

Caractérisation sédimentaire de l'estuaire du fleuve Sassandra, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire : morphoscopie et exoscopie des grains de quartz

**Guy Richard N'dri KOUADIO^{1*}, Gnosseith Huberson Claver N'DOUFOU²,
N'guessan Donald AHOURE¹ et Sylvain MONDE³**

¹ *Université Alassane Ouattara, Département des Sciences et Techniques, Laboratoire de Géologie, BP V 18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire*

² *Université Peleforo GON COULIBALY, UFR des Sciences Biologiques, Laboratoire de Géoressources et Géochimie Sédimentaire, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire*

³ *Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 10 Mars 2023 ; Accepté le 03 Mai 2023)

* Correspondance, courriel : guyrichardkouadio94@gmail.com

Résumé

L'estuaire joue un très grand rôle pour la survie de l'humanité (pêche, tourisme). Face aux effets de la dynamique sédimentaire (envasement, comblement et colmatage), ce milieu de transition est devenu vulnérable. Il est donc nécessaire de connaître les conditions de sédimentation des sables. L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les mécanismes qui ont contrôlé le transport et l'accumulation des sédiments dans l'estuaire du fleuve Sassandra. Deux méthodes ont été appliquées sur les grains de quartz de 250 et 300 μm : la morphoscopie et l'exoscopie. La morphoscopie est une technique dont le principe est l'étude dissociée de la forme et de l'aspect du grain. L'exoscopie est une technique qui étudie simultanément les traces mécanique et chimique laissées par les agents de transport. Les résultats obtenus montrent : une très forte proportion de grains anguleux à subanguleux, traduisant un transport sur une courte distance, une multitude de traces d'actions (stries, fissures, croissants de choc, traces de dissolution) à la surface des grains. Ces grains ont subi un transport fluvial avec une forte énergie, un transport éolien. Les sédiments contiennent du quartz, d'hématites, de feldspaths et d'oolites ferrugineuses. Les grains de quartz ont évolué en milieux fluvial et ont une source génératrice proche. Ils portent des traces d'actions de type mécanique et chimique. Une succession de phases actives et d'immobilisation a été identifiée.

Mots-clés : *estuaire, Sassandra, exoscopie, morphoscopie, dynamique sédimentaire.*

Abstract

Sedimentary characterization of the sassandra river estuary, southwest coast of Côte d'Ivoire : morphoscopy and exoscopy of quartz grains

Estuary plays an important role for the survival of humanity (fishing, tourism). Faced with the effects of sediment dynamics (silting, filling and clogging), this transitional environment has become vulnerable. Therefore it is necessary to understand the conditions of sand sedimentation. This study aims to highlight the

mechanisms that have controlled the transport and accumulation of sediments in the estuary of the Sassandra River. Two methods were applied to quartz grains from 250 to 300 μm : morphoscopy and exoscopy. Morphoscopy is a technique based on the dissociated study of grain shape and appearance. Exoscopy is a technique that simultaneously studies the mechanical and chemical traces left by transport agents. The results obtained show : a very high proportion of angular to sub-angular grains, reflecting transport over a short distance, a multitude of traces of action (striations, cracks, shock crescents, traces of dissolution) on the surface of the grains. These grains have been subjected to high-energy fluvial transport and eolian transport. The sediments contain quartz, hematites, feldspars and ferruginous oolites. The quartz grains evolved in fluvial environments and have a nearby generating source. They bear traces of mechanical and chemical action. A succession of active and immobilisation phases has been identified.

Keywords : *estuary, Sassandra, exoscopy, morphoscopy, sediment dynamics.*

1. Introduction

Les estuaires sont des zones de transition entre les domaines continental et marin. Ces lieux d'échange, suscitent des intérêts dans les communautés scientifiques. Ils constituent un laboratoire naturel idéal, où s'effectuent de nombreuses recherches liées à la dynamique hydro sédimentaire [1 - 4]. Du point de vue sédimentaire, ils jouent un rôle déterminant comme collecteurs et voies d'exportation des sédiments issus du milieu continental vers l'océan. Au plan économique, les sédiments peuvent constituer une source de matériaux pour la construction d'ouvrages, un gisement alternatif renouvelable pour des applications [5], cependant, ces estuaires sont parfois, le siège des processus d'envasement et de colmatage [6] et les sédiments qui s'y trouvent sont des vecteurs de divers produits chimiques tels que les sels nutritifs et les éléments traces métalliques. Ces polluants ont des conséquences néfastes sur la qualité des eaux et des sédiments [7, 8], sur l'environnement [9] et sur certaines espèces animales [10, 11]. Dans le cas de l'estuaire du fleuve Sassandra, il s'agit d'un environnement très agité. Il est soumis à des pressions naturelles (les effets dynamiques des marées, des vagues et du courant fluvial), ainsi qu'à de fortes pressions anthropiques [12]. Certaines caractéristiques sédimentologiques ont été étudiées [13, 14]. Ces investigations antérieures avaient permis de connaître la nature des sédiments, la répartition des ensembles sédimentaires, la granulométrie des sables, leurs modes de transport, ainsi que leurs origines. De ces travaux antérieurs, aucune information ne porte sur les microstructures des grains de quartz, les différentes phases de la dynamique sédimentaire, ainsi que les sources des éléments métalliques. Aborder ces problématiques, est nécessaire pour comprendre et expliquer non seulement les mécanismes d'accumulation des sables dans l'estuaire du fleuve Sassandra, mais aussi pour montrer les effets des activités humaines sur ces matériaux détritiques. La connaissance des sédiments et des processus sédimentaires dans les cours d'eau est devenue aujourd'hui un enjeu scientifique important et une nécessité pour la protection et la gestion des ressources hydriques. L'objectif de cette étude est de mettre en évidence, d'une part les mécanismes ayant contrôlé le transport et l'accumulation des sédiments dans l'estuaire du fleuve Sassandra, d'autre part, la composition chimique et minéralogique de ces sédiments. De façon spécifique, elle vise à montrer :

- l'impact de l'hydrodynamique de la masse d'eau (le courant fluvial, les processus d'écoulement et entraînement, les vagues) sur les sédiments superficiels ;
- les éléments métalliques constitutifs des sédiments superficiels.

