H. ITAMIYA, R. SUGITA, and T. SUGAI, " Analysis of the surface microtextures and morphologies of beach quartz grains in Japan and implications for provenance research ". *Prog Earth Planet Sci* 6, 43 (2019)