2. Matériel et méthodes

2-1. Localisation de l'estuaire du fleuve Sassandra

Le fleuve Sassandra, d'une longueur de 650 km (à peu près) draine un bassin versant d'environ 750000 km² et se termine par un estuaire s'ouvrant sur l'océan Atlantique (**Figure 1**). Il est situé au Sud-Ouest du littoral Ivoirien, sur le socle précambrien, entre les longitudes 826 et 819 km et les latitudes 553 et 548 km.

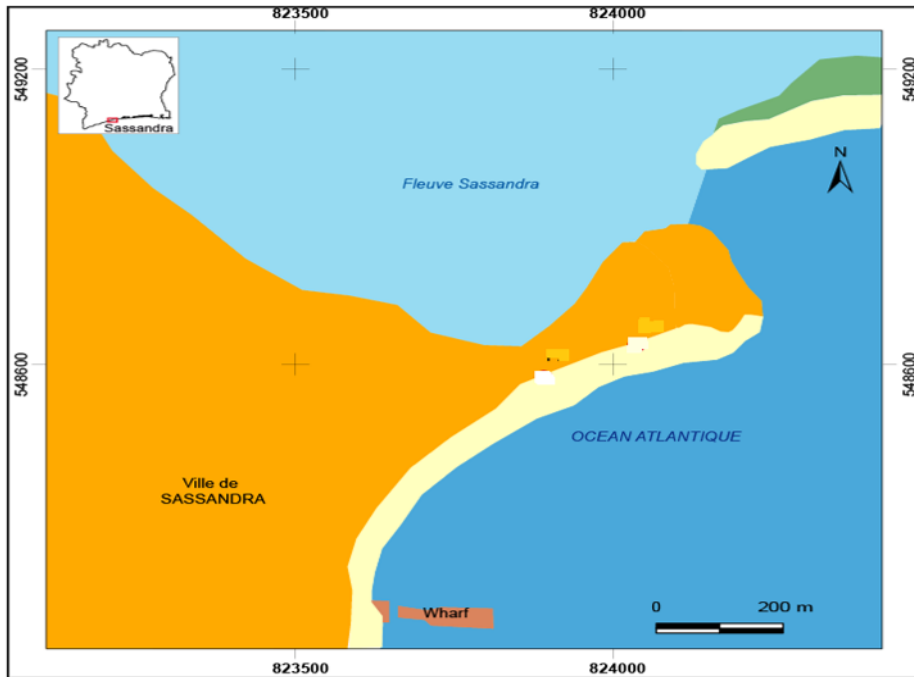


Figure 1 : Localisation de l'estuaire du fleuve Sassandra [15]

Il s'étend sur 7 km de long et 2 km de large avec une superficie de 14 km². Il a une profondeur maximale de 8,5 m [16]. Il est divisé en deux branches non identiques par une île, avec à l'ouest la grande partie et à l'est la petite partie. On y trouve des affleurements rocheux (**Figure 2**).



Figure 2 : Photo de l'estuaire du fleuve Sassandra

2-2. Échantillonnage des sédiments

Les travaux de terrain ont consisté à :

- prédéfinir quatorze stations de prélèvement, réparties sur l'étendue du plan d'eau.
- faire descendre une benne en acier de type van veen, en position ouverte dans la colonne d'eau à chaque station de prélèvement. En contact avec le sédiment, la traction exercée par la corde de la benne agit sur le bras du levier, ce qui engendre son emprisonnement. Le sédiment emprisonné est alors extrait et conservé dans du sachet en polyéthylène suite au retrait de la benne.

2-3. Traitement des échantillons et analyse des données

A la suite de l'échantillonnage, les traitements et les analyses ont été faits au centre d'analyse et de recherche de la Société Nationale d'Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire (PETROCI) : Un ensemble de processus de traitement des sédiments prélevés a été effectué. Une première série d'opérations correspondant au lavage, séchage et à la sélection des grains de quartz de diamètre compris entre 250 et 300 μm d'une partie des échantillons. Une seconde opération a consisté à confectionner des lames minces. Après séchage à 30°C, de l'autre partie des échantillons, pendant un mois environ, l'induration a été réalisée par imprégnation d'un mélange d'une résine type polyster et de styrène sous vide partiel (-0,8 bar). Après polymérisation, les échantillons ont été découpés à la scie au format des lames, collées sur lames de verre. Celles-ci ont été amenées à une épaisseur nécessaire à l'observation microscopique. Les analyses des données issues des traitements se sont reposées sur trois méthodes : la morphoscopie ; l'exoscopie et les observations au MEB couplées à des microanalyses spectrales de type EDS.

- **La morphoscopie** a consisté à observer et à déterminer au microscope électronique à balayage (MEB de type FEG), les formes et les aspects des grains de quartz constituant les sédiments. L'appréciation de la forme s'est basée sur une charte visuelle de comparaison.
- **L'exoscopie** a consisté à observer et à déterminer au microscope électronique à balayage (MEB de type FEG à pression variable), les microstructures telles que les traces d'origine chimique, mécanique ou physique et biologique qui ont modifié la surface des grains. Ces caractères acquis permettent non seulement de reconstituer les mécanismes de transport sédimentaire mais aussi les différentes phases de sédimentation.
- **Les observations au MEB couplées à des microanalyses spectrales** de type EDS ont été déjà appliquées [15, 17] pour déterminer la composition minéralogique des sédiments sableux des plages. Elle se réalise par l'observation au MEB type EDS FEG des lames confectionnées. Il s'agit d'une analyse du spectre de composition chimique des profils de concentrations d'un spectromètre à diffusion d'énergie (EDS). Cette analyse est basée sur les interactions électrons-particules. Les interactions engendrent un spectre d'émission de rayons X, dont une partie est caractéristique de la composition chimique élémentaire de la particule. La composition minéralogique est déduite par analyse des profils de concentrations du spectre EDS.

3. Résultats

3-1. Aspect et forme des grains

Les photographies des grains (**Figure 3**) au microscope électronique à balayage montrent des formes variées : grains anguleux à sub-anguleux, grains sub-arrondis à arrondis. Toutefois, il apparaît que les grains de type anguleux à sub-anguleux (**Figure 3 i à t**) sont plus nombreux que les sub-arrondis à arrondis (**Figure 3 a à h**). Les grains sont pour la plupart émoussés et luisants. Cependant, quelques grains très peu abondants présentent un aspect mat sale (**Figure 3 g**). Parmi les grains, certains ont des faces arrondies, interrompues parfois par des cassures à arêtes anguleuses à sub-anguleuses et des cavités. D'autres, au contraire, ne présentent aucune marque de choc sur leurs surfaces (**Figure 3 c**).

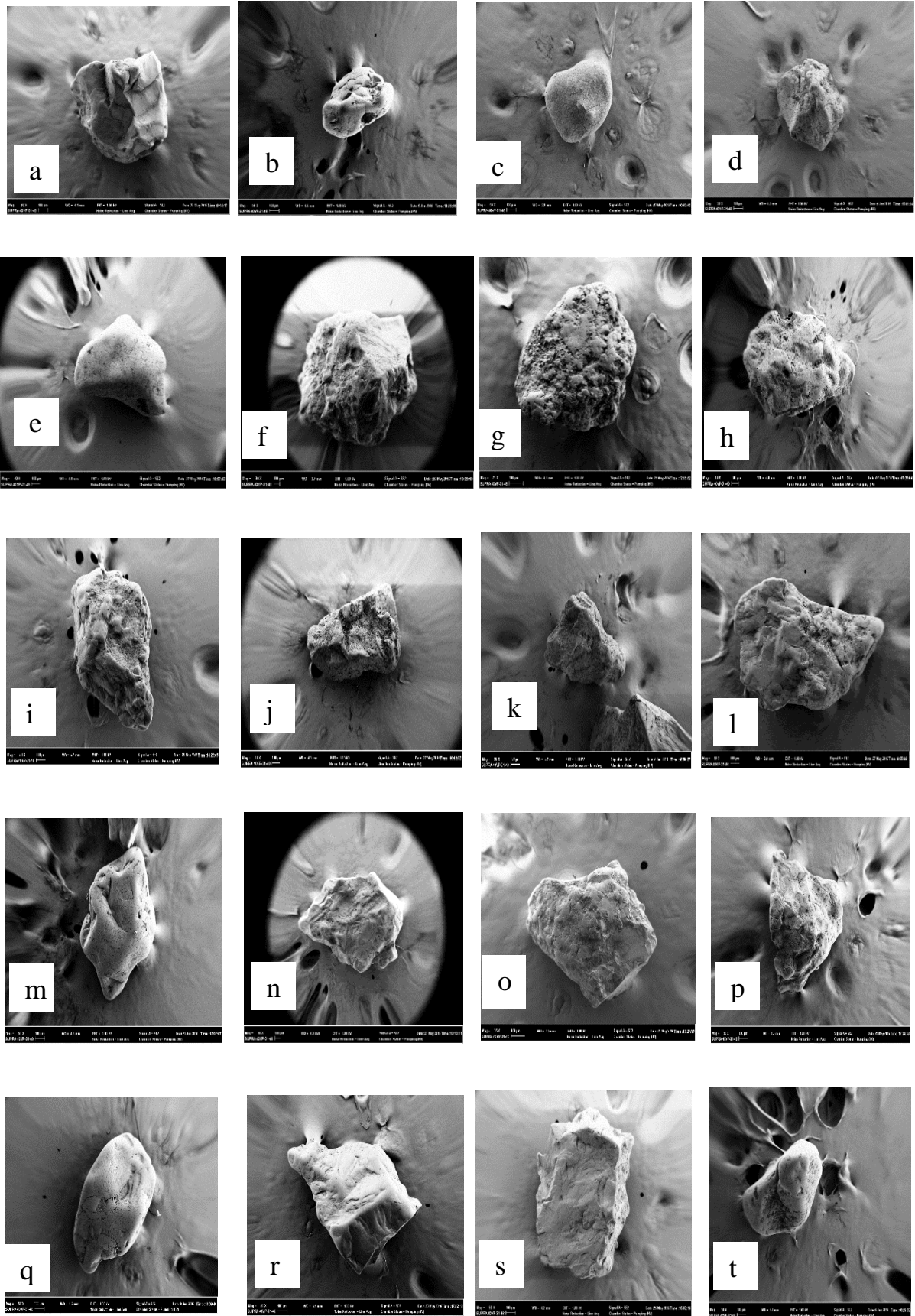


Figure 3 : Morphoscopie des grains de quartz de l'estuaire du fleuve Sassandra

Guy Richard N'dri KOUADIO et al.

3-2. État de surface des grains

L'analyse exoscopique montre plusieurs marques de choc à la surface des grains de quartz. Ces marques de choc peuvent être divisées en trois catégories : il s'agit des traces d'origine mécanique ou physique, chimique et biologique. *Les traces d'actions mécaniques ou physiques* sont illustrées par les photos ci-dessous (**Figure 4**). Il s'agit notamment des croissants de choc ou coups d'ongles, des V de choc, des fissures, des stries et des cassures couvrant la presque totalité de la surface des grains (**Figure 4 a et b**). A l'intérieur de certaines grandes cassures, se distinguent des stries (st) subparallèles et des débris coquillés. Les bordures de ces fractures de grande taille se présentent en forme de V (**Figure 4 a**). Des marques de choc profondes en coups d'ongles sont également identifiées sur les faces lisses de certains grains (**Figure 4 c et d**). On observe sur d'autres grains, de petites cavités de percussion, des générations de cassures plus ou moins larges et subparallèles (**Figure 4 e et f**). Dans certains cas, les cassures anciennes sont recoupées par de nouvelles cassures (**Figure 4 f**).

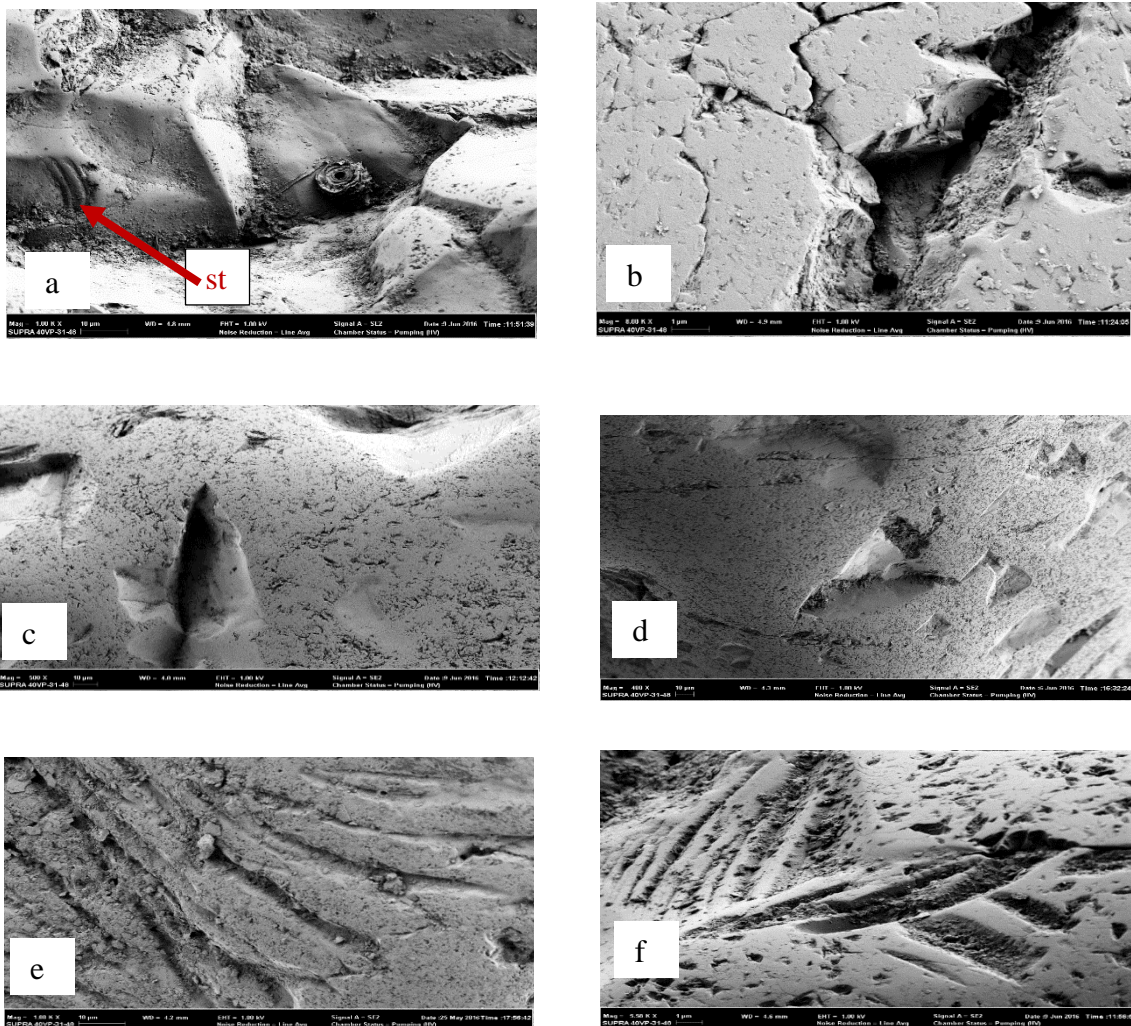


Figure 4 : Surface des grains de quartz entaillée par des marques de choc

Les images ci-dessous (**Figure 5**) sont les différentes *traces d'actions chimiques et biologiques* qui ont façonné l'aspect originel de la surface externe des grains. Certaines faces montrent de nombreuses figures triangulaires de dissolution suivies d'enlèvement des parties superficielles (**Figure 5 a et b**). Sur certains grains, les dépôts de silice s'observent sur les faces (**Figure 5 b**). Sur d'autres, par contre, ils se localisent sur des squelettes de diatomées à différents stades d'évolution (**Figure 5 c et d**).

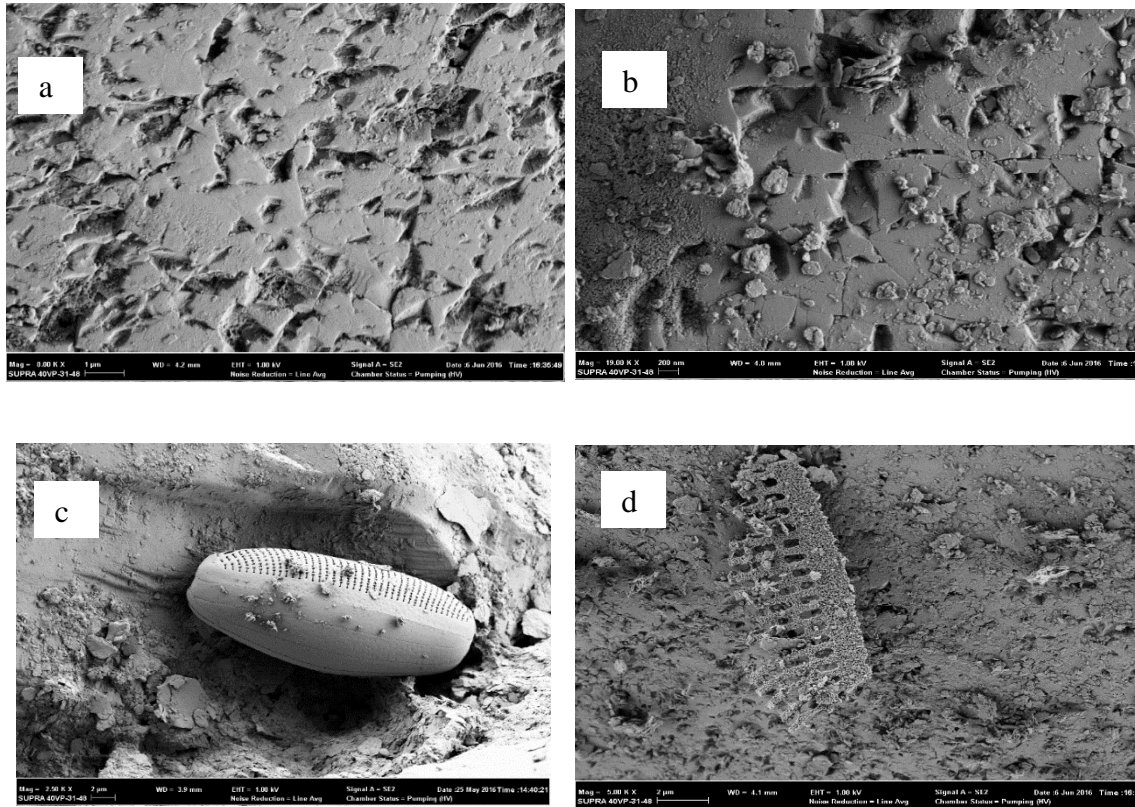


Figure 5 : Traces d'actions chimiques et biologiques

3-3. Influence de certains facteurs environnementaux sur la dynamique sédimentaire

La plus grande partie des grains des sédiments superficiels de l'estuaire aurait été transportée sur une courte distance par le fleuve Sassandra avec une énergie moyenne à forte. Cette mobilité est justifiée par l'abondance des grains anguleux à subanguleux, émoussés et luisants. Les traces de choc, plus grandes et nombreuses sont des indices d'un transport de l'énergie moyenne à forte. Le brassage des grains, les uns sur les autres, aurait engendré les microstructures telles que les stries de frottement, les coups d'ongles aux rebords émoussés et les cassures. Les dépôts de silice et les traces de dissolution indiquent une phase d'immobilisation des grains dans l'estuaire. Les caractères acquis par les grains de quartz dans l'estuaire mettent alors en évidence l'influence du transport par l'eau et de la dynamique fluviale.

3-4. Caractérisation chimique et minérale des sédiments sableux

Les observations au MEB des grains des sédiments sableux et l'analyse de leurs spectres EDS (**Figure 6**) ont montré la présence de quelques minéraux. Les quartz sont les plus abondants. Ils se présentent principalement sous forme des grains anguleux et fracturés. Les oolites sous forme de petites sphères (les sphérules) se trouvent également dans les sédiments. Les hématites se présentent sous forme des grains noirs à rouges sang (**Figure 6 A**). Dans le spectre du sédiment (**Figure 6 B**), il y'a des traces d'éléments provenant des oxydes de fer, confirmant la présence de ces particules minérales. En outre, les différents éléments constitutifs (silicium (Si), aluminium (Al), sodium (Na), potassium (K)) de la particule « Spectrum 1 » de la Figure 6 C et D, suggèrent la présence des feldspaths. Enfin, d'autres éléments chimiques notamment le chlore (Cl), le magnésium (Mg) ont été identifiés (**Figure 6 B**).

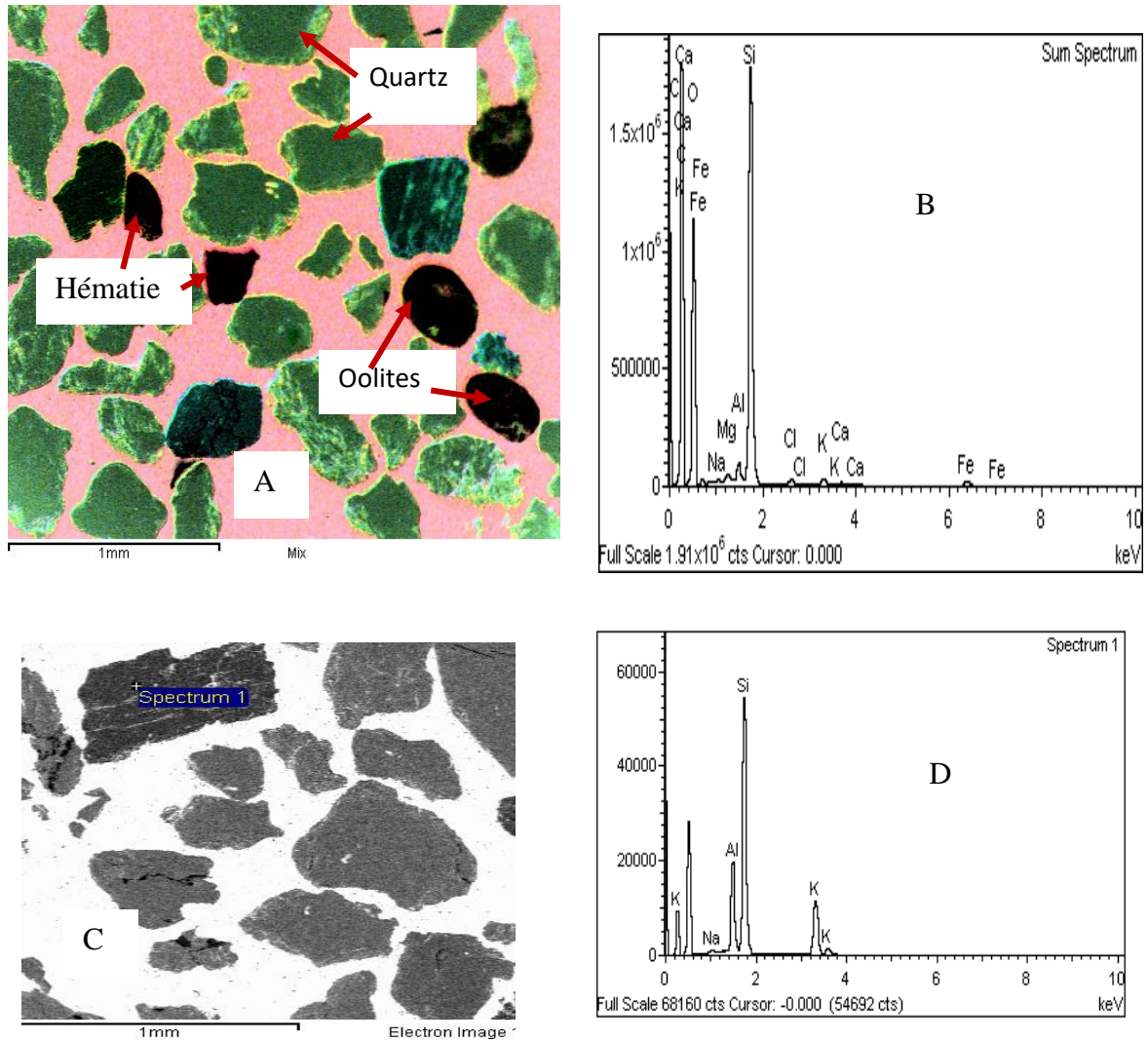


Figure 6 : Observation au MEB des sédiments sableux et leurs spectres

Dans les spectres de certains grains de quartz, des traces d'éléments (Fe, Ti, Mn), provenant des oxydes ont été trouvées (**Figure 7**). Ces traces suggèrent la présence potentielle des oxydes de fer, de titane et de manganèse dans les sédiments. Ces oxydes se fixent ou recouvrent les grains de quartz fissurés en laissant des traces noires à rouges sang. Dans la composition de ces grains fracturés et oxydés se trouve du phosphore (**Figure 7 Spectrum 2**).

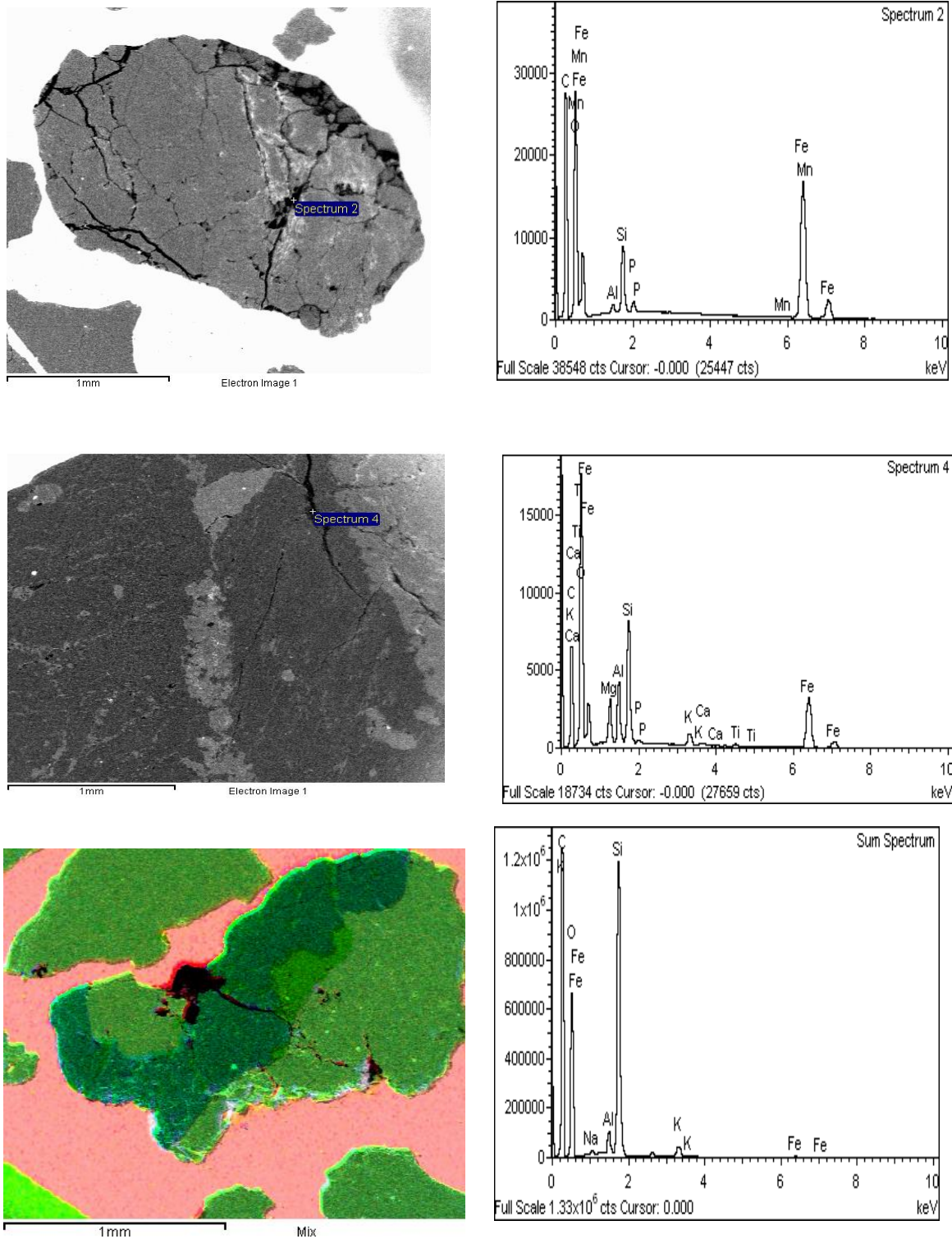


Figure 7 : Observation au MEB des grains de quartz et leurs spectres

4. Discussion

Les résultats de nos travaux ont permis de mettre en évidence non seulement les origines des sédiments superficiels de l'estuaire duassandra, les différentes étapes de la sédimentation, mais aussi, de préciser le degré d'influence de certains forçages environnementaux intervenants.

4-1. Aspect et forme des grains

L'examen morphoscopique a montré que les quartz de l'estuaire sont essentiellement anguleux à subanguleux. Ils sont rarement subarrondis à arrondis. La totalité des grains de sables proviendrait donc d'une source continentale proche de l'estuaire du fleuve Sassandra. Leurs aspects émoussés et luisants montrent qu'ils ont fait l'objet d'un transport par le fleuve Sassandra avant de se déposer. Les dunes continentales seraient l'environnement de dépôt initial [16]. On retrouve alors ici l'origine fluviale du stock sédimentaire détritique, déjà approuvée ailleurs : au niveau de la lagune potou (Côte d'Ivoire) [13] ; des plages ivoiriennes [18, 19].

4-2. État de surface des grains

L'exoscopie relevant les insuffisances de la morphoscopie, a permis de mettre en évidence les différents types d'actions des agents de transport sur les grains de quartz de l'estuaire du Sassandra. Les facteurs environnementaux ont laissé de nombreuses traces telles que les microstructures de type mécanique ou physique et chimique à la surface des grains de quartz. Les cassures, les coups d'ongle, les stries et les fissures sont les conséquences d'un transport par le fleuve Sassandra avec une forte énergie (torrentielle) : c'est la phase active. En effet, au cours de l'écoulement d'eau, les sédiments grossiers s'entrechoquent en roulant ou en glissant. Ce processus d'entrechoquement des particules induit des contraintes de cisaillement et provoque des stries de flottement, des cassures et des fissures [20]. Les grains qui présentent les croissants ou coups d'ongle sur leurs faces ont subi des chocs dans l'air sous l'effet du vent avant d'être déposés. C'est aussi une phase active. Les traces de dissolution (les figures triangulaires, les cavités, les dépôts de silice) sont apparues sur les grains de quartz parce que ces grains sont restés sur place à un moment donné dans l'eau : c'est la phase d'immobilisation. Pendant cette période, sous des conditions d'abrasion, les particules de quartz sont dissoutes chimiquement. Ce phénomène de dissolution, engendre le dépôt de silice qui recouvre les traces de choc anciennes. Les grains de quartz portant les silices seraient les témoins d'un transport fluviale de moyenne à faible énergie. Les grains qui présentent à leurs surfaces des anciennes traces, recoupées par d'autres plus ancienne seraient qualifiés grains remaniés [21]. Les V de choc seraient le résultat des brassages. Les squelettes de diatomée dans les sédiments témoignent du rôle et de l'influence des vagues sur la dynamique sédimentaire de l'estuaire. En effet, au niveau des embouchures des fleuves, l'énergie des vagues est élevée pour les estuaires. Dans ce cas, les vagues sont à mesure de remettre les sédiments en mouvement. Cette observation sont similaires à celles de [22, 23]. En effet, ces chercheurs ont déjà montré l'influence fluviale et marine respectivement sur la dynamique des sédiments de l'estuaire de Moulay (au Maroc) et des plages Ivoiriennes.

4-3. Caractérisation chimique et minérale des sédiments sableux

Les observations au MEB couplées à des analyses de dispersion d'énergie ont montré la composition chimique et minéralogique des sables. Cependant, on note l'absence des éléments traces métalliques identifiés dans le même estuaire [24]. Cette absence serait du fait qu'ils ne sont pas en quantité suffisante pour être détectés par cette analyse [25]. La présence des hématites témoigne la source génératrice proche des sédiments [26] et leur milieu de dépôt de type continental [27]. Les teintes ou les revêtements noirs à rouges sang observés sur les grains pourraient être liés aux processus d'érosion des sols ferralitiques. En effet, au sud du bassin du Sassandra, les sols de type ferralitique sont très sensibles à l'érosion [12]. Lors de ce phénomène, le fer libéré serait concentré dans les sédiments transportés par le fleuve. La présence des éléments chimiques tels que le chlore, le magnésium et le phosphore pourrait être la conséquence des rejets urbains sans traitement et l'utilisation accrue de fertilisants chimiques en agriculture.

5. Conclusion

L'analyse morphoscopique et exoscopique ont permis de mettre en évidence une abondance grains anguleux à subanguleux, luisants et émoussés. Ces formes et aspects traduisent ainsi une source relativement proche avec un transport en milieux fluvial. Ces grains de quartz ont subi aussi une éolisation violente (coups d'ongle), une évolution torrentielle de très forte à moyenne énergie (grandes cassures, V de grande taille). Ils ont été par la suite brassés dans le milieu aquatique (stries, fissures). L'immobilisation des accumulations a favorisé des cavités de dissolution et des dépôts de silice. Les courants fluviaux, les vagues et le vent constituent les agents de la dynamique des sédiments. Les sédiments sableux de l'estuaire du fleuve Sassandra ont donc été soumis à des phases actives (dynamique aquatique et éolienne) et actives. Les sédiments contiennent les minéraux sources des métaux (les hématites, les oxydes de fer, de titane et de manganèse), des silicates primaires (quartz, feldspaths) et des oolites ferrugineuses. Ils contiennent aussi certains produits chimiques tels que le chlore, le magnésium et le phosphore.

Références

- [1] - M. LAVAL, L. FERRY, N. COULIBALY, D. MARTIN, N. MUTHER, Evaluation et analyse de la dynamique sédimentaire dans le barrage-réservoir de sélingué (Mali), *Revue de géographie de Ouagadougou*, (2012) 45 - 68
- [2] - J. REJAS, Evaluation des changements hydro-sédimentaires de l'estuaire de la Gironde en lien avec les pressions sur le milieu, thèse de doctorat, université de bordeaux, France, (2016) 229 p.
- [3] - A. S. SOW, C. A. T. FAYE, A. A. SY, S. NIANG, Analyse sédimentologique et paléoenvironnement des sédiments du complexe laguno-estuarien de la somone petite côte du Sénégal, *Revue Ivoirienne des sciences et technologie*, 38 (2018) 188 - 209
- [4] - M. THIOR, T. SANE, O. SY, L. DESSCROIX, L. G. NDIAYE, A. K. SAMBOU, D. C. ISSOKHO, B. SOLLY, Caractéristiques granulométriques et dynamique sédimentaire entre les différentes unités géomorphologiques du littoral de la casamance, senegal, *Rev. Ivoi. Sci, Technol.*, 33 (2019) 189 - 213
- [5] - B. ANGER, Caractérisation des sédiments fins des retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière, thèse de doctorat de l'université de Caen Basse-Normandie, (2014) 303 p.
- [6] - K. L. ADOPO, K. L. KOUASSI, A. V. I. WOGNIN, Spatial Distribution and Characterisation of the sediments of the Estuary of Comoe River (Grand- Bassam, Côte d'Ivoire), *European Journal of Scientific Research*, Vol. 20, N° 4 (2008) 817 - 827
- [7] - A. S. COULIBALY, S. MONDE, V. A. WOGNIN, K. AKA, Dynamique des éléments traces métalliques dans les sédiments des baies d'abidjan (Baie du banco et rade portuaire). *European journal of Scientific Research*, 46 (2) (2010) 204 - 215
- [8] - S. MONDE, A. S. COULIBALY, T. WANGO, K. AKA, Simulation prédictive de la qualité des eaux lors des rejets anthropiques dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Inter. j. Of. African Studies*, 4 (2011) 28 - 40
- [9] - H. HAYZOUN, Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou ; thèse de doctorat, université de Toulon (France), (2014) 171 p.
- [10] - K. N. KEUMEAN, hydrogéochimie des métaux lourds et fonctionnement d'un grau dans le golfe de Guinée : cas de l'embouchure du fleuve Comoé à Grand- Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse unique, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2013) 179 p.
- [11] - K. N. KEUMEAN, S. B. BAMBA, G. SORO, N. SORO, B. S. METONGO, J. BIEMI, Concentration en métaux lourds des sédiments de l'estuaire du fleuve Comoé à Grand- Bassam (Sud-Est de la Côte d'Ivoire), *Journal of Applied Biosciences*, 61 (2013) 4530 - 4539

- [12] - Y. A. N'GO, Hydrologie et dynamique de l'état de surface des terres dans le sud-ouest de la côte d'Ivoire : impacts et moteurs de dégradation, Thèse D'ETAT Université NANGUI ABROGOUA (Côte d'Ivoire), (2015) 197 p.
- [13] - Y. A. N'GUESSAN, K. E. KONAN, E. DIANGONE, T. E. WANGO, K. AFFIAN, S. MONDE, K. AKA, Caractérisation sédimentologique des faciès sableux de la lagune potou, littoral de la côte d'Ivoire, bioterre, *Rev. Inter. Sci. De la terre*, Vol. 13, (2013) 43 - 58
- [14] - G. R. N. KOUADIO, Hydrologie, sédimentologie et qualité environnementale de l'estuaire du fleuve sassandra (sud-ouest de la côte d'Ivoire). Thèse unique. Université, Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2018) 182 p.
- [15] - K. S. YAO, Etude de la dynamique sédimentaire du littoral occidental Ivoirien entre Tabou et Sassandra : Approches morpho-bathymétriques, sédimentologiques et exoscopiques. Thèse unique, Université, Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2012) 198 p.
- [16] - Y. A. N'GUESSAN, E. M. AMANI, B. K. KOFFI, L. ADOPO, B. E. DIANGONE, S. MONDE, K. AFFIAN, Caractérisation morphologique et sédimentologique de l'embouchure du fleuve Sassandra. *Afrique Science*, 10 (2) (2014) 277 - 288
- [17] - G. H. C. N'DOUFOU, Contribution de l'étude morpho-sédimentologique et exoscopique à la compréhension de l'évolution du secteur du littoral ivoirien entre Sassandra et Abidjan thèse unique, université. Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2012) 193 p.
- [18] - K. E. KONAN, G. H. C. N'DOUFOU, Y. A. N'GUESSAN, K. P. KOFFI, 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, *Revue RAMRES*, Vol. 06, N° 01, ISSN 2424-7235, (2018) 23 - 29
- [19] - G. N'DOUFOU, J. ABE, S. BAMBA, C. HAUHOUOT, K. AKA, Effets de l'ouverture du canal de Vridi sur les stocks sédimentaires littoraux entre Abidjan et Jacqueville (Côte d'Ivoire), *Revue Paralia*, 8 (2015) 01 - 16
- [20] - E. SOW, Histoire sédimentaire du domaine occidental du bassin Sénégal- Mauritanien d'après les données exoscopiques des grains de quartz de la série Campano- Maastrichtienne du horst de Ndiass (Sénégal. Afrique de l'ouest). *Journal des Sciences*, Vol. 7, N°1 (2007) 15 p.
- [21] - A. C. KRA, N. J. P. YAO, F.Y. P. ASSALE, K. AKA, Caractérisation de la dynamique de transport des grains de quartz du mi-pliocène dans la région d'Anyama (Côte d'Ivoire) : morphoscopie et exoscopie, *American journal of innovative Researc and Applied Sciences*. ISSN 2429 - 5396, (2020) 27 - 35
- [22] - N. BELLAHBIB, H. REZQI, M. OUJIDI, S. BENGAMRA, Etude granulométrique et minéralogique des sédiments superficiels du littoral de Saïdia et l'estuaire de la Moulouya (Nord-Est du Maroc), *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N° 24 (2015) 19 - 40
- [23] - E. K. KONAN, Etude morpho-dynamique et sensibilité aux événements exceptionnels du cordon littoral sableux ivoirien à l'Est d'Abidjan (Abidjan-Aforenou), thèse unique, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan Côte d'Ivoire, (2012) 224 p.
- [24] - G. R. KOUADIO, S. MONDE, Etat de la pollution métallique dans l'estuaire du Sassandra (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), BIOTERRE, *Revue. Inter, Sci, de la terre*, Vol. 17, (2017) 20 - 33
- [25] - V. DEVALLOIS, Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydrosystèmes continentaux, Thèse de doctorat, Université de Provence ACADEMIE D'AIX-MARSEILLE, (2009) 252 p.
- [26] - N. J. P. YAO, T. M. KESSE, Z. B. DIGBEHI, Caractérisation sédimentologique et hydrodynamique des formations sableuses du miocène inférieur de la région d'éboinda (Sud- Est de la Côte d'Ivoire), *European Scientific Journal March*, Vol. 12, N° 9 (2016) 192 - 211
- [27] - A. H. BOGA, Analyse sédimentologie et stratigraphie de séquences sédimentaires (Crétacé- Quaternaire) de l'Est du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire : caractérisation des processus de dépôts détritiques. Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, (2015) 198 p.